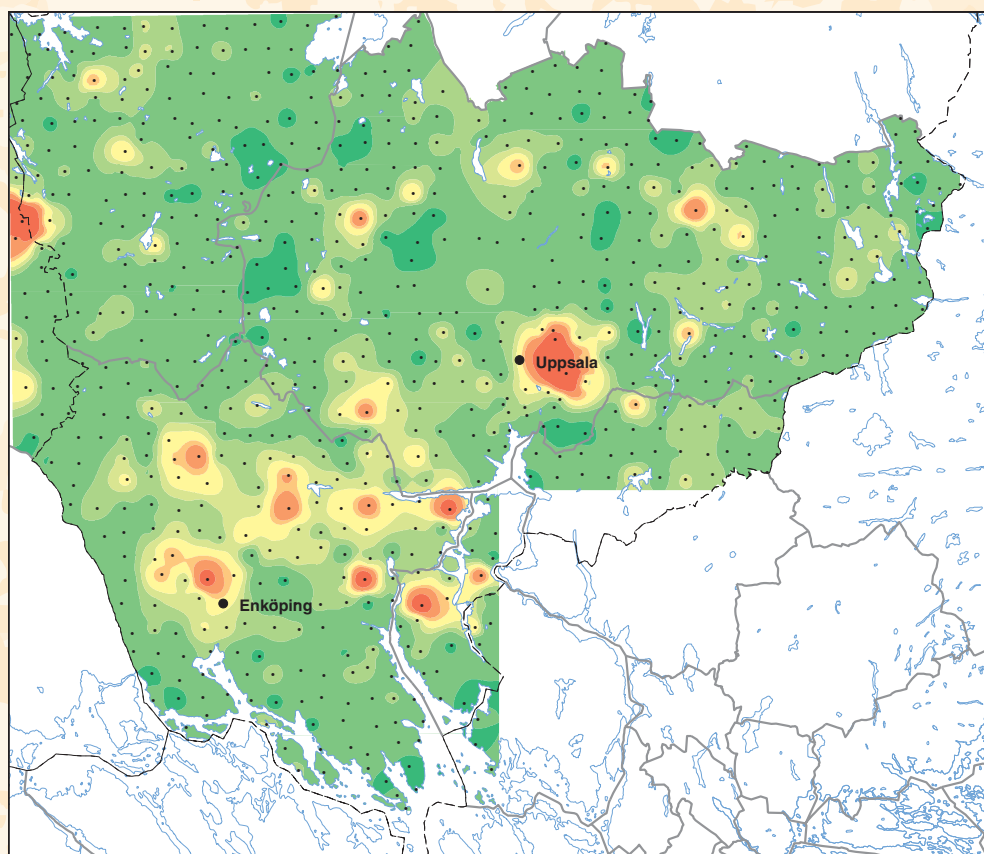


Geokemiska kartan Markgeokemi

Metaller i morän Regionen Heby–Enköping–Uppsala

Mikael Carlsson, Kaj Lax
& Madelen Andersson



Geokemiska kartan Markgeokemi

Metaller i morän Regionen Heby–Enköping–Uppsala

Mikael Carlsson, Kaj Lax
& Madelen Andersson

ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-961-3

Omslagsbild: Fosfor

© Sveriges geologiska undersökning

Layout: Agneta Ek, SGU
Tryck: Elanders Sverige AB

INNEHÅLL

Geokemisk kartering vid SGU	5
Användning av markgeokemiska data	6
Provtypen morän	7
Elementens förekomst och rörlighet	8
Geologiska förutsättningar	8
Markprocesser och buffring	11
Lakbarhet och associationer	12
De kemiska elementen i näringskedjan	12
Metodik	13
Provtagning	13
Provberedning	14
Analysering	14
Metallhalter	14
Kvalitetskontroll av analyser	15
Elementkartor	15
Geologi i området	16
Geokemi i regionen	18
Sura sulfatjordar	18
Tätortsgeokemi Uppsala	19
Metoder	20
Uppsala	20
Mineralprospektering och morängeokemi	24
Aluminium (Al_2O_3)	25
Antimon (Sb)	26
Arsenik (As)	27
Barium (BaO)	29
Beryllium (Be)	30
Bly (Pb)	31
Fosfor (P_2O_5)	32
Gallium (Ga)	33
Guld (Au)	34
Järn (Fe_2O_3)	36
Kadmium (Cd)	37
Kalcium (CaO)	38
Kalium (K_2O)	40
Kisel (SiO_2)	41
Klor (Cl)	42
Kobolt (Co)	43
Koppar (Cu)	44
Krom (Cr)	46
Lantan (La)	47
Litium (Li)	48
Magnesium (MgO)	49
Mangan (MnO)	50
Molybden (Mo)	51
Natrium (Na_2O)	53

Nickel (Ni)	54
Niob (Nb)	55
Rubidium (Rb)	56
Selen (Se)	57
Silver (Ag)	58
Strontium (Sr)	59
Svavel (S)	60
Tallium (Tl)	61
Tantal (Ta)	63
Tenn (Sn)	64
Titan (TiO ₂)	65
Torium (Th)	66
Uran (U)	67
Vanadin (V)	69
Vismut (Bi)	70
Wolfram (W)	71
Yttrium (Y)	72
Zink (Zn)	73
Zirkonium (Zr)	74
pH och försurningsresistens	75
Summary	76
Referenser	77

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Den geokemiska karteringen vid SGU bedrivs i syfte att visa regional fördelning av huvudämnen och spårämnen samt pH i mark och vatten. Två olika undersökningsmetoder används för att åskådliggöra detta. Med markgeokemisk kartering provtas och analyseras morän och ett urval av leror, silt och grövre sediment och hittills är Götaland och stora delar av Svealand och Norrland karterade på detta sätt.

Förutom den markgeokemiska karteringen har även biogeokemisk kartering utförts. Den senare baseras på analyser av levande bäckvattenväxter (starr- och älggräsrötter samt näckmossa) från små vattendrag, och avslutades 2008. Omfattningen av de båda karteringsslagen visas i figur 1.

Den geokemiska databasen innehåller analysresultat och utgör en referenssamling av naturliga metallhalter. Resultaten används bland annat för att fastställa bakgrundshalter för metaller, för att identifiera områden med hög naturlig metallbelastning, för att tillsammans med pH-värden indikera risk för metallmobilitet, för prospektering efter guld, basmetaller och industrimineral och för att värdera näringsstatus i skogsmark. Data finns från över 30 000 moränlokaler i Sverige.

Föreliggande rapport är en fortsättning på den serie rapporter om geokemi som tidigare getts ut i SGUs publikationsserier Rapporter och meddelanden, Gk samt K. I den aktuella markgeokemiskt karterade regionen ingår helt eller delvis kommunerna Heby, Sala, Enköping, Håbo, Uppsala, Knivsta och Upplands-Bro. Ett särskilt kapitel beskriver förtydligande geokemiska undersökningar i tätorten Uppsala med kransområden.

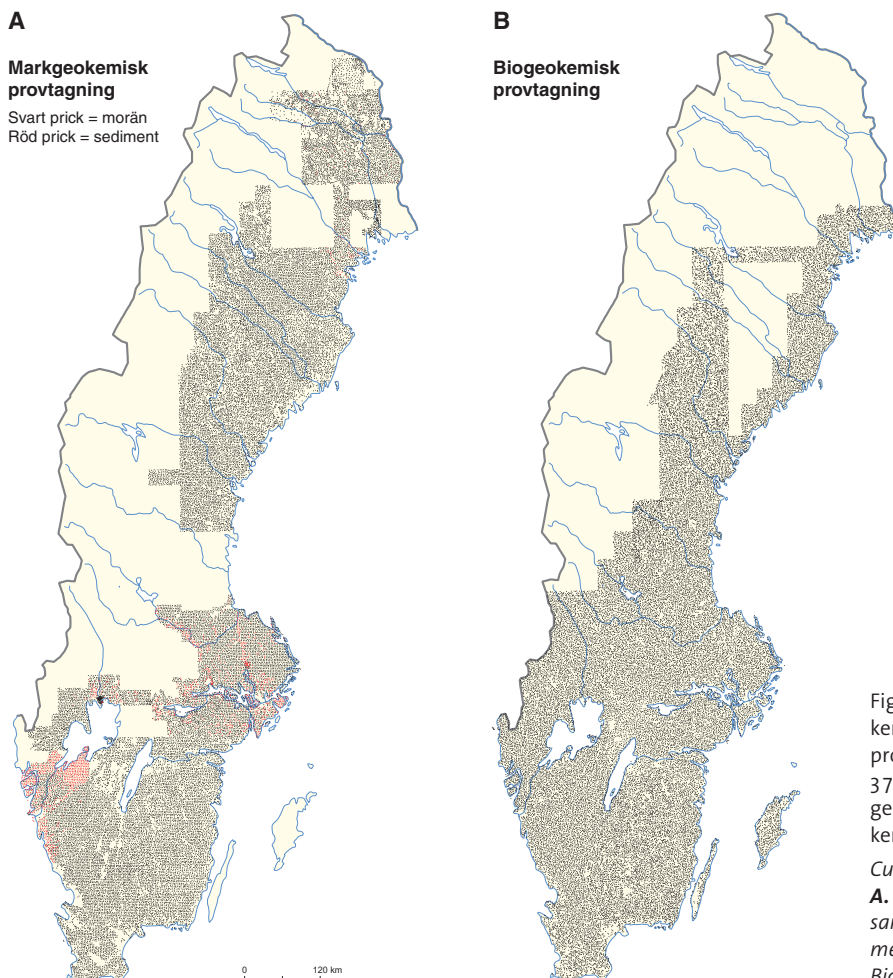


Fig 1. **A.** Omfattning av markgeokemisk provtagning. Morän 31 500 prov, leror och finsediment (rött) 3 785 prov. **B.** Omfattning av biogeokemisk provtagning. Biogeokemi 38 480 prov.

Current coverage of data (2008).

A. Soil geochemistry; till 31 500 samples, clay and fine grained sediments (red dots) 3 785 samples. **B.** Biogeochemistry 38 480 samples.

Rapporten innehåller utdrag ur de geokemiska databaserna, och informationen har tagits fram med syftet att visa enskilda grundämnens regionala frekvens och distribution och att ge en översiktlig tolkning av orsakerna därtill. De flesta analyserade element som uppfyller stipulerade krav på analyskvalitet redovisas.

Vi som arbetat med rapporten är Mikael Carlsson, Kaj Lax och Madelen Andersson. Ansvarig för pH-mätningar är Birgitta Löwenhielm, för analyskvalitet Kaj Lax och för kartframställning Mikael Carlsson.

ANVÄNDNING AV MARKGEOKEMISKA DATA

Markgeokemiska data används bland annat inom miljöövervakning, kommunal planering, markforskning, skogsbruk, mineralprospektering och medicinsk forskning. Med teman som försurning, recipientskydd, förorenad mark och malmletning kan kartor och information anpassas till olika relevanta verksamhetsområden. Eftersom provtypen avspeglar den naturliga metallhalten i marken kan de markgeokemiska resultaten med fördel användas som bakgrundsinformation vid undersökning av förorenad mark.

Kartorna visar den naturliga förekomsten av grundämnena i marken. Antropogen påverkan bidrar ytterst sällan eller lite till de förekomster av metaller och andra element som uppmäts i skogs- och landsbygd. I Sverige anses ett undantag från detta vara områden runt Falun, som förorenats av gruvdriften och den långvariga framställningen av svavelsyra vid Falu Koppargruva till den grad att t.o.m. C-horisonterna långt från själva gruvan förorenats (Ek m.fl. 2001). Endast om påverkansgraden är mycket kraftig kan sålunda påverkan ses, och då i allmänhet endast i utsläppskällans omedelbara närhet. Kända potentiella föroreningskällor undviks naturligtvis ändå i möjligaste mån vid provtagning. Man kan däremot fråga sig hur omfattande spridningen till miljön varit och är av människans långvariga bruk av metaller. Redan för flera tusen år sedan bearbetades koppar och guld t.ex. till smycken och under hela den förindustriella epoken har keramik, glas, vapen, färgämnen och läkemedel tillverkats. Oavsiktlig och omfattande spridning av metaller har gjort att zink, tenn, bly, kobolt, kadmium, silver, arsenik, antimon m.fl. under mycket lång tid har cirkulerat i miljön. Generellt kan man dock anta att mängden av dessa metaller i markens C-horisont är så låga att de inte kan särskiljas från naturliga halter. Det är också främst i humus och ytlig jord man ibland kan spåra antropogent metalltillskott. Ett undantag utgör antropogent tillfört svavel som på grund av sin höga mobilitet kan nå djupare jordlager.

Förekomst och spridningsmönster i moränens C-horisont bildar olika geokemiska provinser i en region, man kan säga att den geokemiska statusen varierar areellt. 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 tillgodogör sig. Den geokemiska statusen är därför god. Inom andra regioner kan i stället nyttiga ämnen förekomma i låga halter eller med låg lakbarhet, samtidigt som pH kan vara lågt. Den geokemiska statusen är därmed betydligt sämre.

Många av de nyttiga spårämnen är samtidigt tungmetaller. Förekommer de med höga halter, eller i olika associationer, kan många av dem indikera mineralisering, vilket är av intresse för malmprospekteringen, men kan också, speciellt i låga pH-regioner, betyda att skadliga metaller läcker ut till grundvattnet. Låga halter av ett essentiellt spårämne i marken indikerar risk för att en bristsituation på det nyttiga ämnet kan uppstå eller redan råder.

Som faktaunderlag passar användning av markgeokemiska data också in inom åtminstone fem av de av riksdagen angivna 15 miljömålen. Anledningen är att den geokemiska statusen som ett område har utgör en naturgiven faktor som påverkar markens försurningskänslighet, metallbelastning, strålningsrisk, föroreningsrisk m.m. Naturliga halter av metaller och andra grundämnena i berggrund och jordarter kan till exempel inte saneras bort eller täckas över utan finns ständigt som en påverkansfaktor för yt- och grundvatten. Några exempel på geokemisk information som bör beaktas i miljömålen:

Miljömål 3. Bara naturlig försurning

- En regional undersökning av pH i markens opåverkade delar ger information om surhetsgraden i en region och ger också tillsammans med beräkning av försurningsresistensen en indikation på markens neutraliseringsförmåga och på områden där sannolikheten för aluminiumutlakning är stor.

Miljömål 4. Giftfri miljö

- Bakgrundshalter av metaller i ett län eller en kommun utgör basfakta vad gäller metallers överskridande av olika gränsvärden. Till exempel finns i olika delar av vårt land naturligt förekommande halter i marken av bl.a. arsenik, bly, kadmium, kobolt, nickel och zink som överstiger naturvårdsverkets gränsvärden för känslig markanvändning (KM-värden). I sällsynta fall är de naturliga halterna så höga att ett provs tillstånd kan klassas som "Allvarligt" eller t.o.m. "Mycket allvarligt" i förhållandet till riktvärden.
- Avgränsningar kan göras av områden som har naturligt förhöjda halter av ett flertal metaller, men där de enskilda metallerna inte överskrider KM-värden.
- Information om naturlig förekomst i jordar av giftiga metaller som idag saknar gränsvärden, t.ex. antimon, selen, silver, tallium, tenn, vismut och wolfram.

Miljömål 6. Säker strålmiljö

- Regionala uran- och toriumkartor baserade på halter i mark och bioindikatorer ger information om potentiella strålningsrisker från mark och vatten.

Miljömål 9. Grundvatten av god kvalitet

- Risk för metalläckage till grundvattnet kan finnas i pH-låga områden med hög lakbarhet av bl.a. zink, kadmium, mangan och nickel.
- Risk för att dricksvattnet kan innehålla halter överstigande gällande gränsvärden för giftiga metaller kan föreligga där marken innehåller naturliga förhöjningar av arsenik, uran och kadmium.
- Kalcium- och magnesiumrika områden indikerar god vattenkvalitet med naturligt skydd för hjärt- och kärlsjukdomar.

Miljömål 15. God bebyggd miljö

- Vid planering av nya bostadsområden och infrastrukturdragningar bör man beakta den geokemiska statusen i berörda regioner för att undvika framtida metalläckage.
- Vid all användning och brytning av naturmaterial som bergkross och morän bör man inhämta information om innehållet av metaller och deras lakbarhet för att undvika oavsiktlig spridning av metallrikt bergartsmaterial i miljön.

PROV Typen MORÄN

Jordarten morän täcker berggrunden över så gott som hela Sverige. Totalt anses ca 75 % av berggrunden vara täckt av morän (Sveriges Nationalatlas 1994). Moränen har generellt sett avsatts av flera inlandsisar, varav den senaste smälte för ca 14 000 (i söder) till ca 8 500 (i norr) år sedan. Isen eroderade berggrunden och transporterade iväg det nybrutna materialet tillsammans med varierande mängder äldre jordarter avlagrade före nedisningen.

Tre huvudtyper av morän förekommer: basalt deponerad morän, utsmältningsmorän samt flytmorän. Basalt deponerad morän avsatts under en aktiv glaciär genom att material i princip skrapas av mot underlaget. Resultatet blir oftast en hårdpackad morän med mycket få strukturer. Den är ganska homogen vad avser utseende, textur och innehåll. Det antas att materialet i en morän av denna typ är ganska korttransporterat. Denna moräntyp ger därför 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 och innehåller 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.

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. Olika bergarter har också olika förmåga att motstå vittring och nötning. Sedimentära bergarter, t.ex. skiffrar, nöts snabbt ner och finfraktioner kan därför påträffas ganska nära ursprunglig bergartsklyft. Magmatiska bergarter som graniter tål nötning bättre och de finaste fraktionerna kan ha transporterats betydligt längre sträcka.

ELEMENTENS FÖREKOMST OCH RÖRLIGHET

Geologiska förutsättningar

Berggrundens kemiska sammansättning varierar beroende på de ingående bergarternas sammansättning och proportioner. Halterna av många metaller är jämförelsevis låga i de kiselrika (sura) bergarter som dominerar den svenska berggrunden. I basiska bergarter finns däremot högre innehåll av bl.a. järn, magnesium, kobolt, koppar, krom och nickel. I skiffrar är halterna ofta betydligt högre eller mycket höga för en del spårämnen, exempelvis uran. I tabell 1 visas huvudsaklig bergartstillhörighet för element i vanligt förekommande bergarter i Sverige. Tilläggas kan att man med sura bergarter menar att bergarten har hög halt av kisel, inte att bergarten har låga pH-värden. Ren finmald kvarts, som är extremt kiselrik, har höga pH-värden.

Tabell 1. Bergartstyper med associerade element.

Bergarter	Förhöjda halter
Graniter	Au, Ba, Be, Bi, Cl, K, La, Mo, Pb, Rb, Sn, Th, Tl, U, W, Y, Zr
Sura vulkaniska bergarter (porfyrrer m.fl.)	Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn
Basiska bergarter (gabbror m.fl.)	Ca, Fe, Mg, Mn, P, Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, S, Sr, Ti, V, Zn
Skiffrar	Al, Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Cl, Co, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Sn, Se, Th, Tl, U, W, Y, Zn

Generellt så gäller att mängden av grundämnen i bergarter varierar beroende på hur vanliga de är i de bergartsbildande mineralen. I tabell 2 anges det genomsnittliga innehållet av grundämnen i jordskorpan och i några bergarter.

Moräners innehåll av olika mineral beror till största delen på de ingående nedkrossade bergarterna. I tabell 3 visas det genomsnittliga innehållet i en morän oavsett ingående bergarter. Tabellen baseras på markgeokemiska analyser av ca 25 000 moränprov från C-horisonten. Betraktar man viktsrelationen av grundämnena är det lätt att förstå varför man kallar en del huvudelement och andra spårämnen;

Tabell 2. Genomsnittligt innehåll av grundämnen i jordskorpan och i några bergarter (mg/kg).

Average contents of elements in rock types.

	Medelhalt i jordskorpan	Medelhalt i ultra- mafiska bergarter	Medelhalt i graniter	Medelhalt i sandstenar	Medelhalt i kalkstenar
Aluminium	79 000	20 000	73 000	37 000	4 000
Antimon	0,3	0,1	0,3	0,05	0,15
Arsenik	1,7	0,7	3	0,5	1,5
Barium	584	5	600	300	90
Beryllium	2,4	0,3	5	0,7	0,5
Bly	15	0,05	20	10	5
Fosfor	757	220	750	30	350
Gallium	15	0,5	18	8	1
Guld	0,002	0,0005	0,002	0,0005	0,0001
Järn	43 200	94 000	20 000	10 000	5 000
Kadmium	0,1	0,05	0,1	<0,04	0,1
Kalcium	38 500	25 000	9 000	13 000	380 000
Kalium	21 400	5 000	33 000	11 000	3 000
Kisel	288 000	201 000	337 000	403 000	31 000
Klor	472	80	200	10	150
Kobolt	24	110	4	0,3	0,1
Koppar	25	40	12	2	6
Krom	126	2 300	10	35	5
Lantan	30	1	50	20	6
Litium	18	2	30	10	5
Magnesium	22 000	208 000	5 000	7 000	4 000
Mangan	716	1 200	400	100	700
Molybden	1,1	0,3	1,5	0,3	0,3
Natrium	23 600	6 000	25 000	17 000	6 000
Nickel	56	2 000	5	2	5
Niob	19	1	18	10	0,1
Rubidium	78	2	120	40	4
Selen	0,12	0,07	0,025	0,01	0,025
Silver	0,07	0,03	0,05	0,003	0,01
Strontium	333	10	220	100	500
Svavel	697	600	100	200	500
Tallium	0,52	0,05	1,1	0,4	0,05
Tenn	2,3	0,3	3,6	0,6	0,3
Titan	4 010	3 000	3 000	1 500	400
Torium	8,5	0,05	15	5	2
Uran	1,7	0,02	4	1,3	1
Vanadin	98	80	70	20	15
Vismut	0,085	0,01	0,2	0,05	0,1
Wolfram	1	0,3	1,5	1	0,5
Yttrium	24	2	35	15	4
Zink	65	60	50	20	40
Zirkonium	203	30	200	250	20

en del förekommer helt enkelt i större mängd än andra. (Notera att huvudelementen, exempelvis kisel, inte är i oxidform i tabellen, till skillnad från övrig redovisning och på kartor). Utöver det minerogena innehållet kan det också finnas exempelvis kol. På det djup moränproven samlas in är förekomsten av organiskt material mycket liten, men i vissa fall kan djupa tunna rottrådar eller rester av sådana medföra att kol förekommer. I ett begränsat test av kolinnehållet i ett tiotal moränprover visade det sig att kolinnehållet varierade mellan 0,05 och 0,70 % (medianvärde 0,11 %).

Bergarter med olika mineralinnehåll avslöjar sig ofta i form av distinkta geokemiska elementmönster i moränen. Genom att studera geokemiska mönster kan man få en uppfattning om det primära mineralinnehållet. Exempelvis indikerar totalhalterna av bl.a. kalium och bly oftast kalifältspater medan

Tabell 3. Innehåll i 1 kg svensk genomsnittsjord (C-horisont i morän, fraktion <0,063 mm). Uppgifter hämtade från SGUs mark-geokemiska databas (2004), sort anges i gram.

Average contents of elements in till.

Syre	478,4
Kisel	330,5
Aluminium	72,5
Järn	25,4
Kalium	24,2
Natrium	16,8
Kalcium	15,2
Magnesium	7,7
Titan	4,5
Fosfor	1,0
Barium	0,52
Zirkonium	0,46
Mangan	0,45
Strontium	0,17
Svavel	0,15
Rubidium	0,086
Klor	0,073
Vanadin	0,057
Zink	0,052
Krom	0,049
Bly	0,023
Kobolt	0,019
Nickel	0,016
Lantan	0,013
Koppar	0,012
Litium	0,011
Brom	<0,010
Wolfram	<0,010
Torium	0,007
Arsenik	0,006
Uran	0,003
Tenn	0,001
Beryllium	0,00041
Molybden	0,00039
Selen	0,00023
Antimon	0,00019
Tallium	0,00018
Silver	0,00015
Vismut	0,00011
Kadmium	0,00009
Guld	0,000001
Platina	<0,000001
Palladium	<0,000001
Övrigt (Kol, väte, kväve, andra spårelement)	21,6
Summa	1000

syralakade halter av samma element i stället visar elementens lättlösliga förekomst, t.ex. i biotit som är ett vanligt förekommande mineral. Basiska bergarter och diabaser markeras av förhöjningar av den mafiska elementgruppen, med kalcium, järn, magnesium, kobolt, koppar, krom, nickel, vanadin m.fl. Granitiskt och pegmatiskt bergartsmaterial ger sig till känna som förhöjningar bland annat av bly, uran, tenn, wolfram och molybden.

En tidigt avsatt morän kan också påverkas av senare isrörelser med annan riktning än den som huvudsakligen transporterat moränmaterialet. Detta tillsammans med att isen fört med sig såväl eventuella gamla jordarter som lossbrutet bergartsmaterial och avsatt det som morän, gör att de geokemiska mönstren kan vara komplexa. Moränen i ett område har också transporterats mer eller mindre

långt och har därför ofta en något annorlunda sammansättning än den underliggande berggrunden. Tydligast syns detta där t.ex. ett granitiskt berggrundsområde har en ovanliggande morän med inslag av basiska bergarter. Kartbilden får då områden med högre halter av t.ex. magnesium i en annars magnesiumlåg region. Geokemiska elementmönster kompletterar ofta den isrätselriktning som indikeras av isräfflor och kan också vid mer noggranna studier användas som indikation på transportlängd av bergartsmaterial.

Faktorer som ibland kan påverka de geokemiska mönstren är tunna jordtäcken, deposition av svavel och andra luftburna havsaerosoler och föroreningar samt hög nederbörd. Sådan påverkan har exempelvis konstaterats i Västra Götaland (Andersson 2006).

Markprocesser och buffring

Vertikalt i marken varierar den kemiska sammansättningen bl.a. på grund av de markprocesser som bildar markprofilen. Vilken typ av markprofil som bildas beror på ett flertal faktorer, bland dem kan nämnas jordart, mineralinnehåll, markanvändning, klimat och vegetation. Den vanligaste markprofilen i svensk skogsmark är podsol, som utvecklas i näringsfattiga marker. I dess översta mineraljords-horisont, blekjorden, har kemiska och biologiska processer lakat ur de flesta huvudämnen och metaller. Några av dessa, exempelvis järn och aluminium, har fällts ut i den underliggande, ofta rostfärgade, B-horisonten. Halterna av ämnen i dessa båda markskikt orsakas delvis av naturliga, geologiskt betingade markmineral, eller mineral och föreningar som bildats vid vittring. En del ämnen kan dock tillföras via luft och nederbörd. Denna föroreningsfaktor tilltar i betydelse i befolkningstäta eller industriintensiva områden. Under B-horisonten, i C-horisonten, har markprocesserna stabiliserats, marken befinner sig i jämvikt och grundämnena förekommer till stor del i primära bergartsmineral och sekundära mineral (t.ex. lermineral).

En annan 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.

Om markens buffringsförmåga är låg sjunker pH när försurande vätejoner tillförs, antingen via naturliga processer eller antropogen försurning. Vid låga pH-värden ökar urlakningen av näringsämnen, aluminium och lättlösliga metaller, exempelvis kadmium, och dessa transporteras ut i vattendragen. Andra ämnen som fosfor och molybden binds däremot hårdare i marken. Buffring vid måttligt låga pH-värden, 6,2–4,2, sker genom att vätejonerna byts ut mot joner av kalcium, magnesium och kalium, 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 oftast av underordnad betydelse. Detta beror på att även om granit och gnejs innehåller kalciummineral, t.ex. plagioklas, är detta silikater med lägre vittringsbenägenhet. Sjunker pH under 4,5 sker buffringen med aluminiumjoner som då i stället tillförs markvattnet, ofta tillsammans med bl.a. kadmium, nickel, mangan och zink. Indikationer på vilket buffringssystem som råder kan beräknas med hjälp av bl.a. två pH-värden. Den så uppkomna försurningsresistensen visar den procentuella del av ett prov som inte berörs av en pH-sänkning vid tillförsel av vätejoner. Är försurningsresistensen total, dvs. 100 %, råder med all sannolikhet karbonatbuffring. När försurningsresistensen är under 100 % har i stället det effektiva aluminiumbuffringssystemet trätt i kraft. Om tillgången på lättlösliga aluminiummineral är låg sker silikatvittring och jonbytesbuffring i stället, vilket är positivt för markvattnet som får tillskott av gynnsamma joner, men förrådet i marken minskar naturligtvis. Detta buffringssystem är ganska långsamt, vilket indikeras av lägre försurningsresistens (runt 90 %). Någon klar gräns mellan de olika buffringssystemen går inte att fastlägga, eftersom de olika systemen överlappar varandra. Neutralisationsprocesserna beror bland annat på markens vittringsbenägenhet och på den katjonbildande förmågan.

Lakbarhet och associationer

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

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

Ett och samma element kan dock uppträda i flera olika mineral och vara olika hårt bundet. Ett sådant element är kalcium, som återfinns i de flesta nämnda mineralen, från den vittringsresistenta titaniten till den mycket lättvittrade kalciten (som bildar bergarten kalksten). Kalium förekommer så gott som enbart i antingen de svårvittrade kalifältspaterna eller i mer lättvittrad biotit, medan magnesium främst återfinns i sådana mineral som vittrar tämligen lätt, dvs. i hornbländegruppen och uppåt. Variationer i lakbarheten av elementen i morän ger därför information om provens mineralogiska sammansättning.

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

Förhållandet mellan olika element kan också avslöja lite om mineralinnehållet i marken. Elementen kalcium och strontium är normalt starkt geokemiskt associerade genom sina närliggande jonradier. Det kemiska släktskapet gör att strontium kan ersätta kalcium i mineralens kristallgitter, och strontium förekommer därför i de flesta mineral som innehåller kalcium. 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 kalcium i förhållande till andelen strontium är högre i apatit och pyroxen, eftersom dessa mineral bildas först i den stelnande magman. I senare skeden bildas plagioklaser, och förhållandet mellan elementen ändras så att andelen kalcium minskar medan strontium 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 moränerna inte består av en alltför komplex blandning av olika bergarter.

DE KEMISKA ELEMENTEN I NÄRINGSKEDJAN

De kemiska element 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 ska 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 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 idag konsumeras oftast härstammar från många olika håll varför den lokala markens påverkan inte blir så stark. Det bör alltså betonas att sambanden mellan markkemi och människors hälsa är komplexa och ibland svårutredda. Samband som trots allt har påpekats eller antagits i Sverige är bl.a. markradon–lungcancer, selenbrist–hjärtsjukdomar och kad-

mium i dricksvatten–barndiabetes. Något som anses ha samband med lägre frekvens av uppkomna hjärt- och kärlsjukdomar är närvaron av hårt vatten, dvs. där kalcium och speciellt magnesium 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.

De naturliga ekosystem som omger oss är starkt beroende av den lokala marken och dess innehåll av kemiska element. Oftast har ekosystemen anpassat sig till de förhållanden som råder, men såväl snabba som långsamma 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 element dokumenterat skadliga effekter på levande organismer, om elementet förekommer i ”rätt” form och halterna är tillräckligt höga: aluminium, antimon, arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, mangan, molybden, nickel, silver, tallium, tenn, uran, vanadin, vismut och zink. Det bör påpekas att även om halter av potentiellt skadliga element i denna rapport klassas som höga på den skala som används, 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 normalt omfattande undersökningar.

METODIK

Provtagning

För karteringsändamål insamlas moränprover och sedimentprover. För moränprover gäller kriterierna att de ska vara representativa för regionen och om möjligt tillhöra typen sandig eller sandig-siltig morän. Dessutom ska potentiellt förorenade områden undvikas.

Avståndet mellan proverna är 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



Fig. 2. Typisk grop för provtagning i morän.
Typical geochemical sampling site in till.

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 (normalt 0,7–1,2 meter) genom att material slås loss på några ställen i gropens botten (figur 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.

Sedimentproverna tas på 1 m djup men geografiskt har de oftast inte samma utbredning som moränprover. En skillnad mellan de båda provtyperna är att vid tolkning av geokemiska mönster är det betydligt färre faktorer som påverkar moränens metallhalt än vad gäller sediment. Moränens C-horisont är så gott som uteslutande geologiskt relaterad och kan lättare kopplas till berggrunden. Lerorna och övriga finkorniga sediments elementhalter påverkas av fler faktorer. Sedimentationsprocessen i sig kan t.ex. medföra anrikning av mineral och därmed omfördelning av element.

Provberedning

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

Ett urval av moränproverna analyseras även på fraktionen <2,0 mm. Detta görs för att erhålla information om sambanden mellan ämneshalter i de två fraktionerna, eftersom fraktionen <2,0 mm ofta föredras inom miljö- och skogssektorn. Sedimentproverna siktas endast på nylonsikt med 2 mm maskvidd.

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 analysen, sparas i en provbank för eventuella framtida analyser.

Analysering

Ett fyrtiotal grundämnen analyseras och ämnenas haltvariation bygger på olikheter i ursprunglig kemisk sammansättning av jordarterna. Analyserna görs av morän med kornstorlek <0,063 mm och av morän och sediment med kornstorlek <2 mm med hjälp flera olika analysmetoder. Moränfraktionen <0,063 mm samt morän och sediment <2 mm analyseras med uppslutning i 7M HNO₃ (salpetersyra) och ICP-MS, moränfraktionen <0,063 mm dessutom med XRF (röntgenfluorescens) och med uppslutning i kungsvatten och ICP-MS. Jordarternas surhetsgrad anges efter en pH-bestämning av proverna med uppslamning i avjoniserat vatten. 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). Värt att notera är att pH ligger 0,5–1 enhet lägre i fraktionen <0,063 mm, jämfört med pH mätt i fraktionen <2,0 mm. Detta beror med all sannolikhet på att den finare fraktionen innehåller fler partiklar per gram torkat prov vilket ger större sammanlagd partikelyta. Det är vid markpartiklarna de vätejoner har adsorberats, som man mäter i det uppslammade provet. Fler vätejoner medför alltså lägre pH-värde. Eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär varje sänkning med en pH-enhet att halten vätejoner i lösningen ökar tiofalt.

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 på grund 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 fraktionen <0,063 mm, medan de senare mäts i fraktionen <2 mm. Analysmetoden är dock densamma med salpetersyralakning av prov. Schablonmässigt kan man räkna med att halterna i moränfraktionen <2 mm är ca 2/3 av halterna i fraktionen <0,063 mm. SGU-värden som ligger strax över KM-värdet ska därför ses som indikativa. Sedan 1999 har dock SGU analyserat en del av moränproverna även på fraktionen <2 mm, och resultaten visar att korrelationen för s.k. 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 eller moränprov som siktas på fraktion <2 mm. 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 jämförandevärden när man ska bedöma ett områdes metallbelastning.

Kvalitetskontroll av analyser

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. I denna ingår varianser som uppkommer p.g.a. småskalig inhomogenitet i moräners sammansättning (som normalt är relativt liten, undantaget guld som uppvisar en s.k. kluster- eller nuggeteffekt) samt varianser uppkomna vid torkning, siktning, uppvägning, uppslutning och analys. Även analysvariansen undersöks med hjälp av internt standardprov. I Lax & Selinus (2005) finns en mer ingående beskrivning av den kvalitetskontroll, provtagning och provberedning som utförs vid geokemiska karteringsprojekt på SGU.

Med hjälp av statistisk och visuell granskning kan fel upptäckas och åtgärdas. För offentliggörande av grundämnenas analyser krävs att dessa har kvalitetsklassats som tillfredsställande och däröver. De olika varianter på kvalitetskontroll som tillämpas vid geokemiska undersökningsprojekt används även av andra länders motsvarighet till SGU.

Parametrar av fullgod eller tillfredsställande analytisk kvalitet som ingår i den geokemiska referenssamlingen är: pH, pH₁, 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, Ta, Th, TiO₂, Tl, U, V, W, Y, Zn och Zr. Därutöver finns dessutom ett fåtal grundämnen med analyser av sämre kvalitet, t.ex. brom, gallium och niob som i vissa fall kan användas som indikativa.

Elementkartor

I föreliggande rapport redovisas ett antal analysparametrar i form av singelelementkartor och beräknad (tematisk) karta uppvisande förurningsresistens. För guld, koppar, bly, zink, kobolt, nickel, krom och vanadin kan plottade kartor i skala 1:250 000 eller 1:100 000 framställas efter beställning hos Kundtjänst på SGU.

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 ska därför behandlas med viss försiktighet. Detta innebär också att den färgade ytan kommer att täcka även områden med andra jordarter än morän, och i sådana områden kan avvikelser mellan verklig halt och beräknad halt vara stor. För att få en uppfattning om provtagningstäthet för morän respektive sediment, är varje provlokal markerad med en punkt på färgkartorna.

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 främst för att sätta olika geokemiska regioner i relation till varandra. Klassindelningar med percentiler på färgkartorna grundar sig på rikets klassindelning (om ej annat anges) och denna baseras på landets hela referenssamling (t.o.m. 2002) för respektive element och analystyp. För de enskilda kommunerna är det ett illustrativt sätt att se hur kommunens halter av metaller ligger jämfört med landet i övrigt.

GEOLOGI I OMRÅDET

För utförlig information om berggrund och jordarter i undersökningsområdet hänvisas till annan litteratur som getts ut i SGUs olika publikationsserier. En översiktlig berggrundskarta med isräfflor inlagda visas i figur 3. En översiktlig jordartsskarta visas i figur 4. I ortsnamnskartan, figur 5, återfinns en del av de platser som nämns i den följande texten.

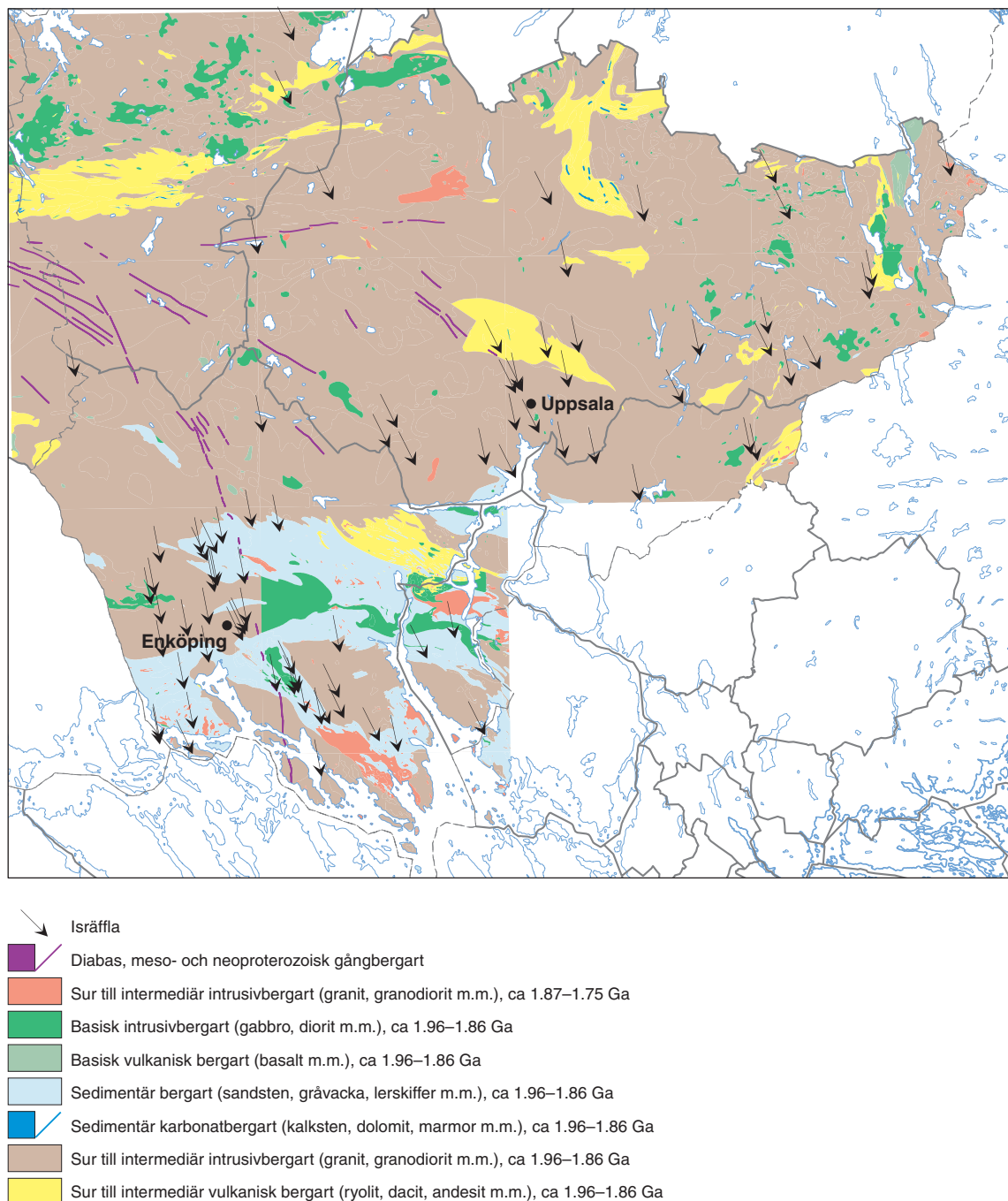


Fig. 2. Översiktlig berggrundskarta med isrörelseriktningar. Baserad på Regional berggrundsinformation, förenklad (bela_brgy_lev_v2).

Bedrock map with ice flow movements. Based on Regional bedrock information (bela_brgy_lev_v2).

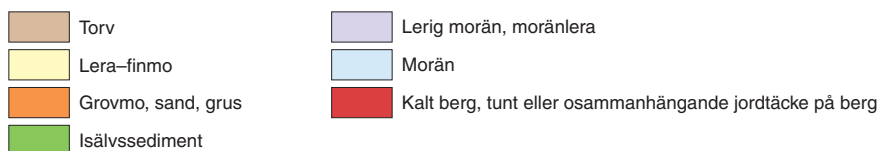
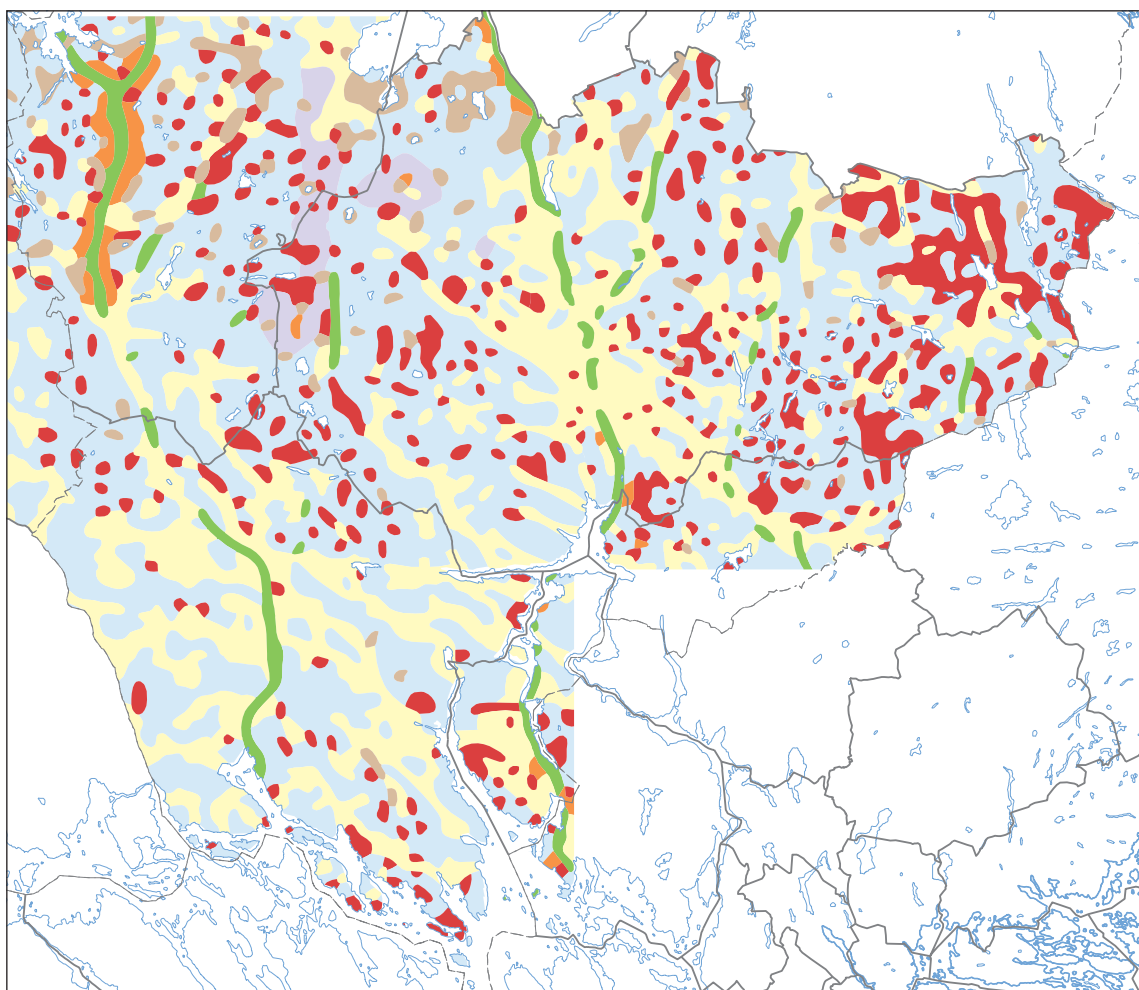


Fig. 4. Översiktlig jordartskarta baserad på Sveriges Nationalatlas (Fredén 2002).
Quaternary map based on the National Atlas of Sweden (Fredén 2002).



Fig. 5. Platsnamn som nämns i texten.
Places referred to in text.

GEOKEMI I REGIONEN

Sura sulfatjordar

Miljöproblem kan något oväntat ibland uppstå på grund av speciella egenskaper hos jord- eller bergarter. Ett speciellt exempel är s.k. sura sulfatjordar, en problemjordart som förekommer över relativt stora ytor i flera delar av världen. I Sverige uppstår dessa jordar huvudsakligen i finkorniga, postglaciala gyttejeleror, en jordart som är relativt vanlig i Mälardalen. Sura sulfatjordar kan under vissa förhållanden exempelvis leda till sura, metallrika yt- och grundvatten. I Mälardalen finns dock ibland ganska höga halter karbonat i de finkorniga jordarna, vilket helt eller delvis kan förhindra uppkomsten av sura sulfatjordar.

De sura sulfatjordarna uppkommer när järnsulfider i de finkorniga jordarterna syresätts. Effekten är en drastisk pH-sänkning. Lakvattnet som uppstår kan ha pH-värden <4 och dessutom innehålla höga halter nickel, kadmium, zink, kobolt, yttrium m.fl. SGU har undersökt möjligheterna att lokalisera dessa problemjordar med hjälp av jordartsinformation samt geofysisk och geokemisk information (Lax 2005). Geokemiskt påverkas t.ex. bäckvattenväxter av vatten från sura sulfatjordar med effekten att nickelhalten blir hög medan blyhalten förblir låg eller t.o.m. minskar i jämförelse med opåverkade prov. Kvoten mellan nickel och bly i bäckvattenväxter kan därför ge en snabb uppfattning om var aktivt metalläckande sura sulfatjordar finns.

Även vid den markgeokemiska provtagningen kan ibland sura sulfatjordar påträffas. Prov vars pH-värde understiger 4 är med stor sannolikhet just sådana jordar, och dylika har påträffats på ett ställe.

En riktad undersökning i samma område har tidigare visat att sura sulfatjordar förekommer ganska spritt runt Uppsala (Lax & Sohlenius 2006).

TÄTORTSGEOKEMI UPPSALA

Geokemiska undersökningar i tätorter görs eftersom förutsättningar för metallinnehåll i mark och vatten inte bara är geologiskt relaterade och styrda av markprocesser utan också påverkade av antropogen aktivitet. Tätorter har under lång tid varit utsatta för diffusa föroreningar vilket ofta gett en metallbelastning som överstiger metallbelastningen i omgivande landsbygd (Naturvårdsverket 1997). Det är viktigt att komma ihåg att det sannolikt inte går – eller att det är extremt svårt – att ange en tätorts helt naturliga bakgrund av metaller (grundämnen), dvs. hur bakgrunds nivåerna låg innan tätorten etablerades. Naturvårdsverket har definierat bakgrundshalt som den halt som idag råder i mark som inte har påverkats av lokala punktkällor, med andra ord summan av den naturliga halten och det diffusa antropogena tillskottet. Med naturlig halt avses den halt som skulle råda om ett område över huvud taget inte hade utsatts för antropogen påverkan. Internationellt använder man ofta begreppet ”geochemical baseline information” som benämning för de halter som den naturliga bakgrundshalten samt ett diffust antropogent påslag ger (Salminen & Gregorauskiene 2000). Det är viktigt att inse att det är omöjligt att ange bakgrundshalten i ett område som ett enskilt värde, halten varierar förutom på grund av geologiska och mänskliga orsaker också med tiden. Bakgrundshalten måste därför anges som det intervall inom vilket man anser att det är mest sannolikt att mätvärdena hamnar. Ofta anger man dock endast det högre värdet i intervallet eftersom detta utgör det referensvärde ovan vilket halterna bedöms vara en produkt av ett märkbart antropogent tillskott, dvs. ”förorenat”.

Internationellt har man gjort geokemiska undersökningar i tätorter sedan 1990-talet. Utöver att påvisa hur olika metallassociationer i yttjord avspeglar teknosfären (Peltola & Åström 2003) har man också påvisat att underlagets belastning av ett flertal metaller kan ha antropogent påslag (Birke & Rauch 2000). Det har bland annat konstaterats att yttlig jord ofta har förhöjda nivåer av exempelvis Ag, As, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb och Sb, och i underlaget eller alven har man påvisat högre innehåll av bland annat Cd, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn. I urbana miljöer där metallrelaterade verksamheter bedrivits under lång tid kan alltså även de djupa jordproven vara påverkade av antropogena källor (Pasioczna 2003). En tätorts industriella och kommersiella uppbyggnad med olika verksamheter och historik får på ett eller annat sätt metaller att cirkulera i miljön och dessutom är den geologiska miljön olika för våra tätorter. Varje tätort är därmed unik och har unika bakgrunds nivåer av metaller.

Dylika undersökningar är gjorda även i Sverige, men sällan med direkt jämförbara metoder. Syftet med att ta prover och kemiskt analysera olika organiska och oorganiska provtagningsmedier skiftar. Det gör att valet av provtagningsplatser, bearbetning av analysdata m.m. försvårar eller omöjliggör jämförelsen av olika tätorter. I slutet av 1990-talet utförde SGU en tätortsgeokemisk kartläggning av Göteborg. Erfarenheterna av det pilotprojektet var så goda (Selinus m.fl. 2001) att ett antal tätorter därefter ingick i den geokemiska kartläggningen. Ett huvudsyfte för SGU är att undersökningar av tätorter och andra områden görs efter ett enhetligt provtagningskoncept och att någorlunda jämna statistiska populationer kan tas fram för bearbetning av analysresultaten. Även provberedning och analysmetodik ska vara identisk för olika tätorter. Av vikt är också att belysa de geologiska förutsättningarna för grundämnens förekomst och spridning. SGU har efter Göteborgsprojektet, som utfördes i samarbete med Göteborgs kommun (Selinus m.fl. 2001), genomfört tätortsundersökningar i Västerås (Andersson 2004) och i Uppsala (denna rapport), samt Malmö och Helsingborg (pågår). För dessa ändamål har markgeokemisk och biogeokemisk provtagning gjorts dels i urban miljö, dvs. i den mest bebyggda delen av en tätort, dels i den rurala miljön i närområdet till tätorten.

Fokusering i tätorter görs på de metaller och metalloider som anses traditionella ur förorenings-synpunkt och där gränsvärden finns för indelning av tillstånd av förorenad mark (Naturvårdsverket 1999). Fokusering har också gjorts på några av de ”nya” metaller och metalloider som föreslås ingå

inom nationell miljöövervakning med tanke på deras höga föroreningsgrad eller toxicitet (Lithner & Holm 2003). Observera att i fortsättningen används begreppet metaller även för metalloider för att förenkla läsandet.

Metoder

Före provtagning i tätort väljs provtagningsplatserna ut för att vara representativa för den rurala respektive urbana miljön. Rural miljö definieras som en provtagningsplats i tätorten som inte anses vara påverkad av någon identifierbar, näraliggande, antropogen källa och vars underliggande jordart är in situ, dvs. inte omlagrad. Luftburna föroreningar kan naturligtvis inte uteslutas i den rurala miljön, men är sannolikt av underordnad betydelse i djupare belägna prov. En provtagningsplats i urban miljö kan däremot vara påverkad av flera antropogena källor och den underliggande jordarten kan inte uteslutas vara omrörd. Platser med klar influens av mänsklig påverkan undviks helt, bland annat lekplatser och utfylld mark. Lokalkännedomen är viktig och platserna diskuteras tillsammans med de kommuner som berörs.

Insamlingen görs av markgeokemiska prov i morän och andra sediment från ett djup av 0,7–0,8 m för morän och 1 m för sediment vilket är helt enligt den regionala metoden. Det tas också ett prov av representativ ytlig jord från samma lokal på ett djup under markytan av ca 5–10 cm (proverna tas under humus och rotfilt). För de ytliga proverna har glödförlusten (i princip halten av organiskt material) bestämts för att undersöka eventuella samband med uppmätt metallhalt. Salpetersyralakade analyser av fraktioner <2 mm används huvudsakligen vid bearbetningen av analysdata från tätorterna. Kungsvattenlakning används bland annat för guld, antimon och tenn, eftersom salpetersyralakning inte fungerar så bra för framför allt guld och antimon. Biogeokemiska prov omfattar analyser av näckmossa och husmossa. Näckmossan utgör ett transplantat, dvs. den läggs ut i rinnande vatten och får ligga ett antal veckor (ofta några månader) innan den plockas upp. Husmossan samlas främst in i närheten av näckmosselokalerna. Som uppföljning av en del analysresultat tas också ofiltrerade vattenprover. Alla prover analyseras med ICP-MS. Valen av provtyp, provbehandling och analysmetodik är något modifierade efter Naturvårdsverkets rekommendationer för t.ex. förorenad mark, men ger jämförbara resultat.

Grundprincipen vid bearbetning och tolkning av samtliga geokemiska data är att de djupare tagna morän- och sedimentproven huvudsakligen visar naturliga geo-relaterade elementhalter. Ytligare tagna jordprov och näckmossa visar en blandning av element från både naturliga och antropogena källor medan husmossan enbart visar det luftburna nedfallet. I stället för benämningen naturlig kan begreppet geogen användas. Ämnen med geogen prägel har inte något tydligt generellt antropogent tillskott när man betraktar medianhalterna i den urbana miljön.

Uppsala

Som en del i denna rapport ges här en bild av den aktuella metallstatusen i Uppsala. Syftet har inte varit att vare sig förklara orsakerna till eller utröna effekterna av metaller i miljön, utan här redogörs i stället för en bedömning av bakgrundshalter i olika provtagningsmedia jämfört med Stockholm och Västerås. Endast ett urval av de analyserade parametrarna redovisas som lokala, högsta bakgrundsvärden för varje tätort (tabell 4). Metoden för att bestämma dessa högsta bakgrundsvärden bygger på en visuell bedömning av den statistiska fördelningen, framför allt i form av boxplots.

Tabell 4 visar dels att de sandiga jordarna i Uppsala oftast har bakgrundsnivåer som ligger under eller vid KM-värdet, dels att halterna generellt är högre i Västerås än i såväl Uppsala som Stockholm. Detta antas till stora delar ha geologiska förklaringar. I ytlig jord är blyinslaget ofta markant antropogent, men i Uppsala ligger halterna – till skillnad från i Västerås och Stockholm – under KM-värdet. Halterna i hus- och näckmossa är generellt tämligen lika, kadmiumhalten i rinnande vattendrag tycks dock vara

Tabell 4. Föreslagna högsta lokala bakgrundsvärde i tre tätorter. Det generella KM-värdet som jämförelse. (ts) = torrsubstans, analysmetod 7M HNO₃-ICP-MS. För metodbeskrivningar se även Lax & Selinus (2005).

	Husmossa (ts)			Näckmossa (ts)			Ytlig jord (sandiga jordarter)			C-horisont (sandiga jordarter)			Riktvärde KM	Förenad mark
	Stockholm	Västerås	Uppsala	Stockholm	Västerås	Uppsala	Stockholm	Västerås	Uppsala	Stockholm	Västerås	Uppsala		
As	0,3	0,5	0,5	20	40	15	6	5	5	5	10	4	10	mg kg ⁻¹
BaO	50	50	50	800	200	800	125	125	80	100	175	70	200	mg kg ⁻¹
Bi	0,08	0,08	0,08	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,4	0,3	1	0,3	–	mg kg ⁻¹
Cd	0,4	0,7	0,4	4	1,5	6	0,4	0,4	0,4	0,15	0,4	0,1	0,5	mg kg ⁻¹
Co	0,9	1,2	1,2	60	25	60	15	12	15	12	20	15	15	mg kg ⁻¹
Cr	4	4	4	14	14	16	50	50	50	60	60	50	80	mg kg ⁻¹
Cu	12	25	20	50	65	65	35	40	30	22	40	12	80	mg kg ⁻¹
Fe2O3	0,2	0,2	0,3	5	6	2,5	5	5	5	5	6	5	–	%
Mo	1,5	1,5	3	8	2	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	0,8	40	mg kg ⁻¹
Ni	2	6	4	40	40	60	22	25	28	30	30	20	40	mg kg ⁻¹
Pb	10	12	12	40	40	25	100	60	40	20	35	15	50	mg kg ⁻¹
U	0,2	0,4	0,3	15	20	15	3	7	3	5	6	2	–	mg kg ⁻¹
V	3	5	5	30	30	50	50	55	60	60	70	60	100	mg kg ⁻¹
W	1,5	1,5	1,5	6	2,5	2,5	1,25	0,5	0,3	0,14	0,18	0,12	–	mg kg ⁻¹
Zn	100	250	125	1000	250	1000	150	200	150	90	140	80	250	mg kg ⁻¹

Tabell 5. Naturliga bakgrundshalter samt pH. Data från SGUs riksomfattande markgeokemiska kartering. Indelning i percentiler. Indelning enligt percentiler p10–p99, p50 = medianvärde.

FINFRAKTION (<0,063 mm), MORÄN
Totalhalter (Röntgenfluorescens, XRF)

	p10	p30	p50	p70	p90	p99	n
Al ₂ O ₃ g/kg	116	128	136	144	157	180	26343
BaO g/kg	0,44	0,52	0,59	0,67	0,79	1	26343
CaO g/kg	12,9	18,6	21,5	24	29,4	46,4	26343
Fe ₂ O ₃ g/kg	24,6	31,2	36,9	43,6	55,3	74,1	26343
K ₂ O g/kg	23,1	26,4	28,6	31,1	34,7	40,8	26343
MgO g/kg	7,3	10,4	13	15,8	21	31,8	26343
MnO g/kg	0,39	0,5	0,59	0,7	0,89	1,56	26343
Na ₂ O g/kg	18,1	22,9	26,7	30,9	35,9	41,7	26343
P ₂ O ₅ g/kg	1,41	2	2,32	2,62	3,16	4,59	26343
SiO ₂ g/kg*	675	704	721	738	764	825	26343
TiO ₂ g/kg	5,19	6,48	7,36	8,28	9,64	11,68	26343
As mg/kg**	<10	<10	<10	11	16	32	26343
Cl mg/kg	<50	<50	66	91	200	1336	26343
Co mg/kg	13	17	20	23	29	40	26343
Cr mg/kg	24	36	48	61	85	137	26343
Cu mg/kg	6	10	14	19	30	61	26343
Mo mg/kg	<2	<2	<2	2	2	7	26343
Ni mg/kg	8	12	16	21	32	58	26343
Pb mg/kg	16	20	22	26	32	57	26343
Rb mg/kg	62	74	85	98	120	161	26343
S mg/kg	91	117	146	197	356	1109	26343
Sr mg/kg	107	146	173	196	247	328	26343
V mg/kg	36	48	58	71	99	150	26343
Zn mg/kg	30	41	50	61	81	135	26343
Zr mg/kg	323	390	452	534	681	931	26343

*Beräknad SiO₂-halt

**Analysmetoden överskattar halter <30 mg/kg

FINFRAKTION (<0,063 mm), MORÄN
Kungsvattenlakning med ICP-MS

	p10	p30	p50	p70	p90	p99	n
BaO g/kg	0,017	0,027	0,038	0,05	0,075	0,137	9763
As mg/kg	1,2	1,8	2,6	4,5	11,6	31,7	9763
Au mikrog/kg	0,2	0,6	0,9	1,4	2,7	11,9	9763
Bi mg/kg	0,03	0,05	0,1	0,15	0,28	0,84	9763
Cu mg/kg	4,3	7,9	11,4	16,6	27,7	58,7	9763
Mo mg/kg	0,2	0,3	0,4	0,6	1,1	3,3	7818
Sb mg/kg	0,03	0,04	0,08	0,14	0,26	0,62	9763
Sn mg/kg	<1	<1	<1	<1	1,2	1,9	9763

FINFRAKTION (<0,063 mm), MORÄN
Salpetersyralakning (7M HNO₃) med ICP-MS

	p10	p30	p50	p70	p90	p99	n
Al ₂ O ₃ g/kg	9	13	17	21	30	51	12124
BaO g/kg	0,019	0,031	0,042	0,057	0,087	0,184	12124
CaO g/kg	2,2	3,3	3,9	4,6	5,8	56,7	12124
Fe ₂ O ₃ g/kg	9	14	17	23	33	56	12124
K ₂ O g/kg	0,5	0,9	1,2	1,7	2,7	5,4	12124
MgO g/kg	2,4	3,7	5	6,9	10,1	17,2	12124
MnO g/kg	0,12	0,18	0,23	0,32	0,53	1,21	12124
Na ₂ O g/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,4	12124
P ₂ O ₅ g/kg	1	1,6	1,9	2,3	2,8	3,9	12124
TiO ₂ g/kg	0,64	0,95	1,18	1,44	1,89	2,8	12124
Ag mg/kg	0,024	0,036	0,046	0,058	0,082	0,15	6830
As mg/kg	0,8	1,5	2,7	5,3	12,5	36,2	12124
Be mg/kg	0,22	0,31	0,4	0,52	0,79	1,31	12124
Bi mg/kg	0,024	0,05	0,087	0,13	0,244	0,72	12124

	p10	p30	p50	p70	p90	p99	n
Cd mg/kg	0,03	0,05	0,07	0,1	0,16	0,37	12124
Co mg/kg	2,3	3,8	5,1	7	10,1	17	12124
Cr mg/kg	5,5	9	12,9	18,1	28,4	50,6	12124
Cu mg/kg	4,5	8	11,7	17	27,8	58	12124
La mg/kg	13,4	17	20	24,1	34	61,9	12124
Li mg/kg	4	6,5	9	12,6	19	33,8	12124
Mo mg/kg	0,13	0,22	0,32	0,5	1,05	4,71	12124
Ni mg/kg	3,5	5,9	8,5	12,5	22,3	44,9	12124
Pb mg/kg	3,3	4,7	6,7	9,7	16	39,5	12124
Rb mg/kg	5,5	9	12,4	16,7	25,2	46,4	12124
Se mg/kg*	0,10	0,15	0,20	0,27	0,47	0,95	12124
Sn mg/kg	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,9	12124
Sr mg/kg	5,6	8,3	10,4	13	18,7	88,8	12124
Th mg/kg	4,2	5,8	7,4	9,3	12,8	20,8	9673
Tl mg/kg	0,05	0,08	0,13	0,19	0,3	0,6	12124
U mg/kg	0,9	1,2	1,5	2	3,3	7,4	12124
V mg/kg	9,9	15,2	20,1	26	36,8	58,4	12124
W mg/kg	0,04	0,06	0,09	0,14	0,23	0,5	12124
Y mg/kg	6,8	9	11,1	13,6	19,1	36,1	12124
Zn mg/kg	13,2	20,2	29,2	41	61,4	111	12124

MORÄN <2 mm

Salpetersyralakning (7M HNO₃) med ICP-MS

	p10	p30	p50	p70	p90	p99	n
Al ₂ O ₃ g/kg	4,8	7,2	9,9	13	19	33	1051
BaO g/kg	0,01	0,016	0,024	0,032	0,05	0,098	1051
CaO g/kg	1,07	1,66	2,1	2,67	3,52	5,44	1051
Fe ₂ O ₃ g/kg	5,3	7,9	10,5	14	20,9	33,6	1051
K ₂ O g/kg	0,36	0,58	0,8	1,14	1,84	3,5	1051
MgO g/kg	1,7	2,5	3,6	5	7,8	13,5	1051
MnO g/kg	0,07	0,1	0,14	0,18	0,29	0,52	1051
Na ₂ O g/kg	0,05	0,07	0,08	0,1	0,14	0,21	1051
P ₂ O ₅ g/kg	0,48	0,71	0,97	1,32	1,76	2,46	1051
TiO ₂ g/kg	0,42	0,62	0,77	0,95	1,27	1,93	1051
Ag mg/kg	0,014	0,019	0,024	0,032	0,053	0,102	1051
As mg/kg	0,4	0,7	1	1,6	2,9	11,4	1051
Be mg/kg	0,12	0,18	0,23	0,31	0,47	0,88	1051
Bi mg/kg	0,013	0,023	0,042	0,071	0,148	0,53	1051
Cd mg/kg	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,17	1051
Co mg/kg	1,3	2,1	3,1	4,2	6,4	13,1	1051
Cr mg/kg	3	4,8	7	10,1	16,7	42,2	1051
Cu mg/kg	2,4	4,5	6,7	9,8	18,3	71,1	1051
La mg/kg	8	10,7	12,7	15	21	36	1051
Li mg/kg	3	4,4	5,7	7,7	12,3	23,6	1051
Mo mg/kg	0,08	0,13	0,18	0,29	0,54	1,9	1051
Ni mg/kg	1,9	3,1	4,5	6,6	11,4	30,1	1051
Pb mg/kg	1,8	2,5	3,1	4,3	7,1	14,4	1051
Rb mg/kg	3,5	5,6	7,4	10,2	16,3	37,8	1051
Se mg/kg*	0,05	0,08	0,11	0,16	0,26	0,56	1051
Sn mg/kg	0,1	0,13	0,17	0,21	0,3	0,5	1051
Sr mg/kg	2,5	3,7	4,7	5,9	8,2	14,9	1051
Th mg/kg	2,7	3,5	4,5	5,7	8,1	15	1051
Tl mg/kg	0,03	0,041	0,06	0,091	0,157	0,37	1051
U mg/kg	0,5	0,8	1	1,3	2,1	5,4	1051
V mg/kg	6	9,4	12,7	16,7	23,6	41,1	1051
W mg/kg	0,03	0,04	0,06	0,08	0,14	0,27	1051
Y mg/kg	3,7	4,7	5,6	6,8	9,4	16	1051
Zn mg/kg	8,2	11,2	15,1	20,8	33,6	66,3	1051

SEDIMENT (<2 mm), dominans av leror
Salpetersyralakning (7M HNO₃) med ICP-MS

	p10	p30	p50	p70	p90	p99	n
Al ₂ O ₃ g/kg	12,4	22,9	30,7	36,2	43,7	56,2	544
BaO g/kg	0,03	0,07	0,09	0,11	0,15	0,23	544
CaO g/kg	1,9	3,7	5	6,2	7,5	51,7	544
Fe ₂ O ₃ g/kg	14,7	28,1	37,3	43,9	52,9	66,4	544
K ₂ O g/kg	1,4	3,1	4,5	5,6	7,1	8,8	544
MgO g/kg	4,1	7,6	10,8	13	16	20,3	544
MnO g/kg	0,17	0,34	0,52	0,67	0,9	1,29	544
Na ₂ O g/kg	0,11	0,24	0,34	0,44	0,62	1,46	544
P ₂ O ₅ g/kg	0,7	1	1,2	1,4	1,7	2,5	544
TiO ₂ g/kg	0,6	1	1,4	1,7	2,1	2,5	544
Ag mg/kg*	0,04	0,07	0,09	0,12	0,18	0,22	544
As mg/kg	1,2	2,3	3,8	5,4	8,3	13,1	544
Be mg/kg	0,31	0,68	0,90	1,14	1,55	1,90	544
Bi mg/kg	0,07	0,13	0,17	0,24	0,49	0,58	544
Cd mg/kg	0,03	0,05	0,06	0,10	0,17	0,30	544
Co mg/kg	3,6	6,8	9,7	12,2	15,7	19,4	544
Cr mg/kg	9,6	17,3	22,9	30,2	44,0	60,2	544
Cu mg/kg	6,4	11,8	14,9	19,3	28,1	43,2	544
La mg/kg	16,1	31,5	42,9	52,1	61,7	84,7	544
Li mg/kg	7,4	14,0	18,7	23,0	31,9	44,7	544
Mo mg/kg	0,14	0,24	0,34	0,54	1,45	6,57	544
Ni mg/kg	5,9	11,2	16,0	20,0	29,6	41,7	544
Pb mg/kg	4,3	8,7	11,2	14,8	22,2	27,9	544
Rb mg/kg	14,3	32,3	45,1	57,2	69,0	82,7	544
Se mg/kg*	0,11	0,22	0,27	0,33	0,48	1,84	544
Sn mg/kg*	0,12	0,19	0,25	0,32	0,39	0,57	544
Sr mg/kg	8,3	16,7	24,0	30,1	38,2	127,6	544
Th mg/kg	5,8	9,4	11,9	14,3	19,0	27,0	544
Tl mg/kg	0,11	0,21	0,28	0,34	0,44	0,58	544
U mg/kg	1,1	1,8	2,4	3,3	5,1	8,8	544
V mg/kg	17,6	32,8	40,6	48,6	59,2	73,0	544
W mg/kg*	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,28	544
Y mg/kg	8,0	17,2	23,2	28,5	35,4	47,7	544
Zn mg/kg	22,9	46,9	62,3	74,8	102,7	129,3	544

*Låg kvalitet på låga nivåer

pH

fasta klassgränser

morän	4,6	5	5,5	6	6,5	7	7,5
sediment	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8

något högre i Uppsala än i de andra tätorterna. En orsak kan vara förekomst av sura sulfatjordar, som är kända för att mobilisera bland annat kadmium. I tabell 5 listas statistik över de geokemiska analyser SGU utfört i sin markgeokemiska kartering.

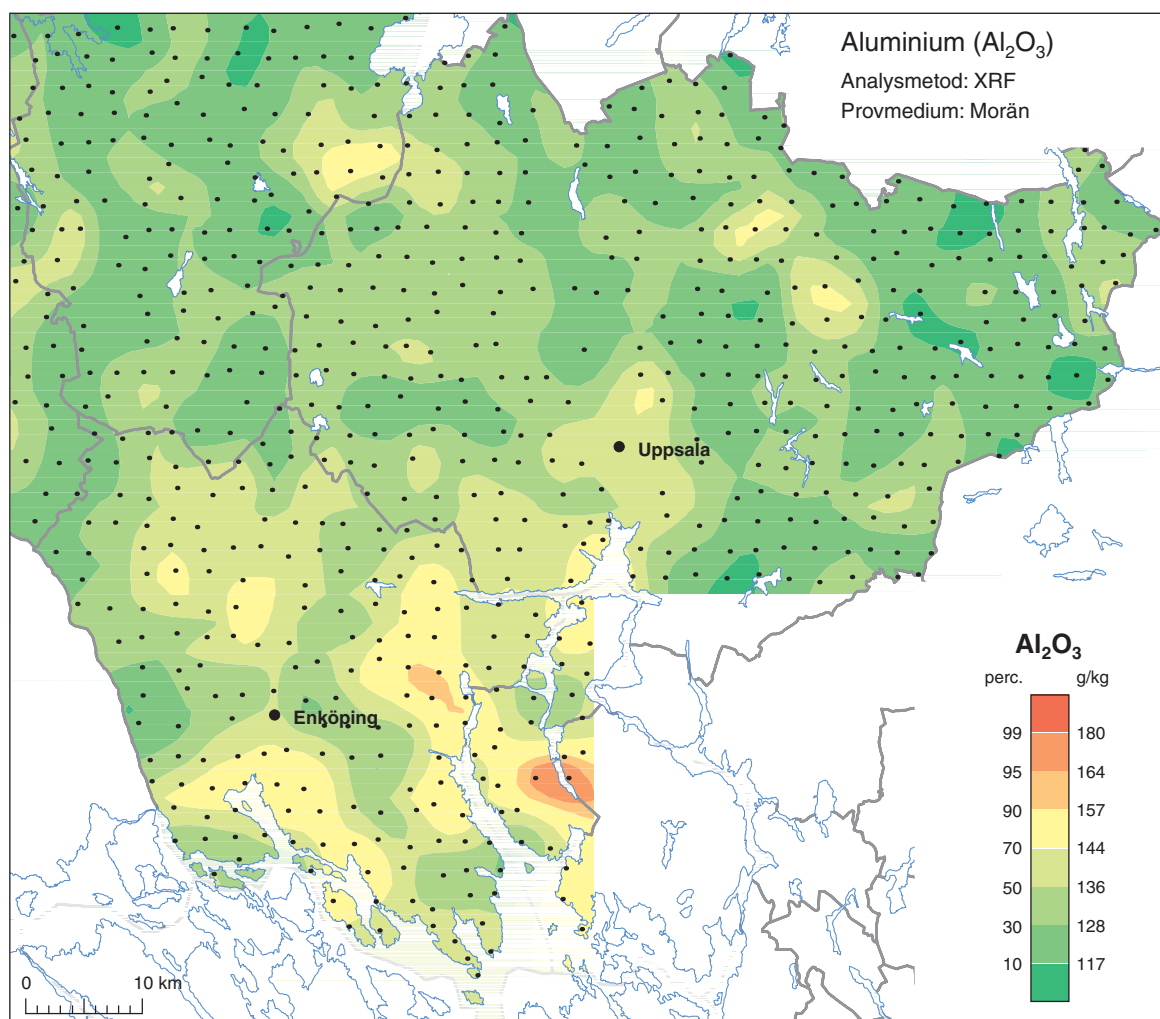
MINERALPROSPEKTERING OCH MORÄNGEOKEMI

I området finns några kända mineraliseringar och äldre gruvor. I huvudsak är det fråga om järnmalmer och byggnadssten, vilka sannolikt lämnar ytterst svaga eller inga spår i morän. Det finns dock några sulfidmineraliseringar dokumenterade i SGUs mineralfyndighetsdatabas och i anknytning till några av dessa uppvisar några av de insamlade moränproven en tydligt förhöjd halt av framför allt antimon men också bly, silver, kadmium m.fl.

Aluminium (Al_2O_3)

Aluminium är den vanligast förekommande metallen i jordskorpan men uppträder aldrig i ren form. I vår berggrund och våra jordarter uppträder aluminium huvudsakligen i bergartsbildande mineral och till viss andel i sekundära mineral som bildats genom vittringsprocesser. De bergartsbildande mineralen domineras av olika typer av fältspater. Bergarter som omvandlats, t.ex. gnejser och kvartssiter, innehåller ofta jämförelsevis höga aluminiumhalter. Basiska bergarter, skifferar, diabaser och graniter innehåller också elementet, medan ultramafiska bergarter har mycket lågt aluminiuminnehåll liksom kalkstenar och sandstenar. Även om aluminium frigörs vid vittring, är det skillnad på hur lätt detta sker. Exempelvis är aluminium hårdare bundet i svårvittrade kalifältspater än i plagioklaser och Fe- och Mg-silikater. Löst aluminium binds åter bland annat i sekundära lermineral, exempelvis kaolinleror. Värt att notera är att mineralen i våra leror till stor utsträckning består av olika aluminiumsilikat. Lerfraktionens (material <0,002 mm i kornstorlek) halt av aluminium kan uppgå till 20 vikt-% Al_2O_3 .

Aluminium är en lättmetall och är inte lika giftig som en del tungmetaller är för människan. Det har ingen känd funktion i kroppen och i normala doser tar kroppen heller förmodligen inte skada, förutom i de fall en allergisk reaktion inträffar. Det finns dock epidemiologiska studier som antyder ett samband mellan hög aluminiumhalt i dricksvatten och ökad förekomst av Mb Alzheimer, men slutliga bevis saknas (www.occmmed.uu.se/metal/al3.html). Aluminium är mycket svårslösligt i naturliga vatten och intag i samband med mat och dryck passerar ut med urinen. Man funnit förhöjda aluminiumvärden hos personer med Alzheimers sjukdom, men andra studier avfärdar aluminium som *orsak* och ser i stället ackumuleringen som en *verkan* av sjukdomen. Den egentliga orsaken är ännu ej klarlagd. Det

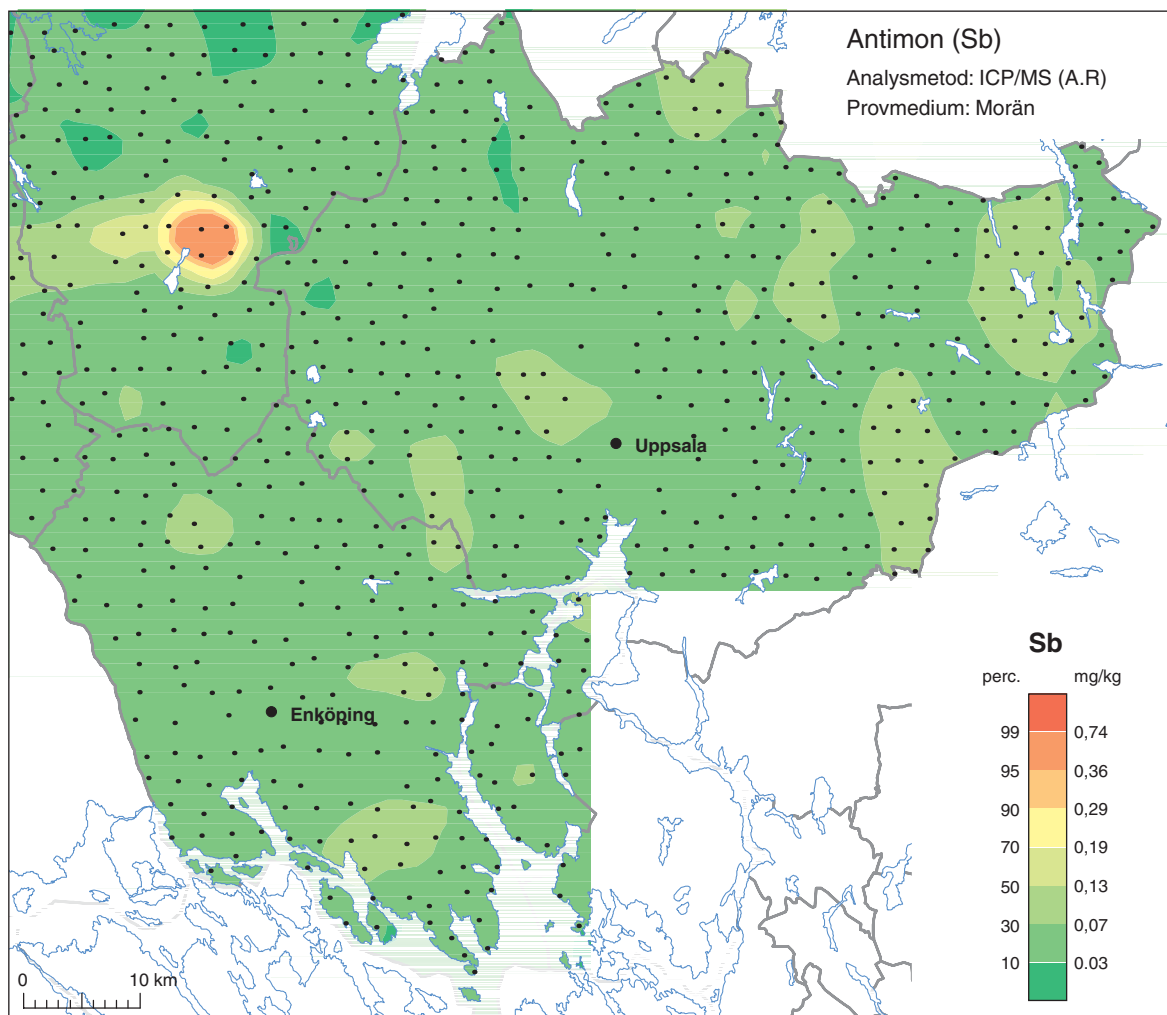


måste noteras att endast det aluminium som är mobilt och lösligt kan utgöra en risk för levande organismer. En sådan risk kan vara att aluminium binder fosfor, vilket försvårar upptaget av fosfor i kroppen. Det är främst i samband med försurande miljö som aluminium kan lösa ut ur jordar och nå vattendrag och sjöar. I vissa fall kan det orsaka skador på fisk då aluminiumhydroxid faller ut och sätter sig på fiskgälar och därmed försvårar syreupptaget.

Jämfört med övriga landet har kartområdets moräner något lägre medianvärde för totalhalten av aluminium, medan syralakbart aluminium ligger något högre än medianvärdet för riket. Förhöjningar anknyter i viss mån till metagråvackor samt granitoider i områdets sydöstra del.

Antimon (Sb)

Metalloiden (halvmetalen) antimon förekommer med högst halter i skiffrar, medan graniter, kalksten och basiter har lägre halter. Sandstenar har mycket låga halter. Geokemiskt är antimon närbesläktat med arsenik och vismut och förekommer ofta tillsammans med andra sulfider och i mineraliseringar såväl med dessa element som med bly, koppar, silver, guld m.fl. Vanligast är att antimon följer blyglans och zinkblände. I magmatiska processer kan metallen ersätta järn. Två former av antimon förekommer, en metallisk, vit och glänsande, och en amorf, grå form. Antimon är inte vanligt förekommande men kan trots det påträffas som spårämne i hundratalet mineral, exempelvis i ilmenit och olivin. Det kan också förekomma rent i naturen men för det mesta som antimonsulfid, Sb_2S_3 , stibnit. Antimon frigörs sannolikt ganska lätt vid vittring, men anses inte vara särskilt mobil.

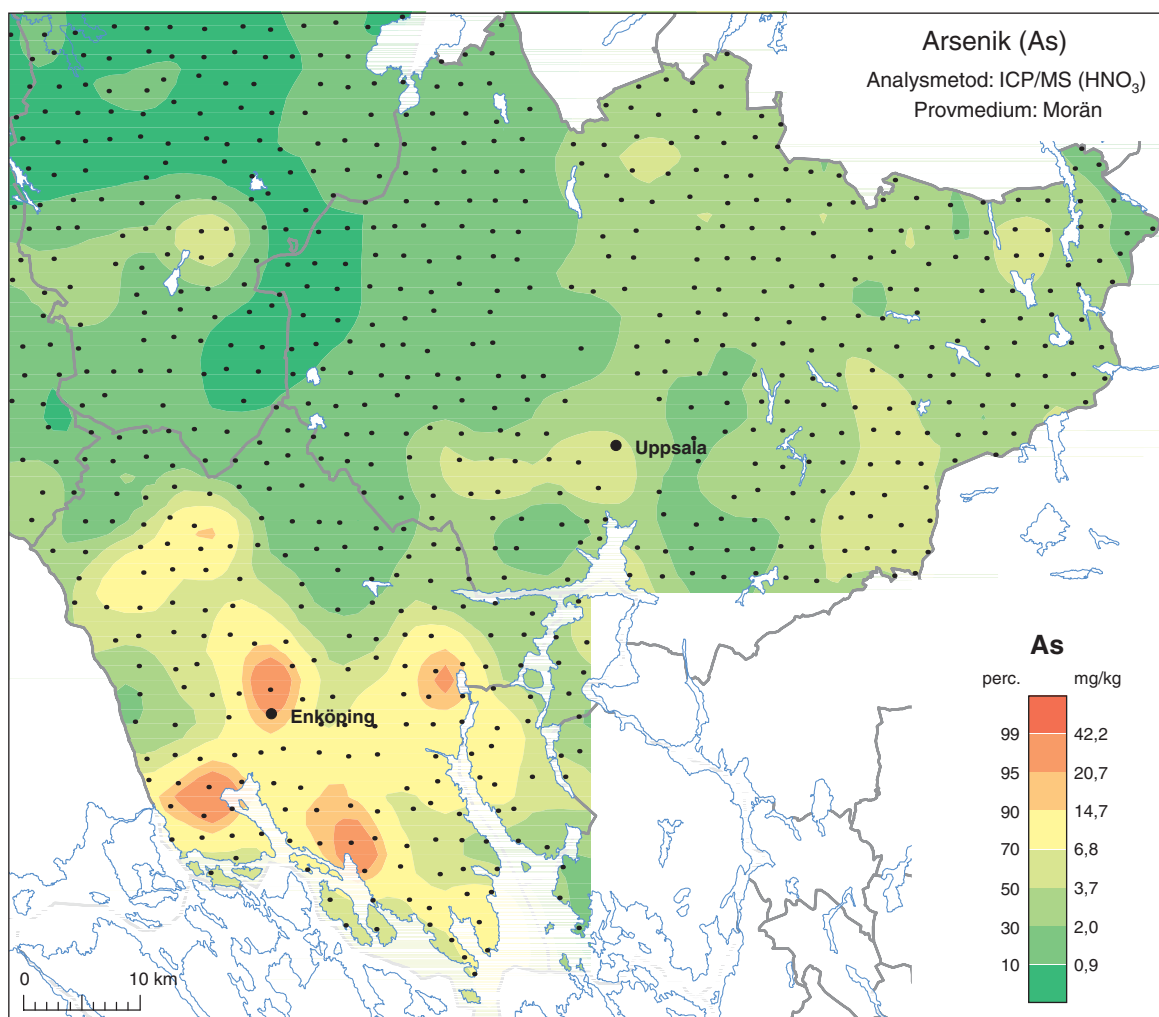


Bland annat i samband med gruvhantering kan antimon spridas i miljön. Antimon kan vara rörligt och många av dess föreningar är mycket giftiga. Antimonexponering kan ge hud- och lungskador.

Halterna i undersökningsområdet är generellt låga, förutom ett område som är väl synligt i kartans nordvästra del. Strax öster om orten Runhällen finns det gamla gruvor, Stormyrgruvan samt Nickebo-gruvan. Den senare, där det brutits järn, mangan, zink, bly och silver, står för den synliga förhöjningen. I mineralförekomsten har såväl oxider som sulfider brutits, och det är troligen i sulfider antimon är bundet. Förhöjda halter av antimon tycks vara knutet allmänt till de sura vulkaniterna i området.

Arsenik (As)

Arsenik är en metalloid (halvmetall) som förekommer naturligt i jord och berg, vanligen med halter på 1–40 mg/kg. Medelhalten i jordskorpan är 1,5–2 mg/kg och i jord 6 mg/kg. Bly-, koppar- och guldmalmer kan innehålla upp till 3 % arsenik. Geokemiska följeslagare till arsenik är antimon och vismut och elementen används som indikatorelement vid guldprospektering. Måttlig förekomst av arsenik finns i sura vulkaniska bergarter och stor förekomst av arsenik finns i sulfidmalmer och svartskifferar. Ett antal mineral innehåller arsenik; viktigast är arsenikkis. I Sverige finns arsenikkis (FeAsS) i vissa malmer och Bolidengruvan var världens största fyndighet av arsenikkis. Vid brytningen av dessa malmer kan en lokal spridning av arsenik ske. Vid vittring är arsenik lösligt, men dess rörlighet ganska begränsad då arsenik binds till leror, metallhydroxider (järn, aluminium och mangan) och organiskt material. De vanligaste förekomstformerna för arsenikjoner är under oxiderande förhållanden som arsenat och



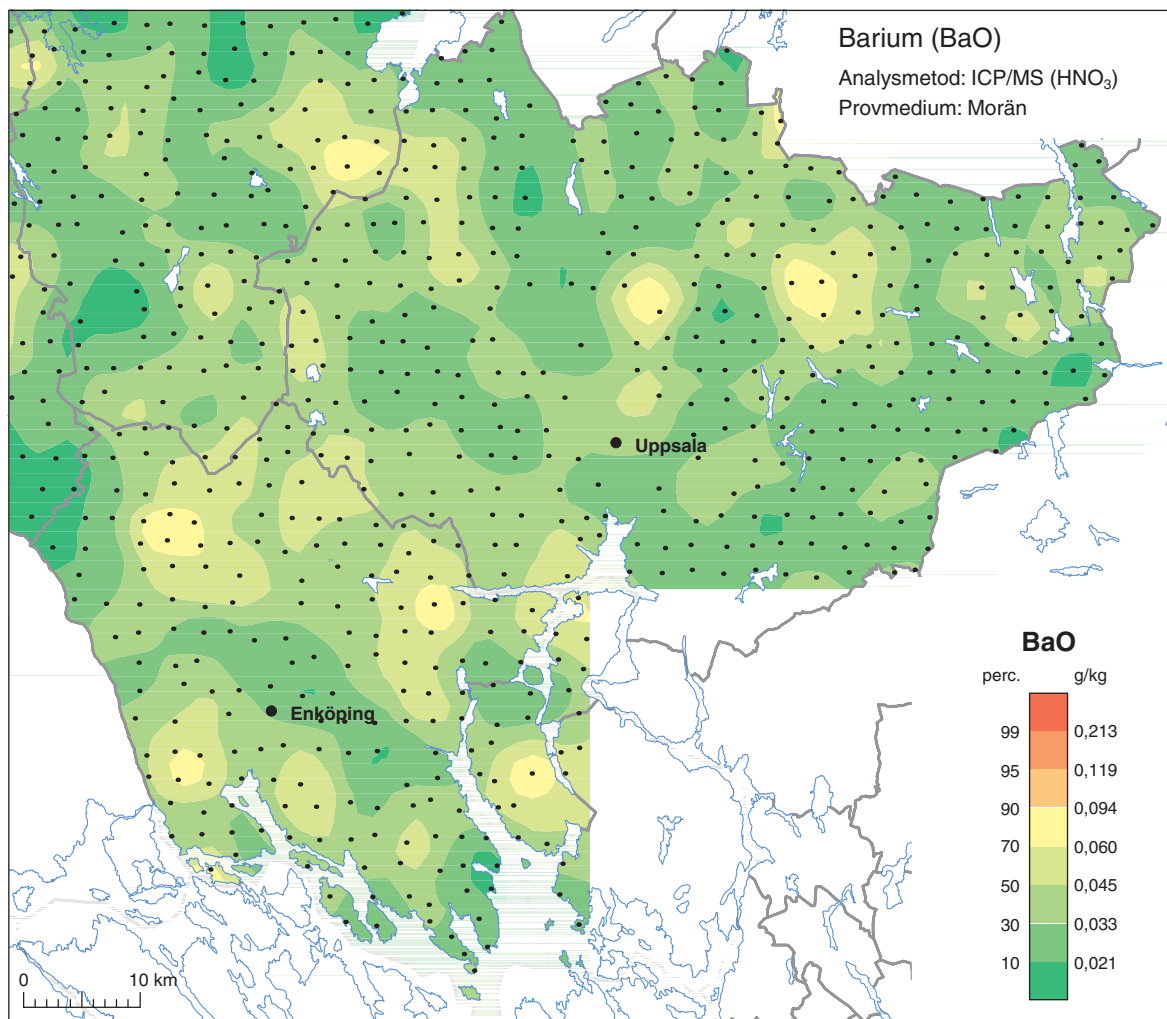
under reducerande förhållanden som arsenit. Arsenikjonerna binds således till markpartiklar och denna adsorption är starkast under oxiderande och sura till nästan neutrala förhållanden. Vid högt pH minskar adsorptionsförmågan och arsenikkoncentrationen i lösning ökar kraftigt. Reducerande förhållanden ger än kraftigare arsenikkoncentration då järnhydroxider löses upp och bundet arsenik frigörs (SGU 2005).

I områden med höga halter kan arseniken lösas ut till grundvattnet. Dricksvattnet kan därför vara en källa till arsenikexponering. Globalt sett använder flera miljoner människor dricksvatten med så hög arsenikhalt, ofta flera hundra mikrogram per liter, att det finns risk för allvarliga hälsoeffekter (Selinus m.fl. 2005). I Sverige finns ett antal regioner där arsenikhalterna i dricksvatten klart överstiger gränsvärdet 10 µg/l. Samtliga arsenikföreningar är giftiga och orsakar miljö- och hälsoproblem för miljontals människor världen över. Allra giftigast är enkla oorganiska föreningar såsom arsenat och arsenit. Arsenat är till förväxling likt det viktiga näringsämnet fosfat och kommer därför in i cellen av misstag genom fosfattransportörer. Arsenik är cancerframkallande och kan efter många års exponering ge tumörer i hud, lunga, urinblåsa och njure. De tidigaste symptomen på kronisk arsenikförgiftning är pigmenteringsförändringar i huden och hyperkeratos, dvs. förtjockning av hudens hornlager framför allt på handflator och fotsulor. Experimentella studier tyder på att barn kan vara känsligare än vuxna. I likhet med andra spårämnen förefaller arsenik också ha en positiv biologisk roll, sannolikt vid proteinsyntesen. Behovet täcks av de låga halter som finns i dricksvattnet. Brist kan ge dålig tillväxt och förhöjd fosterdödlighet. Eftersom arsenik befrämjar tillväxten kan det tillsättas i foder som används för uppfödning av grisar och fjäderfä (Reimann m.fl. 2003).

Jämfört med landet i övrigt är arsenikhalterna i undersökningsområdets moräner förhållandevis låga eller normala i större delen av området. I söder förekommer dock klart förhöjda halter, med stor sannolikhet förorsakade av arsenikförande glimmergnejser. Halterna är så pass höga att det förmodligen finns risk för förhöjda halter i brunnsvatten, framför allt i bergsborrade brunnar.

Barium (BaO)

Bariuminnehållet är generellt högst i finkorniga yngre graniter, något lägre i gnejsgranit och lägst i basiska bergarter. Geokemiskt associeras barium med kalium och rubidium. Barium förekommer främst i fältspater och glimrar, men kan även bilda baryt (BaSO_4), ett mineral som ofta förekommer i samband med sulfidmineraliseringar med bly och zink, eller i gångar och håligheter i sedimentära bergarter. Metallen kan ersätta kalium i bergartsbildande mineral, men också kalcium i t.ex. plagioklaser. Barium kan också ersättas, t.ex. av strontium. Elementet är inte särskilt mobilt och vid vittring adsorberas barium effektivt till Fe- och Mn-hydroxider och oxider, fälls ut som sulfat eller karbonat eller binds till lermineral. Såväl totalhalten som den lakbara halten är strax under rikets median i kartområdet. Områdets moräner uppvisar högst värde i närhet till metagråvackor och intermediära granitoider.

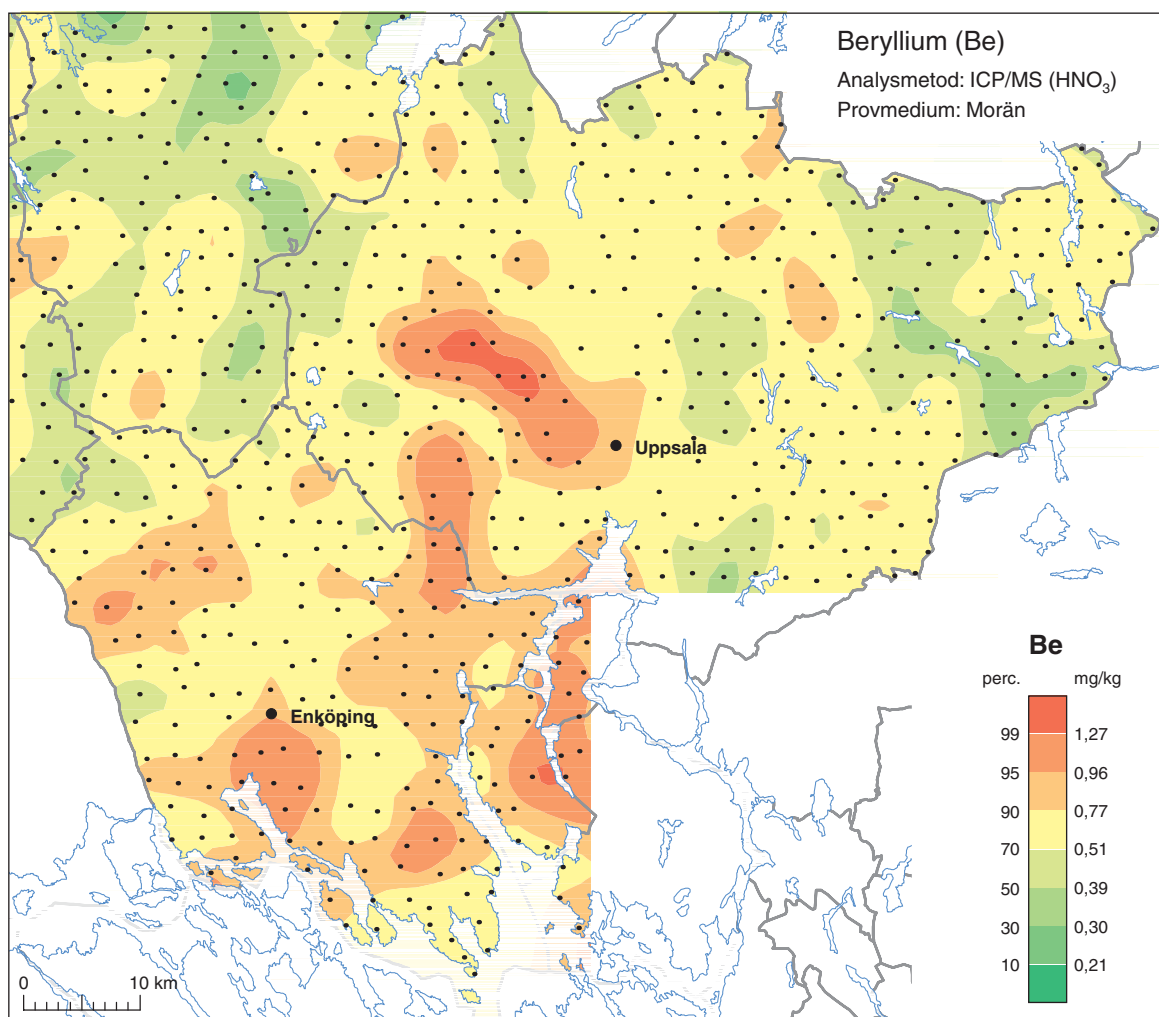


Beryllium (Be)

Beryllium är ett sällsynt grundämne. Det förekommer i ca 45 olika mineral av vilka endast beryll, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, och bertrandit, $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, är av betydelse för framställning av metallen och dess föreningar. Beryllium finns bland annat i graniter, granodioriter och skiffrar. Berylliums förmåga att bindas till organiska föreningar gör att kol också innehåller metallen. Beryllium kan vara associerat med litium och rubidium i pegmatiter och uppträda tillsammans med koppar, bly, zink, molybden, wolfram m.fl. i skarnbildningar. Beryllium ingår också i mineral som pyroxener, glimrar, plagioklaser och lermineral. Mineralen beryll kan påträffas i pegmatiter och svenska fyndigheter finns bland annat i Västmanland. Mer exotiska berylliummineral är bl.a. smaragd och akvamarin. Vid vittring är beryllium inte särskilt rörligt; väl löst binds beryllium åter lätt till organiskt material samt till lermineral där det kan ersätta bland annat aluminium.

Beryllium och dess föreningar är mycket giftiga, troligen p.g.a. att metallen kan tränga ut magnesium ur vissa enzymer. Särskilt inandning av damm från metallen, dess legeringar eller berylliumoxid kan ge upphov till kronisk berylliumförgiftning med astmaliknande symtom och reduktion av lungkapaciteten. Det finns också statistiskt belagda samband mellan höga och långvariga exponeringar och lungcancer. Därför klassas beryllium och dess föreningar som cancerogena. En del växter, exempelvis tobak, har förmåga att ackumulera metallen.

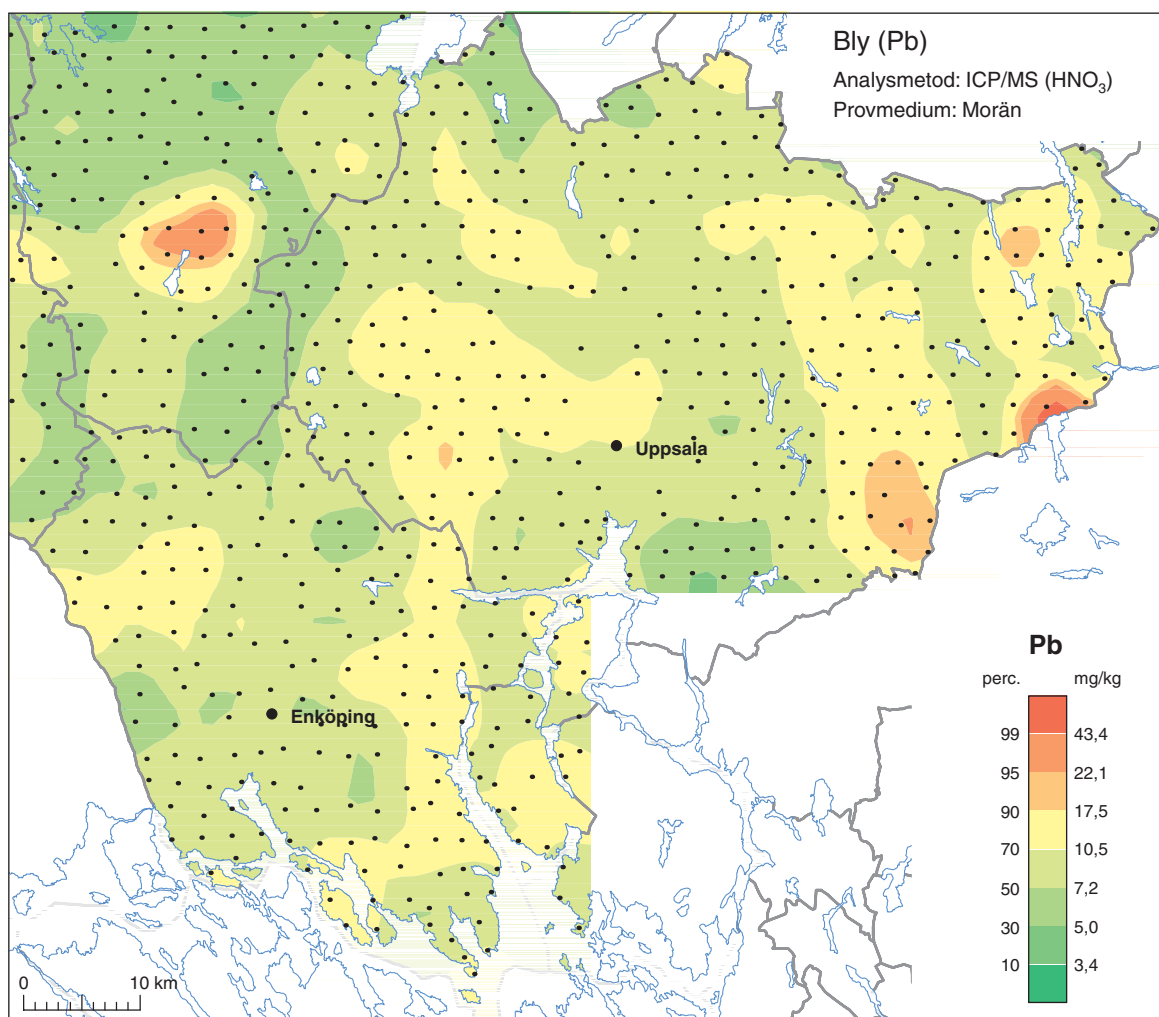
Medianhalten för beryllium i området ligger något över i landet i övrigt. Det finns tre platser som visar på en märkbar förhöjning: strax väster om Uppsala, söder om Enköping samt norr om Bålsta. Den troliga orsaken är de graniter och granitoider som förekommer på dessa platser. Inga mineraliseringar kan direkt knytas till de förhöjningar som finns.



Bly (Pb)

I bergarter förekommer bly med de högsta koncentrationerna i sura magmatiska bergarter. Sandstenar kan också ha högt blyinnehåll medan koncentrationen är låg i kalkhaltig berggrund och basiska bergarter. Vanligaste blymineralet är blyglans, PbS , som också är den helt dominerande blymalmen. Blyglans uppträder ofta i karbonatbergarter tillsammans med zink och silver. De geokemiska egenskaperna för bly liknar och kan ersätta kalium, barium, strontium och även kalcium, både i mineral och när det gäller adsorption. Detta innebär att bly gärna ingår i kalifältspater och glimmer och även i lägre grad i plagioklas och apatit. Bly är inte särskilt lätttrörligt i vittringsprocesser, men i löst form binds blyjonerna lätt bland annat till sekundära lermineral, järn- och manganoxider och till organiskt material. Högt blyinnehåll i en del kolavlagringar och i mörka skiffrar återspeglar att bly har hög affinitet till organiskt material.

Bly förekommer i mark och i vatten i form av den tvåvärda jonen Pb^{2+} . Blyinnehållet i markens mineraljord återspeglar som regel innehållet i berggrunden. När det gäller det översta, helt organiska skiktet, måren, är sambandet med berggrundsgeologi i stället mycket svagt. Största delen av blyet i måren härstammar i stället från nedfall av föroreningar och har ansamlats under lång tid. Stark bindning till organiskt material gör att bly stannar kvar i mårskiktet och endast långsamt lakas ut. Rörligheten för bly i mark är en av de lägsta för alla tungmetaller vilket resulterar i att blykoncentrationerna i marklösning i allmänhet är låga. Rörligheten av bly är dock pH-beroende och minskar kraftigt med kalkning och ökat pH. Ackumulering av bly i ytliga marklager har stor ekologisk betydelse, eftersom den påverkar den biologiska aktiviteten i mark. Redan vid låga koncentrationer finns tecken på markbiologiska



effekter med nedsatt biologisk aktivitet i måren till följd av bly, vilket kan orsaka ackumulering av organiskt material, speciellt svårnedbrytbara föreningar som cellulosa. Det finns indikationer att stora delar av Sverige är påverkat i detta avseende (Bringmark m.fl. 2001).

Hälften av det bly som befolkningen tar upp kommer från födan, och resten från luften, medan koncentrationerna i vatten i allmänhet är låga. Normalt orsakar därför inte dricksvatten några problem med blyexponering. Redan vid mycket låga doser ger dock bly skador på nervsystemet. Främst har effekter på hjärnans utveckling hos foster och barn uppmärksamats. Hos djur är symptom på blyförgiftning rörelsestörningar, kramper, förstopning i matstrupen eller tarmen, samt blodbrist. Blyförgiftning har t.ex. konstaterats hos kungsörn och havsörn, som misstänks ha förgiftats via döda hagelskjutna djur.

Den generella blyhalten i området är något högre än i riket som genomsnitt, vilket gäller såväl totalhalter som syralakbara halter. En tydlig förhöjning återfinns i områdets nordvästra del i anknytning till några kända mineraliseringar. Förhöjningen omfattar flera prov och den kan även ses på antimon, kadmium, silver och zink. Mineraliseringarna är av olika slag, men åtminstone Nickbo eller Nickebogruvan innehåller bl.a. Pb. Söder om Knutby uppträder ett enstaka prov med betydande blyhalt. Analysfel kan uteslutas eftersom halten är förhöjd vid såväl totalhaltsanalys som syralakbar analys. Det är möjligt att halten förorsakas av någon okänd mineralisering, men det bör påpekas att inga andra metaller är speciellt höga i provet.

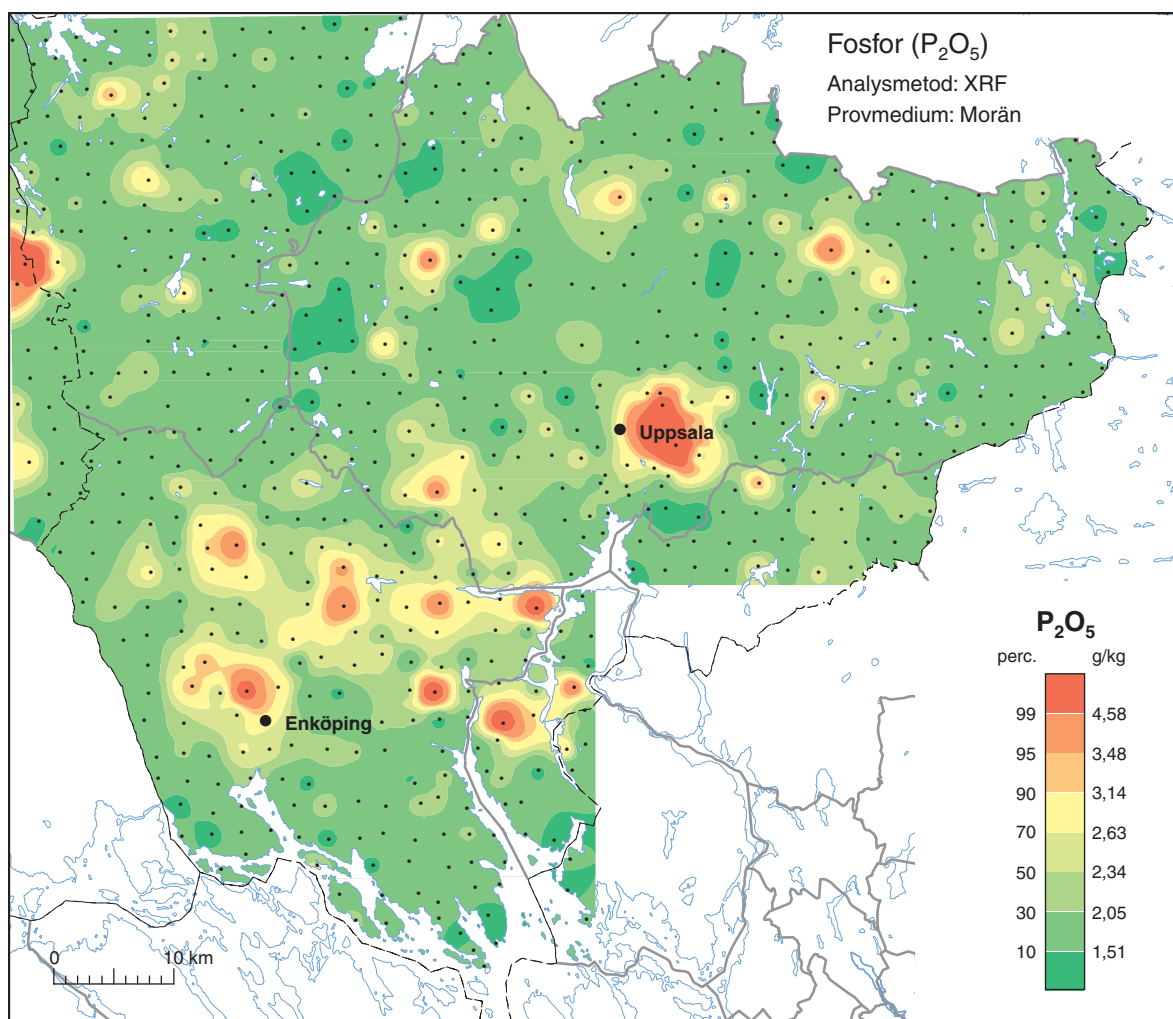
Bly i området korrelerar inte med andra element, däremot korrelerar totalhalter med syralakbara halter starkt.

Fosfor (P_2O_5)

Fosfor är det elfte vanligaste grundämnet i jordskorpan, medräknat syre som är vanligast. Mineralen apatit är vanligtvis den dominerande källan till fosfor, men elementet kan också ingå i glimrar, pyroxener, olivin, fältspater, granater m.fl. Kalciumfosfatet apatit är ett vanligt bergartsbildande mineral och därför förekommer fosfor i ett flertal bergarter. De högsta fosforhaltarna återfinns vanligtvis bland de basiska bergarterna. I graniter och pegmatiter kan andra fosforhaltiga mineral uppträda, exempelvis monazit, till vilka ofta också yttrium och sällsynta jordartsmetaller är associerade. Fosforit anses ha bildats av djurorganismer och fosforit uppträder som lager och konkretioner hos sedimentbergarter av olika åldrar. Lösligheten för fosfor varierar beroende på mineraltillhörighet. I apatit är fosfor lättlösligt, men svårlöst i bl.a. monazit. Mobiliteten är högst under måttligt sura förhållanden. Fosfor bildar svårlösliga föreningar med kalcium vid höga pH-värden och med järn och aluminium vid låga pH-värden.

Brytning av fosfatmineral görs huvudsakligen för direkt framställning av fosforsyra och fosfater för främst jordbrukets behov av konstgödsel. Fosfor har stor betydelse för ämnesomsättningen hos både djur och växter. Det är en väsentlig beståndsdel i levande vävnader och finns framför allt i skelettets ben som kalciumfosfat. Fosfor är således en nödvändig beståndsdel i födan. Fosforbrist kan leda till skör skelettvävnad och ge rakitis (engelska sjukan) hos växande djur, mer sällan hos människor eftersom fosfor finns i så gott som alla livsmedel.

Fosforinnehållet i områdets moräner är lägre än i landet i övrigt. Förhöjda områden finns dock strax öster om Uppsala samt i områdets västra del. Även mellan Bålsta och Enköping finns punktvisa förhöjningar. Fosfor saknar starka korrelationer med andra element i området och något entydigt samband till bergarterna i området kan inte ses. Fosfor är för övrigt det element som korrelerar bäst vid jämförelse mellan totalhalt och syralakbar halt, och nivåerna är så gott som identiska. Det antas att fosfor i moränerna är knutet nästan uteslutande till apatit.

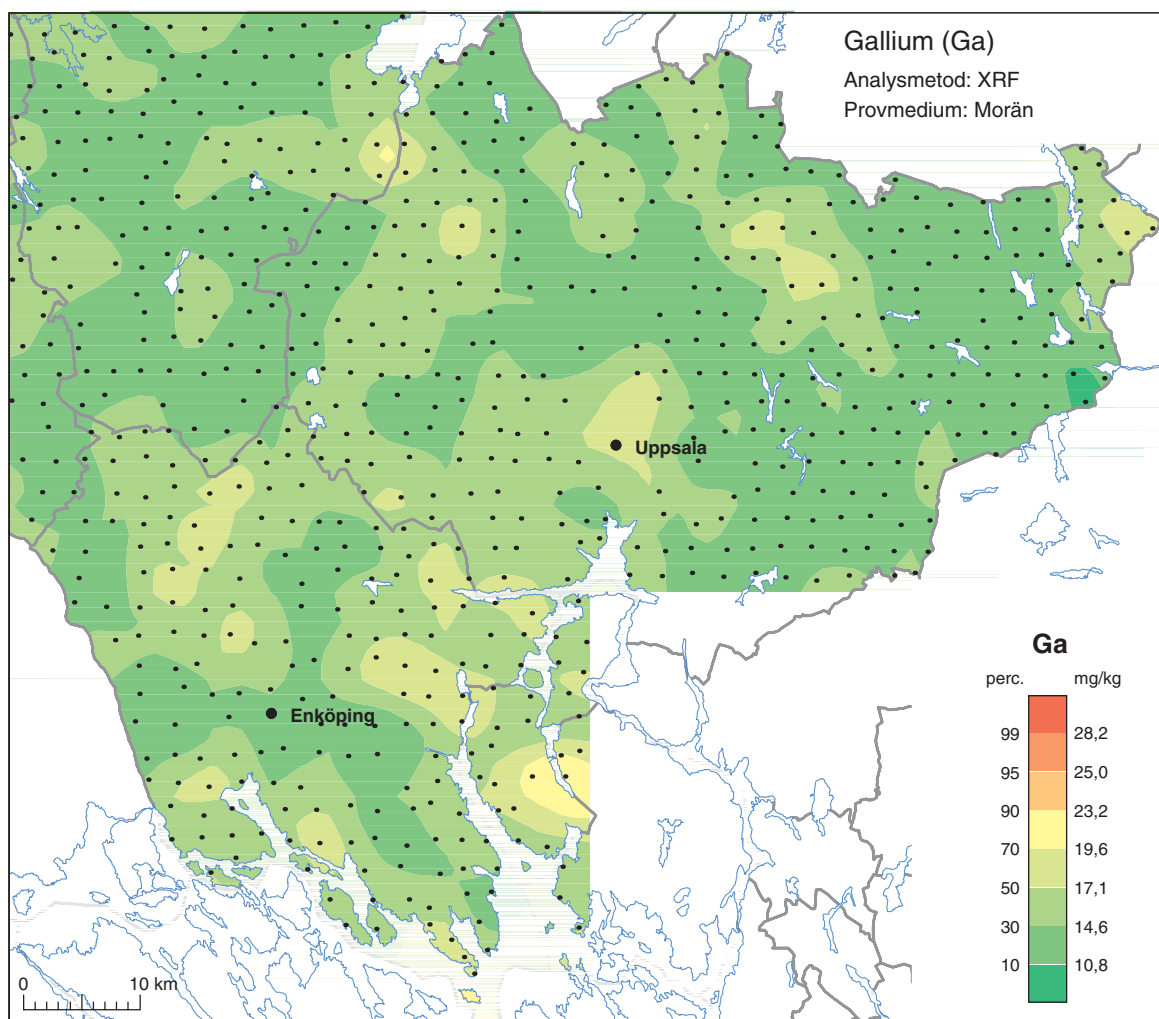


Gallium (Ga)

Gallium är spritt i hela jordskorpan och är därmed ungefär lika vanligt som bly. Metallen förekommer ofta som spårelement i t.ex. bauxit och stenkol. Gallium finns i ett flertal bergarter, både magmatiska och sedimentära, och kan ingå i mineral som fältspater och amfiboler. Ultramafiska bergarter och kalkstenar har mycket lågt innehåll. Gallium förekommer mest tillsammans med de kemiskt besläktade metallerna aluminium och zink men finns även i låga halter (0,01–0,08 viktprocent) i fosfatmineral och stenkol. Gallium erhålls som biprodukt i samband med utvinning av zinkmalmer (exempelvis vid Zinkgruvan), aluminium och koppar. Rena galliummineral, t.ex. gallit, $CuGaS_2$, är sällsynta och saknar praktisk betydelse. Vid vittring beter sig gallium som aluminium och kan bindas till lermineral och Fe- och Mg-silikater.

Gallium är inte särskilt rörligt, så vitt man vet har den ingen biologisk roll och inte heller finns rapporter om någon miljöpåverkan av själva metallen. Exponering för trevärt gallium kan ge andnings-svårigheter och bröstsmärtor.

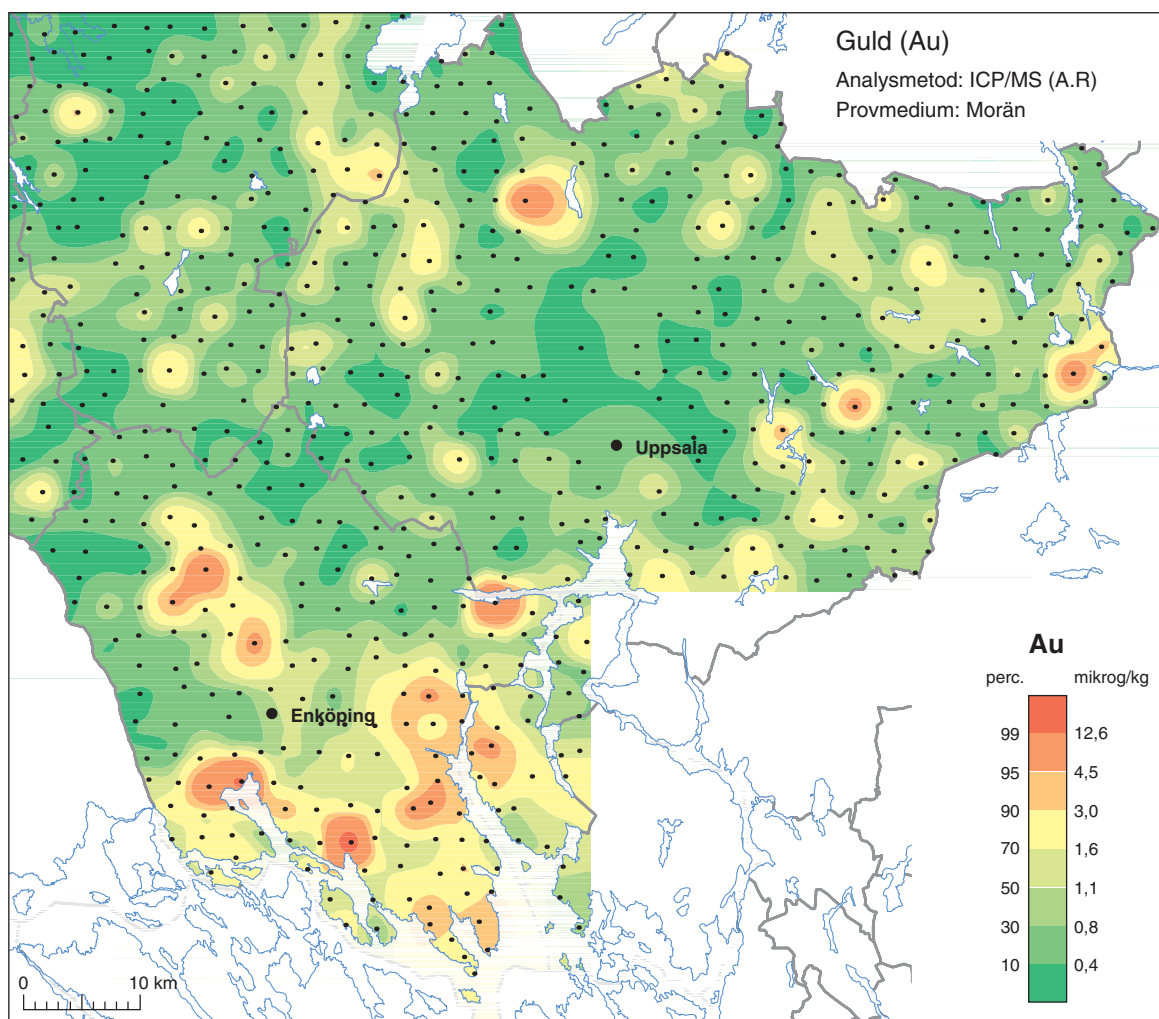
Analys av totalhalter av gallium har nyligen införts i de geokemiska databaserna och moränens innehåll av metallen kan endast jämföras med resultat från östra Mälardalen (Andersson m.fl. 2007). Medianvärdet i undersökningsområdet är något lägre än för östra Mälardalen samt Stockholmsområdet. En viss likhet med kartbilden för aluminium finns och korrelation finns bland annat med totalhalter av aluminium, barium, kalium, järn, magnesium, kobolt, litium och rubidium, dvs. ler- och glimmergruppen.



Guld (Au)

Guld är en ädelmetall som är en av de mest sällsynta i naturen. I jordskorpan finns i genomsnitt endast ca 0,004 g guld per ton. Metallen är emellertid mycket ojämnt fördelad, huvudsakligen beroende på de anrikningsprocesser som ägt rum på jordytan eller i jordskorpan. Geologiska processer har anrikat guld till halter och mängder som kan brytas och utvinna, ibland i form av rena guldmalmer, men lika ofta som biprodukt vid utvinning av andra metaller (t.ex. Cu, Zn, Ni, Pt och Pd). Ingen speciell bergart är känd för att innehålla guld, men i kontaktzoner, i hydrotermala gångar ofta tillsammans med kvarts eller där berggrunden är störd av deformation kan miljön vara gynnsam för guldmineralisering. Kemiskt är guld en ädelmetall och den reagerar inte nämnvärt med vatten, luft, syre, ozon, kväve, väte, fluor, jod, svavel och svavelväte vid vanliga förhållanden. Mineralsyror och organiska syror har ingen effekt på metallen, varken i utspädd eller koncentrerad form eller vid höga temperaturer. Kungsvatten (saltsyra och salpetersyra = 3:1) är det klassiska lösningsmedlet. Alkalimetallcyanider i närvaro av syre eller andra oxidationsmedel, vilket är grunden för cyanidlakning, löser också metallen. Guld reagerar även med torr klorgas. Kolloidalt guld i vatten ger lösningar med intensivt röda, blå eller violetta färger.

Tidigare var guld svårt att analysera på grund av de ytterst låga halterna i marken. Idag finns snabba och säkra metoder för de låga guldhalterna. Problem ligger i stället i provtagningen, eftersom guld, till skillnad från många andra element, inte ligger jämnt utspritt i moränen utan ofta uppträder med s.k.



nuggetteffekt – som små korn. Detta gör det vanskligt att bedöma ett område som är punktvis förhöjt på guld. Vid vittring är metallen ganska stabil, men kan under vissa förutsättningar bilda olika föreningar som har högre rörlighet. I löslig form tas guld lätt upp av växter, en del är kända för att ackumulera metallen. Associerat med organiskt innehåll är transporterat guld ofta anrikat i en markprofils övre delar. Guldhalterna i mark är därför vanligtvis högre i humus än i djupare marklager i en jordprofil.

Medianhalten är mindre än 1 µg/kg och därmed lägre än riket i övrigt. Några fläckvisa förhöjningar finns dock i undersökningsområdet. De två högsta är 21,4 µg/kg vid Lillkyrka respektive 17,6 µg/kg vid Haga, söder om Enköping. Det finns inga kända mineraliseringar i anslutning till dessa värden. Det tredje högsta värdet, 16,5 µg/kg, finns öster om Örsundsbro och även detta är utan koppling till känd mineralisering. Generellt så uppvisar undersökningsområdet en viss förhöjning i den södra delen samt enstaka punktvisa förhöjningar i den norra delen.

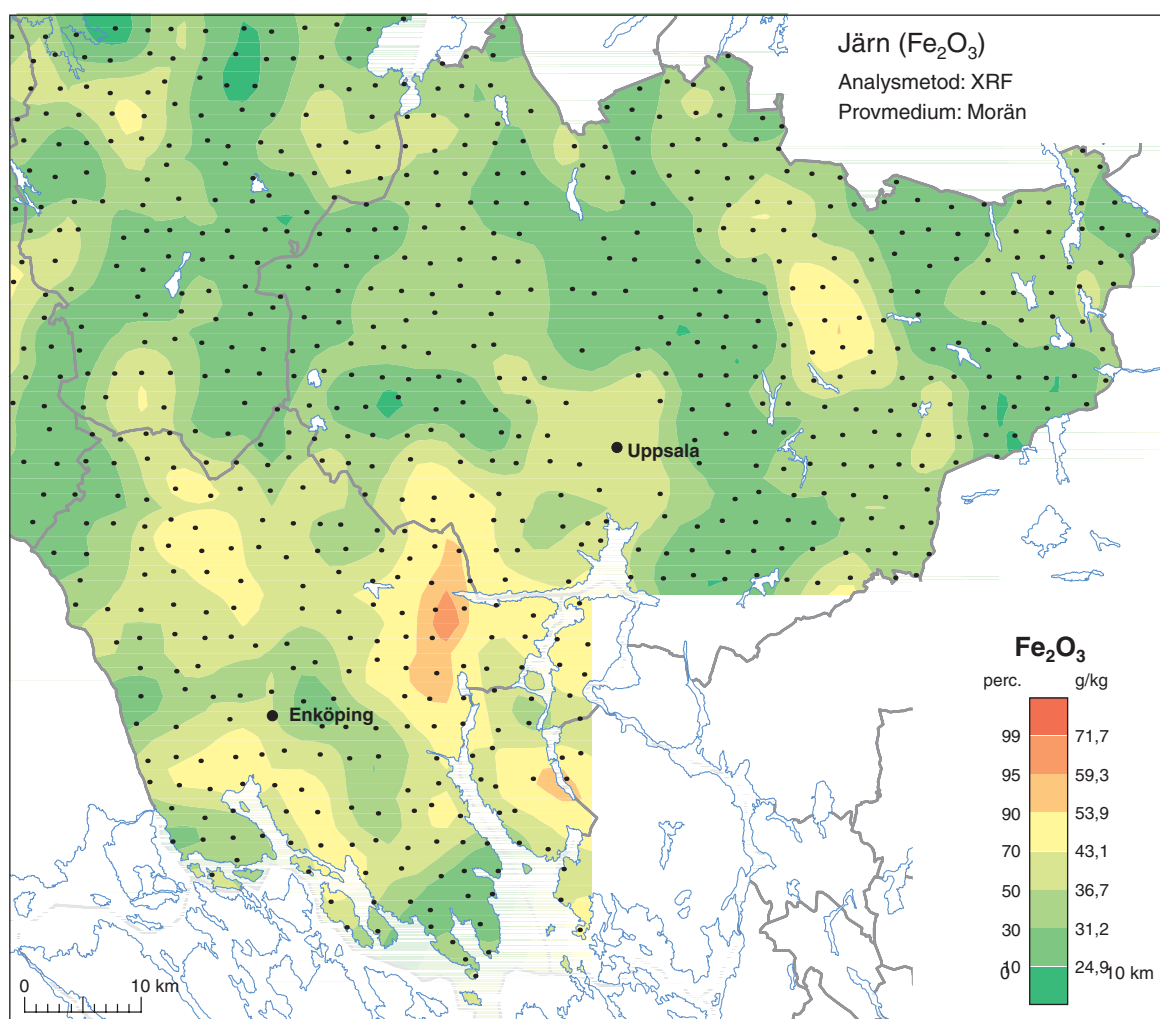
Sydöst om Knutby finns en äldre järnmalmgruva, Sottergruvorna. I anslutning till denna finns en svag förhöjning som är det enda exemplet på förhöjd guldhalt i närheten av en mineralisering inom undersökningsområdet.

Järn (Fe_2O_3)

I vår berggrund och våra jordarter uppträder järn i de mörka bergartsbildande mineralen som silikat, t.ex. i amfiboler, pyroxener, biotit, olivin, epidot, cordierit, granat och klorit. Järn ingår även i sulfid-mineral, t.ex. arsenikkis, kopparkis och pyrit (svavelkis) och i oxider som t.ex. järnmalmsmineralen magnetit, hematit och limonit. De högsta koncentrationerna i bergarter återfinns i ultramafiska och basiska bergarter samt skiffrar, medan järninnehållet är lågt i kalkstenar, sandstenar och graniter.

I markprocesser och vid vittring bildas olika komplexa järnföreningar där metallen sitter mer eller mindre löst bundet och vid sådana järnoxider och järnhydroxider kan adsorption ske av ett flertal andra lösta metaller. När olika järnföreningar vittrar i en markprofils sura, översta lager (blekjorden), förs metallen med nedåttransporterande markvatten och fastläggs åter vid ökande pH och Eh i underliggande markhorisont (rostjorden). Tillgängligheten av järn styrs av pH- och Eh-förhållanden, och under sura och reducerande förhållanden har markvattnet högt innehåll av lösta Fe^{2+} -joner. Även element som adsorberats till järnföreningar mobiliseras, exempelvis arsenik, barium, kobolt, krom, koppar, nickel och zink. Järn är med andra ord en mycket viktig metall eftersom den styr geokemin för flera andra element.

Järn är essentiellt för alla organismer. Det sörjer för ett stabilt blodvärde och är nödvändigt för funktionerna hos kroppens organ. Det är giftigt för människor i dricksvatten med mer än 200 mg/l. Överskott av järn lagras i lever och mjälte, men kan ge förgiftningsskador. Det är vanligt med järnbrist på många ställen, men sällsynt i Sverige vid normalt födointag.



Totalhaltens medianvärde är något lägre i undersökningsområdet jämfört med riket medan den syralakbara medianhalten för området är något högre. Järn inom området korrelerar väl med aluminium, kobolt, krom, koppar, magnesium, mangan, titan, zink m.fl. De förhöjningar som finns i området kopplas till morän med inslag av metagråvackor.

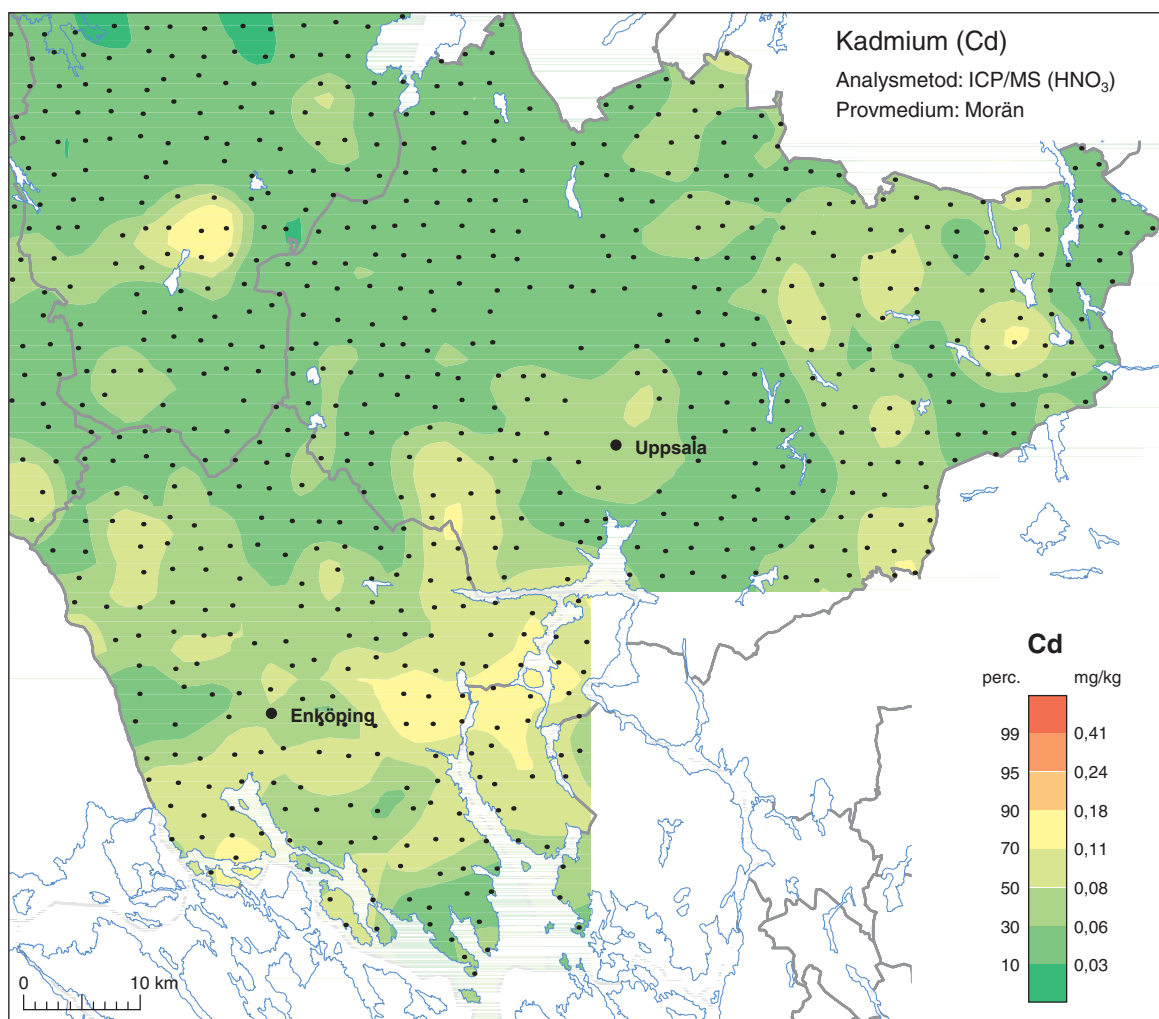
I ett europeiskt perspektiv har Sverige ganska lågt innehåll av järn i morän (Salminen m.fl. 2005), beroende på sura magmatiska bergarter och relativt sett unga och ovittrade jordar, där järn binds i de övre delarna i en podsolprofil. Däremot har åkermark i Mälardalen höga halter, som precis som aluminium relateras till högt innehåll av järnföreningar i lerorna (Reimann m.fl. 2003). Medelstora vattendrag har, förutom vid fjällranden, högt innehåll av järn. Orsaken är, som nämnts ovan, sura och reducerande förhållanden.

Kadmium (Cd)

Kadmium förekommer vanligen med de högsta halterna i skiffrar och basiska bergarter. Kalkstenar kan också innehålla metallen medan sandstenar har låga eller mycket låga halter. Metallen återfinns i bergartsbildande mineral som amfiboler och biotit men finns också i sulfider och kan ingå i zinkblände och andra zinkmineral. Kadmium uppträder också, tillsammans med zinkblände, i blyglansimpregnationer i vissa sandstenar. Eftersom kadmium geokemiskt är associerat med zink följer elementen vanligtvis varandra i den geokemiska cykeln. Vid vittring mobiliseras kadmium snabbt, är mycket rörligt i sur miljö och kommer snabbt ut i vattensystemen. Metallen kan dock adsorberas till bland annat lermineral och järnföreningar.

Kadmium är giftigt och kan ge skador på njure och skelett och antas också vara ett carcinogent ämne. Grönsaks- och spannmålsprodukter har en viktig roll när det gäller vårt intag av kadmium. Metallen utgör en riskfaktor i odlingen på grund av att förhöjda halter i marken kan medföra att kadmiumhalten i växterna och födan också ökar. Olika undersökningar har visat att de geologiska faktorerna dominerar regional fördelning av tungmetaller i den svenska åkermarken (Eriksson m.fl. 1997). I Skåne är den dominerande källan för kadmium i alv och matjord kadmiumförande mineral i berggrund och mineraljord (Kornfält m.fl. 1996).

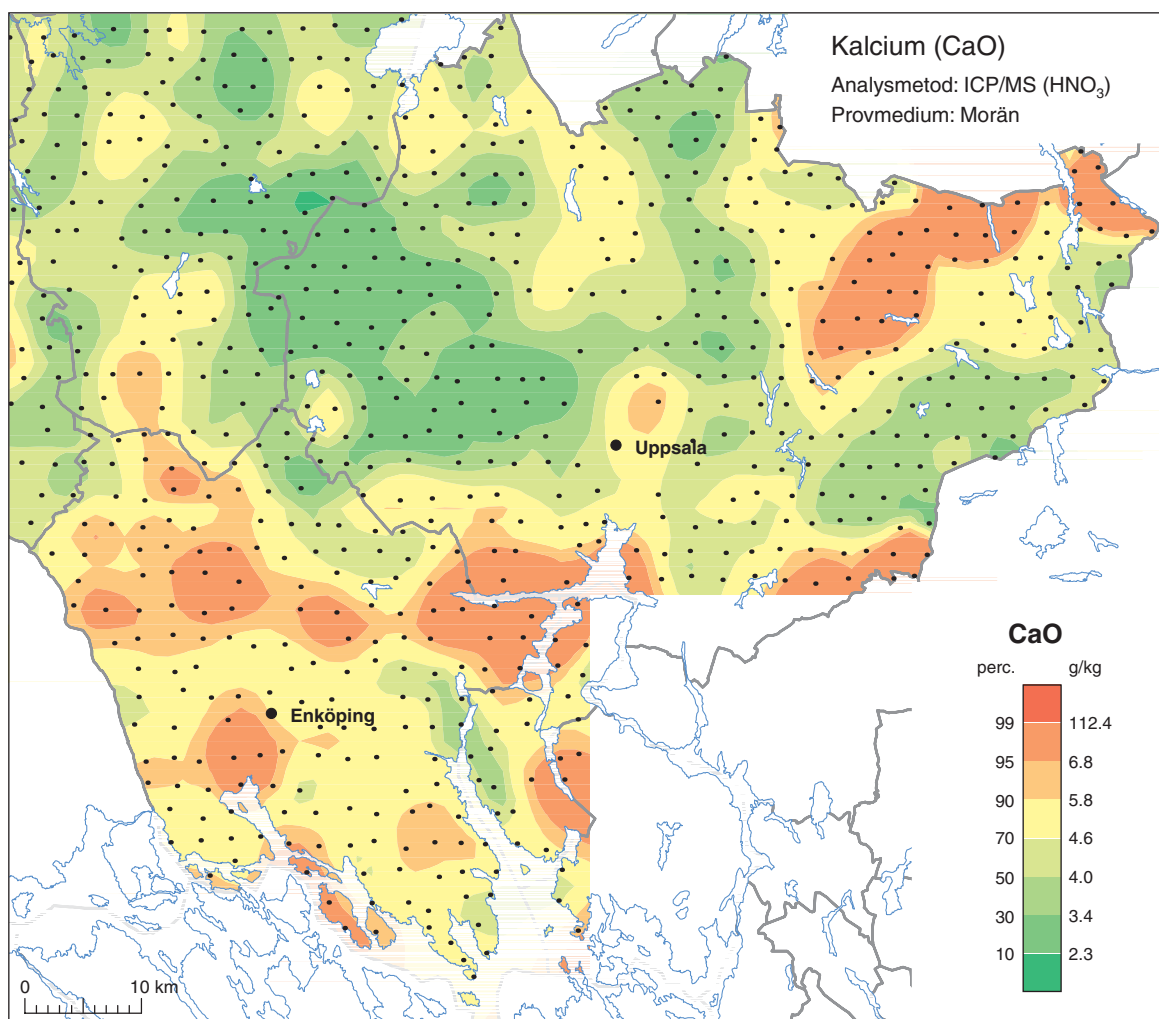
Halten kadmium i undersökningsområdets moräner uppvisar i stor sett samma haltnivå som övriga riket med avseende på medianvärdet. Den förhöjning som återfinns i kartområdets nordvästra del kan knytas till Nickebogruvan. Man kan även se en förhöjning i samma område på kartorna för Sb, Ag, Pb samt MnO. Utöver samstämmighet i kartbilden så korrelerar kadmium även med Li och Fe₂O₃.



Kalcium (CaO)

I vår berggrund och våra jordarter uppträder kalcium i huvudsak som föreningar med kisel (silikater). Huvudelementet kalcium ingår i ett flertal bergartsbildande mineral, exempelvis karbonater, amfiboler, pyroxener, apatit och kalciumrika varianter av fältspat. Generellt kan sägas att basiska bergarter eller grönstenar oftast uppvisar förhöjda kalciumhalter i jämförelse med gnejser och graniter. De vanligaste exemplen på grönstenar är gabbro, hyperit, diorit, diabas, basalt och amfibolit. I urberget förekommer sporadiskt förhöjda halter av kalcium i kristallina kalkstenar eller dolomitstenar (marmor). Kalciuminnehållet i kalkstenar är naturligtvis mycket högt. Mer än 50 % av bergarten byggs upp av mineralet kalcit. För medelvärdesbestämning av kalcium i svenska skogsjordar kan möjligen två populationer särskiljas. Den ena populationen emanerar sannolikt ur gnejs- och granitdominerade jordarter. Den andra, med tre gånger så höga halter, förmodas vara påverkade av sedimentära kalkstenar. Vid vittring är kalcium mycket löslöst ur karbonater och i kalkstensområden har markprocesser bidragit till att de lösliga kalcitmineralen lakats ur de övre delarna i en markhorisont. Lösligheten i andra mineral varierar, men är betydligt lägre än i karbonater. Kalcium i lösning kan åter bindas i olika lermineral, exempelvis i illit och klorit. Kalkstenar uppträder huvudsakligen i nära anslutning till områden där kambrosilurisk sedimentär berggrund bevarats från erosion. Sådana kalkstensområden finns inte bara på Öland, Gotland och i Jämtland utan också på havsbotten mellan Sverige och Finland.

Kalcium är ett livsnödvändigt ämne för växter, djur och människor. Kalciumfosfat ingår i benstomme och tänder. Kalciumjonen är viktig för hormonella aktiviteter och väsentlig vid celledelning.



Totalhalt samt syralakbar halt för kalcium är lägre i undersökningsområdet med avseende på medianvärdet jämfört med landet i övrigt. I den nordöstra spetsen av undersökningsområdet finns det dock två höga kalciumvärden. Totalhalten är 99,5 g/kg och den syralakbara halten är 68,1 g/kg vilket ger en lakbarhet på ca 68 %, pH ligger på 8,7. Detta indikerar att det finns lösliga karbonater i moränen. Drygt 10 km västerut finns en annan kalciumanomali där totalhalten är 99,2 g/kg med en syralakad halt på 64,2 g/kg, vilken ger en lakbarhet på ca 65 %. pH är bara något lägre här, 8,2, men ändå så pass högt att det även här pekar på förekomst av lösliga karbonater i moränen. Båda proven ligger nära gränsen för provområdet, ca 12–13 km norr om Knutby.

Ursprunget till dessa två enskilt höga värden kan finnas i basiska bergarter som ligger norr om undersökningsområdet, men även i de kalkstenar som utgör den gamla havsbotten i Bottenhavet och som sannolikt transporterats av inlandsisen och avsatts som morän. Kalcium korrelerar väl med strontium.

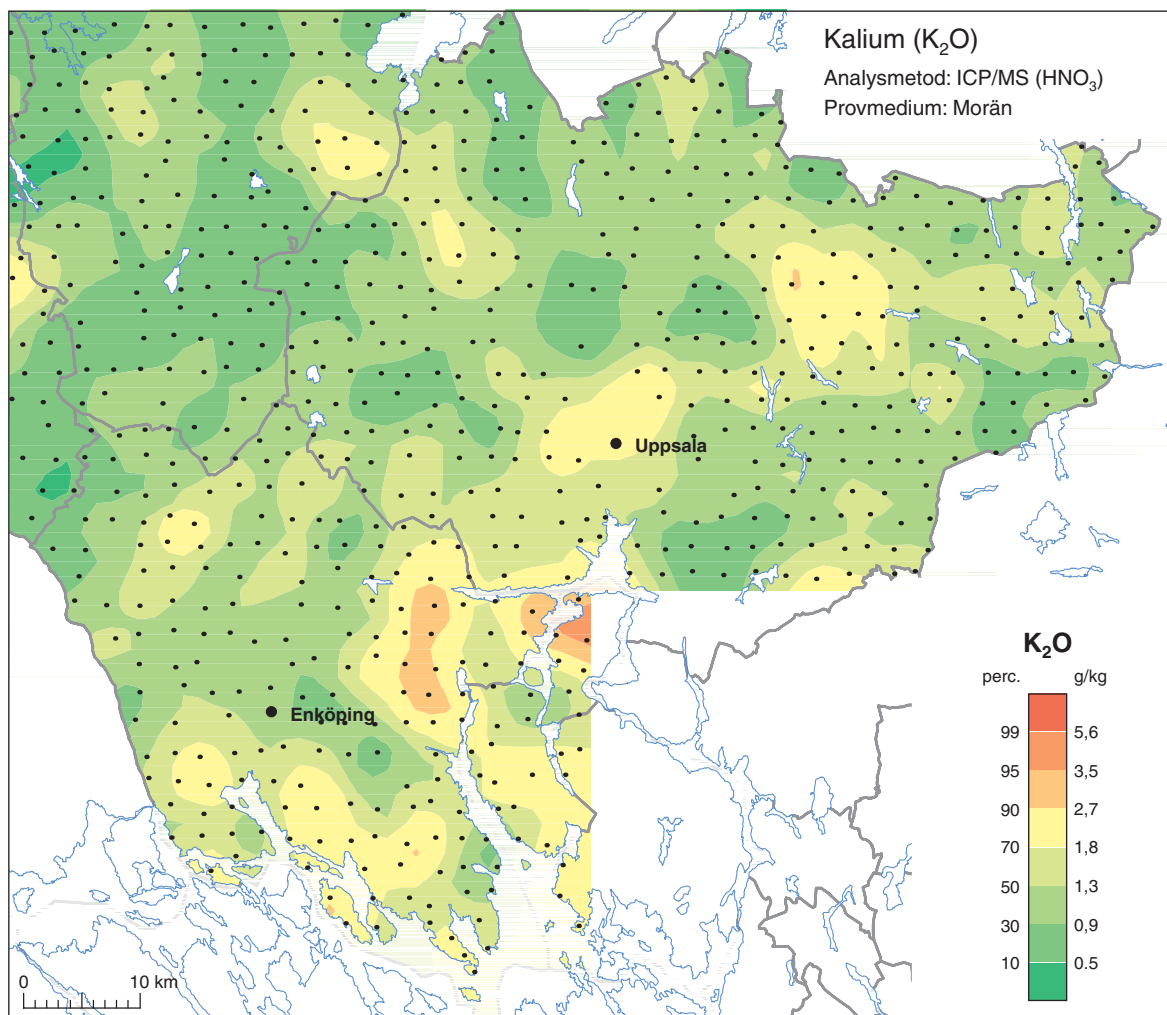
I ett europeiskt perspektiv har Sveriges jordar tämligen lågt innehåll av kalcium, beroende på vår dominerande sura magmatiska berggrund (Salminen m.fl. 2005), och de medelstora vattendragen har mycket lågt kalciuminnehåll.

Kalium (K_2O)

Kalium är en huvudbeståndsdel i ett flertal bergarter, framför allt i kiselrika varianter som graniter och pegmatiter. Även en del gnejser har ofta höga kaliumhalter. I Sverige uppträder kalium nästan uteslutande i fältspater (mikroclin och ortoklas) och kaliumförande glimrar (muskovit och biotit). Geokemiskt är kalium associerat med rubidium och barium. Särskilt rubidium ersätter ofta kalium i mineralens kristallgitter. Generellt sett är det i svårslösliga mineral som kalium ingår. I biotit är kalium mer lösligt. Vid vittring har kalium en benägenhet att bindas till lermineral.

Kalium är ett essentiellt ämne för allt levande. För människor är ämnet nödvändigt för alla levande celler i kroppen, för nervsystem och muskelfunktion. Brist på kalium är inte särskilt vanligt, men kan bland annat uppstå vid sjukdomstillstånd med långvariga diarréer, njurproblem och anorexi. Överskott på kalium utsöndras med urinen. Kalium är antagonist till cesium, vilket gör att man kan ge betande djur ett kaliumtillskott för att minska cesiumupptaget efter radioaktivt nedfall.

Medianvärdet för den lakbara halten av kalium i undersökningsområdet är något lägre än i landet i övrigt, medan det för totalhalten är något högre. Förhöjning på inom kartområdet uppträder i sydost och anknyter till ett område med sedimentådergnejs. Kaliumhalten återspeglas här i lättlösliga mineral som finns i sedimentådergnejsen, troligen glimmermineral. Korrelation finns mellan totalhalterna av bl.a kalium, barium, rubidium och aluminium vilket indikerar svårslösliga fältspater som trolig källa för svårslöst kalium. För syralakbara halter uppvisar kalium korrelation med aluminium, nickel, vanadin, järn m.fl.

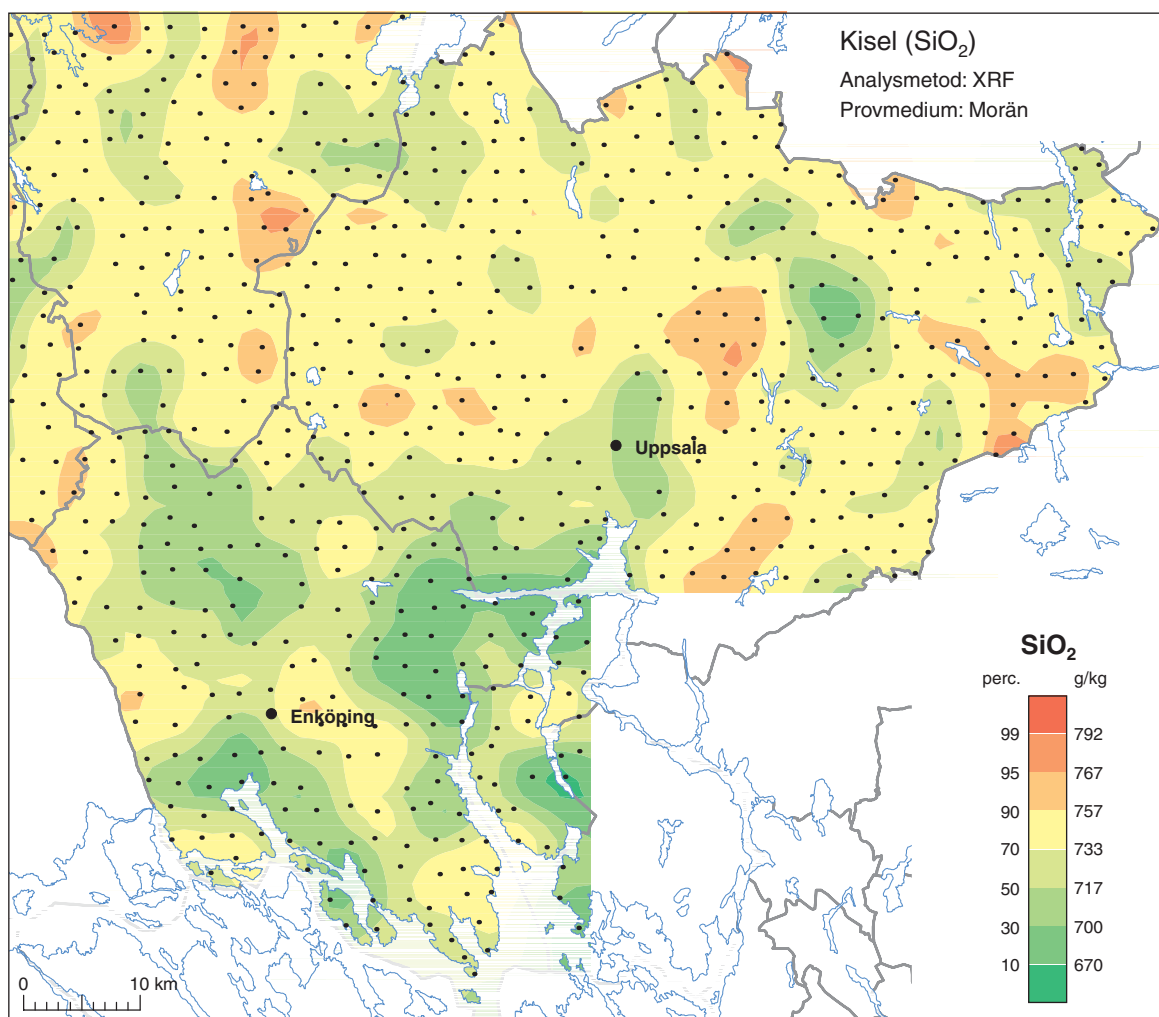


Kisel (SiO_2)

Elementet kisel är en av huvudkomponenterna i bergarter och det grundämne som uppträder med högst halter tillsammans med aluminium i bergartsbildande mineral. Alla silikatmineral är uppbyggda av kisel och det vanligaste, kvarts, är ett mycket svårslut mineral som i princip består vid vittring. Kisel ingår också i hög grad i fältspater, amfiboler, pyroxener, granater, glimrar och lermineral. I bergarter är kiselinnehållet högst i sandstenar, näst högst i graniter och skifferar. Basiska bergarter har betydligt lägre halter och i kalksten är halterna mycket låga. Vid vittring av lösliga mineral är kisel lätttrörligt, särskilt under alkalina förhållanden. Lösligt i vatten tas det lätt upp av växtlighet. I en del växter, exempelvis ris, ackumuleras kisel i högre grad.

Människans behov av kisel är inte tillräckligt utrett, men man vet att behovet finns hos djur och mikroorganismer. Kisel ingår som viktig komponent i brosk, bindvävnad, senor, leder och hud. Djurförsök har visat förändringar i broskmatrisen vid intag av kiselfattig föda. Forskning har också visat att den stress som tävlingshästar utsätts för markant ökar behovet av kisel.

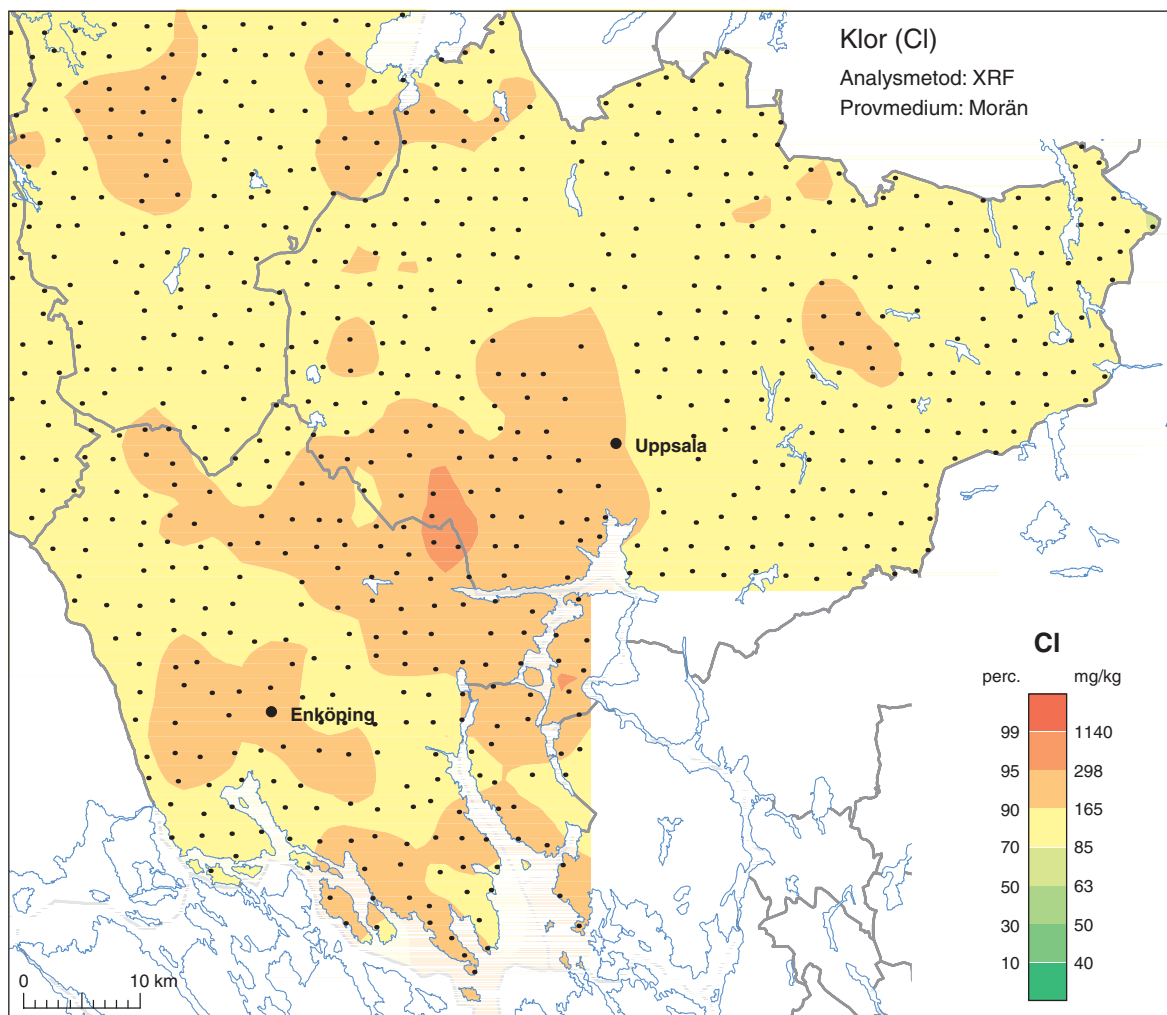
I undersökningsområdet är kiselinnehållet något större än i landet för övrigt. På kartbilden ser man en svag tendens till en gräns som går i öst–västlig riktning vilken till viss del sammanfaller med områden med äldre graniter och intermediära graniter kontra sedimentära bergarter. Kisel saknar stark korrelation med andra ämnen.



Klor (Cl)

Klor är det sjuttonde vanligaste grundämnet i jordskorpan. Dessutom innehåller havsvatten stora mängder klor (i medeltal ca 2 %) i form av lösta klorider. Förekomsterna i jordskorpan har till största delen bildats genom avdunstning av havsvatten och består bl.a. av kloriderna stensalt, NaCl, sylvin, KCl, och carnallit, $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Klor förekommer i såväl sura som basiska bergarter. Graniter, granodioriter och skiffrar har vanligen högre klorhalter än kalkstenar och basiter. Mineral som apatit och silikatet sodalit kan vara bärare av elementet, liksom glimrar och hornblände. I vissa fall kan klor också vara associerat med bly-, silver- och kopparmineral. Klor, som en av huvudbeståndsdelarna i havsvatten, har impregnerat bergarter bildade i havsmiljö, och klorjoner från havsvatten förs alltså in och sprids över land med havsvindar. Lösta klorjoner adsorberas inte till humus eller markpartiklar och bildar inte heller några komplex utan förs i princip med ytavrinning, mark- och grundvatten åter till havet. Klor är ett mycket reaktivt grundämne och finns därför vanligen inte fritt i naturen utan huvudsakligen i jonform som klorid. Klor är tillsammans med svavel och brom några av de få element som naturligt uppvisar drag som inte alltid är knutna till geologin.

Trots sin starka giftighet är klor i reducerad form ett livsnödvärdigt grundämne och finns i växter och djur huvudsakligen som neutrala klorider eller som saltsyra. En människa på 70 kg innehåller ca 100 g klor i dessa former. Kloridjoner har i levande organismer betydelse i huvudsak som laddningsbärare, som "motjoner" till viktiga katjoner. Dessutom är kloridjoner nödvändiga för funktionen av syrgasutvecklingssystemet vid fotosyntesen hos växterna. Somliga växter är känsliga för kloridöverskott, varför det framställs klorfria gödselmedel för sådana växter.



Totalhalten för klor är förhöjd i undersökningsområdet. En förklaring kan vara att klorrika sediment från Östersjön har plockats upp av inlandsisen och blandats in i moränen vid själva isavsmältningen. Klor korrelerar svagt med avseende på totalhalten kobolt, vilket kan ha sitt ursprung i omvandlings-mineral, och även svagt med totalhalt för svavel. Viss korrelation finns även med lakbart aluminium. Ingen synbar korrelation till underliggande berggrund kan konstateras.

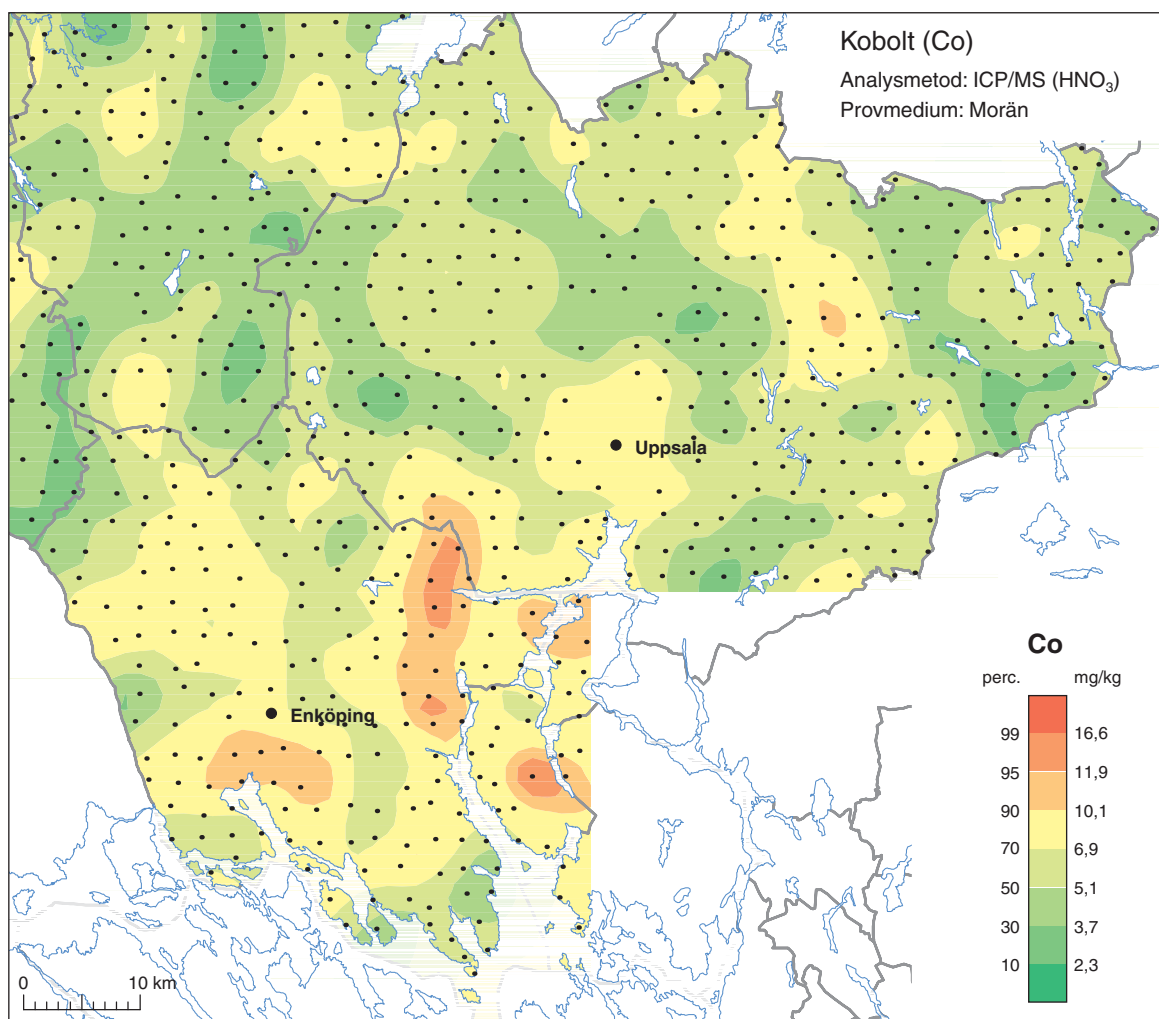
Kobolt (Co)

Kobolt förekommer i basiska bergarter som gabbro, amfibolit och diabas och kan uppträda med mycket höga halter i ultramafiska bergarter. Graniter, pegmatiter, vulkaniter och en del gnejser har lägre innehåll av metallen. Mineralogiskt sett är den mest spridda förekomsten av kobolt mörka järn- och magnesiumsilikater, och metallen associeras därför ofta med järn och magnesium tillsammans med nickel. Kobolt kan även förekomma tillsammans med järn, koppar och nickel i sulfidform. Koboltglans är det viktigaste malmmineralet. Vid vittring är rörligheten för kobolt tämligen låg, men under sura förhållanden är metallen mobil och kan bindas till järn- och manganoxider och till lermineral.

Kobolt finns i varierande halter i jordskorpan och räknas till de essentiella spårmetallerna. För gräsätande djur är kobolt i fri form nödvändigt för vitamin B₁₂-syntesen i tarmfloran. För människan är kobolt essentiellt då det ingår i vitamin B₁₂. Kobolt används vid blodbrist hos gravida kvinnor då det kan öka produktionen av röda blodkroppar. De största källorna till kobolt för människan är genom mat och dricksvatten. Alltför höga doser kan dock vara skadliga och påverka lungor och hjärta.

Koboltinnehållet i undersökningsområdets moräner är något högre än för landet i övrigt. Förhöjningen i området strax söder om Örsundsbro och söderut mot Grillby knyter bl.a. an till metagråvackor och sura till intermediära vulkaniter.

Totalhalten för kobolt korrelerar med zink, vanadin, nickel, järn, krom m.fl. För lakbar halt korrelerar kobolt med zink, vanadin, magnesium, järn, krom m.fl. Det finns även några mineraliseringar som möjligen kan vara en del av förklaringen till något förhöjda halter av kobolt, då dessa ligger uppströms isrörelseriktningen. Mineraliseringarna ifråga ligger söder om Heby och är Gruvmyrgruvan, Gaddebo gruvor och Nilsbogruvan.

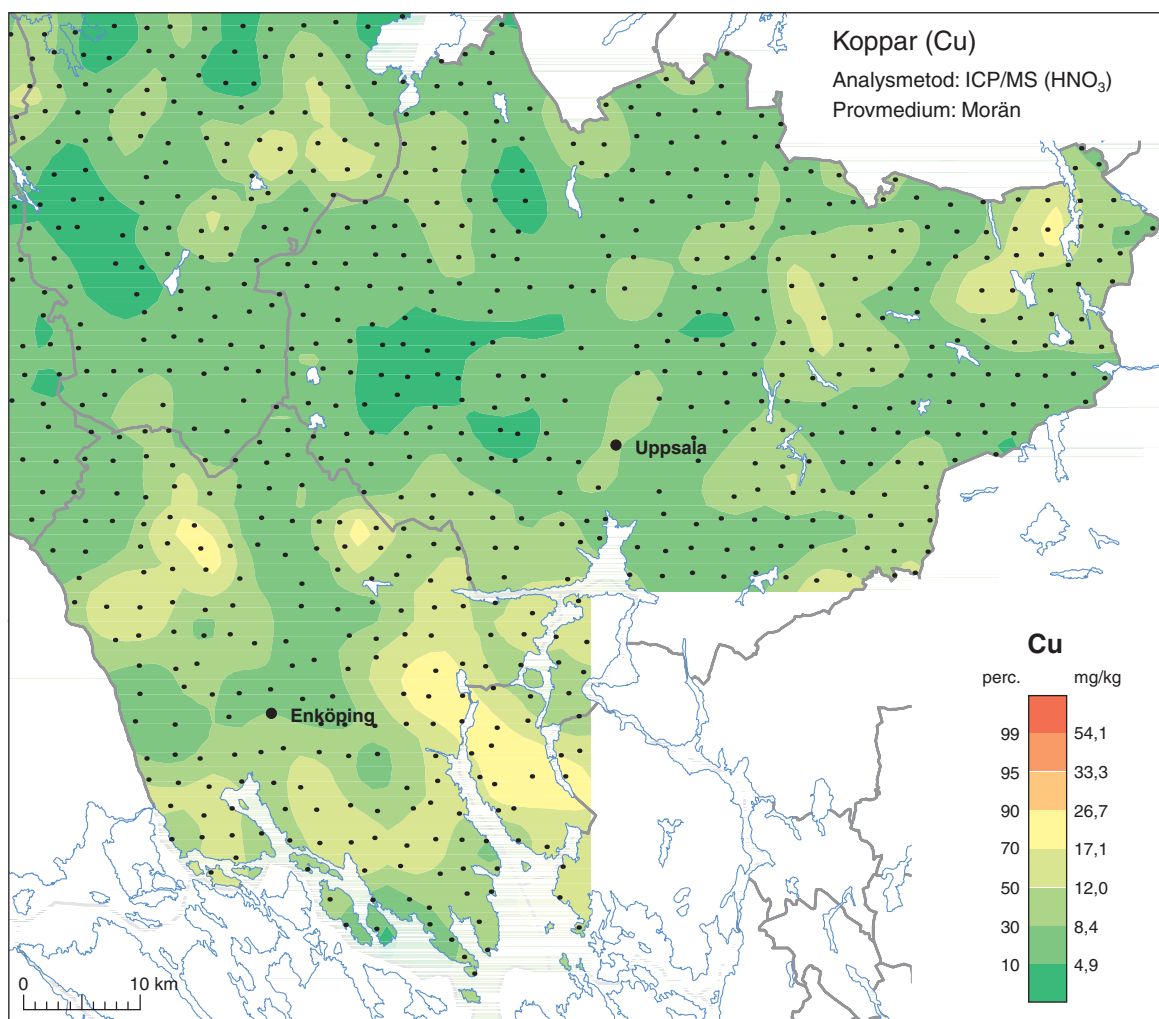


Koppar (Cu)

Koppar förekommer som spårelement främst i basiska bergarter och i lägre grad i skiffrar även om skiffrar med högt organiskt innehåll (alunskiffer) kan ha betydande kopparhalter. Granitiska bergarter och sandstenar har normalt lågt innehåll. Koppar ingår i mineral som pyroxener, amfiboler, magnetit och biotit. Elementet uppträder också i såväl sulfider som karbonater och hydroxider och sällsynt även som elementärt koppar. Gedigen koppar förekommer i klumpar och gångar som skär genom sandsten (sällsynt i Sverige). Den brukar också innehålla små mängder silver, vismut och bly. I förening med svavel förekommer koppar ofta, men vanligen i ganska små mängder. Dessa föreningar utgörs av kopparglans Cu_2S och kovellit CuS . De vanligaste malmmineralen är kopparkis (kalkopyrit) CuFeS_2 och brokig kopparmalm (bornit) Cu_5FeS_4 . Detta innebär att koppar kan ingå i olika typer av mineraliseringar, exempelvis tillsammans med guld, silver, kobolt, nickel, bly och zink. Koppar är inte en särskilt mobil metall, och väl i lösning binds den ofta till olika oorganiska och organiska föreningar.

Allmänbefolkningen exponeras för koppar huvudsakligen genom dricksvattnet. Vanligt är att dricksvattnet kontamineras med koppar från vattenledningar och varmvattenberedare. Vid en sänkning av pH ökar urlakningen av koppar från ledningarna. Även vissa hårda vatten är aggressiva mot vattenledningarna.

Koppar är en essentiell metall för människan. Av det normala kopparintaget med födan absorberas 30 %. Efter absorptionen binds det mesta till ett protein. Utsöndringen sker nästan helt med gallan till avföringen.



Koppar finns normalt i både växt- och djurorganismer men dess fysiologiska funktion är i många fall inte helt känd. Man vet att koppar är nödvändigt för järnomsättningen för människor och djur och för produktionen av melanin. Hos hästar är det väl känt att kopparbrist ger en blekning av färgen – t.ex. blir svarta hästar grådaskiga och rödbruna blir blekgula. Om kopparinnehållet i marken är lågt kan upptaget vara lågt och hämmas ytterligare om det finns överskott av en del andra metaller, bland annat zink. Teorier om Älvsborgssjukan hos älgar visar att kopparbrist i kombination med krombrist kan ha orsakats av kalkning i älgarnas miljö.

Koppar är, liksom fosfor, ett element där totalhalter och syralakbara halter är så gott som identiska. Kopparhalten i undersökningsområdet är lägre än för riket i övrigt. En svag förhöjning finns strax nordväst om Bålsta, vilken troligen har sitt ursprung i metagråvackorna. Gaddebo gruvor, drygt 5 km nordväst om Fjärdhundra, som omfattar bl.a. en kopparmineralisering, är möjligtvis en källa till en annan svag förhöjning som syns i kartområdets sydvästra del. I nordostligaste hörnet av undersökningsområdet finns ytterligare en svag förhöjning. Denna hör troligen från basiska bergarter.

Koppar korrelerar med aluminium, kobolt, krom, järn, nickel m.fl. med avseende på totalhalt och med kadmium, krom, järn, nickel, zink m.fl. med avseende på lakbara halter.

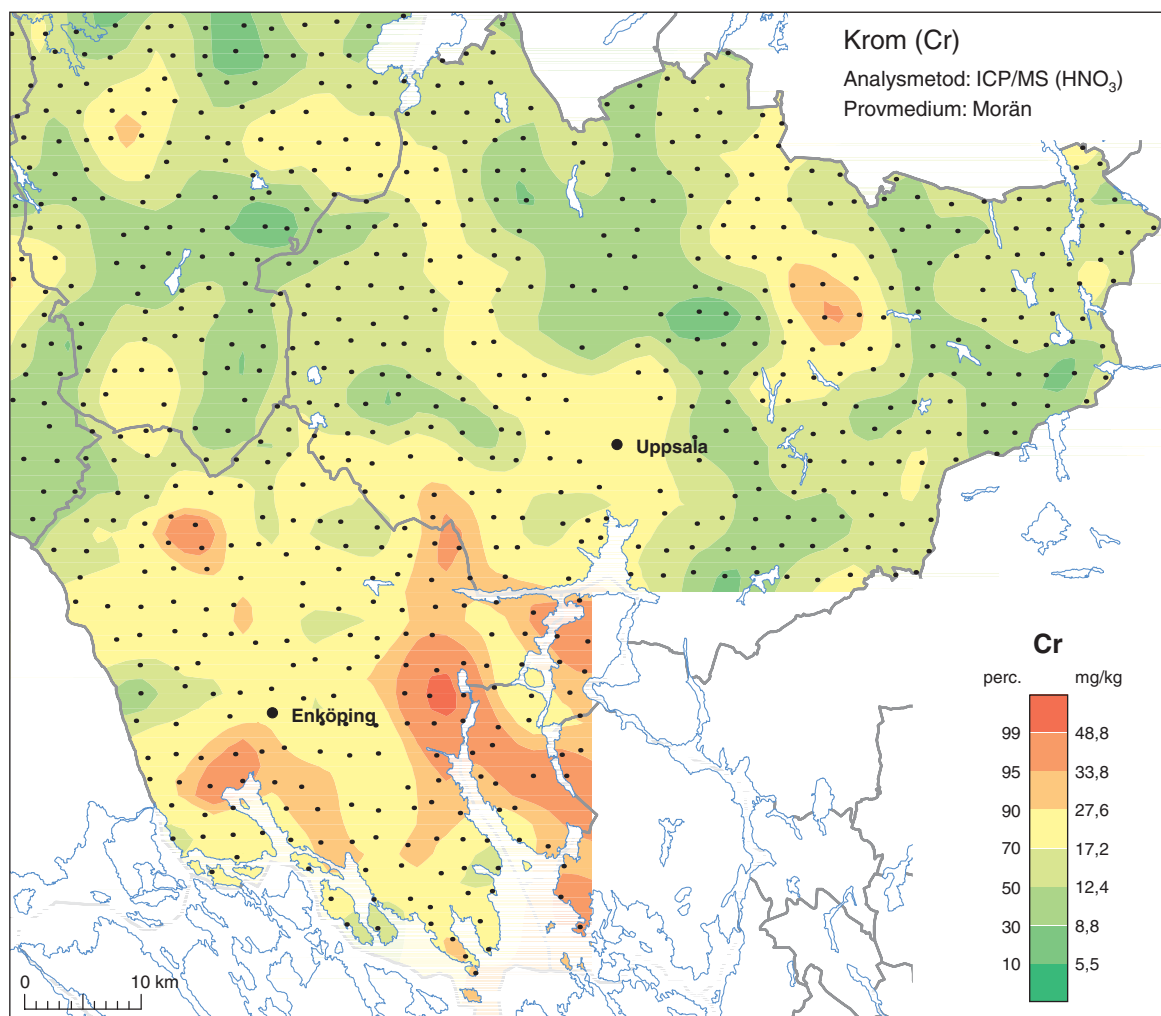
Krom (Cr)

Krom kan förekomma med mycket höga halter i ultramafiska bergarter men finns också i basiska bergarter som gabbro, amfibolit och diabas. Sandstenar kan innehålla en del krom medan granitiska bergarter har lågt innehåll av metallen. Krom uppträder i mineral som pyroxener, amfibol och glimrar, men också i svårvittrade mineral som ilmenit och magnetit. Krom är vida spritt men är relativt sällan koncentrerat till brytvärda förekomster. Metallen förekommer inte i gedigen form. Det viktigaste mineralet är kromit. Vid vittring binds elementet lätt till järn- och manganoxider och till lermineral. Generellt har krom liknande geokemiska egenskaper som järn och aluminium.

Krom förekommer i flera olika oxidationstal. De sexvärda föreningarna är de mest giftiga. Mobiliteten hos krom är ganska låg, men beror på med vilket oxidationstal (vanligaste är två-, tre- och sexvärt krom) metallen uppträder. Trevärt krom är svårslösligt i vatten med pH runt 7 och kromkoncentrationen i naturliga vatten är låg. Sexvärt krom är mer mobilt än trevärt. Normalt finns små mängder krom i dricksvatten och föda.

Krom medverkar till omsättningen av blodsocker, kolhydratomsättning och cellernas insulinkänslighet. Krom reducerar blodfetterna och kontrollerar kolesterolhalten i blodet. Brist på krom är ovanligt. Symptom kan vara sämre utnyttjande av blodsockret (minskad insulinkänslighet), sämre proteinsyntes samt fettomsättning, trötthet, nervösa besvär, koncentrationssvårigheter och ögonproblem.

Totalhalten för krom i undersökningsområdet är något lägre, medan den lakbara halten är något högre jämfört med landet i övrigt. Den kromförhöjning som har störst geografisk utbredning är ett

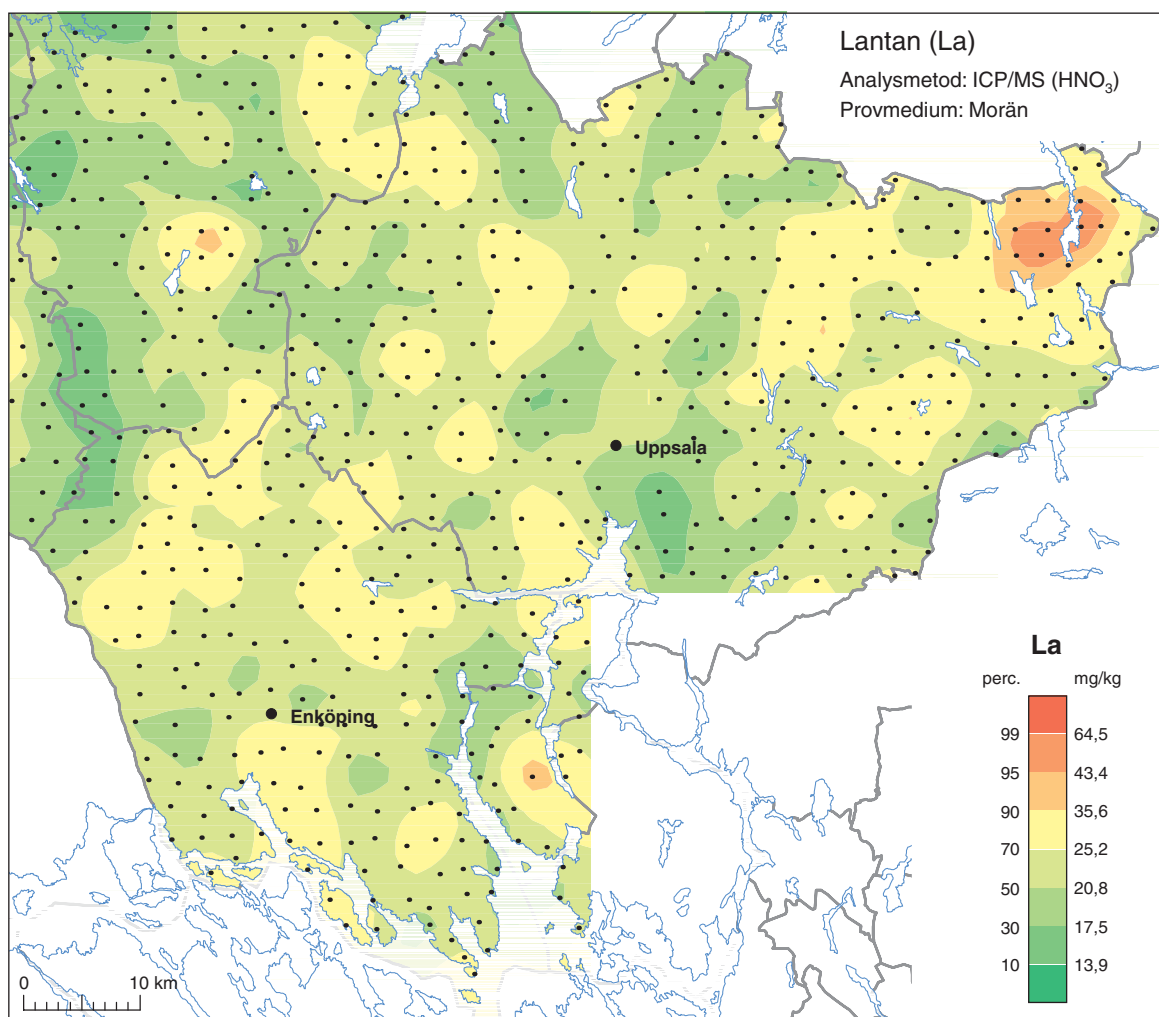


område mellan Örsundsbro och Bålsta som domineras av metagråvackor och en del basiska bergarter. Framför allt de senare uppvisar en oftast högre halt av krom än sura (kiselrika) bergarter såsom t.ex. granit. Andra exempel på kromförhöjningar är t.ex. drygt 10 km öster om Storsveta samt strax norr om Fjärdhundra.

Starka korrelationer mellan krom och vanadin, nickel, magnesium samt kobolt indikerar att krom ingår i mafiska mineral. Ibland kan kromanomala områden mycket riktigt förklaras med förekomst av basiska bergarter i närområdet, t.ex. gabbro, men lika ofta saknas uppenbara förklaringar i berggrundskartorna.

Lantan (La)

Lantan är inget ovanligt grundämne i jordskorpan, det är t.ex. 2,7 gånger vanligare än bly. Lantan uppträder framför allt i granitiska bergarter men även skiffrar kan ha höga halter. I basiska bergarter och kalkstenar är innehållet betydligt lägre. Lantan finns alltid i naturen som jonen La^{3+} . Elementet tillhör de sällsynta jordartsmetallerna och förekommer ofta tillsammans med torium, yttrium, uran, beryllium och ett flertal sällsynta grundämnen i t.ex. pegmatiter. Som för de flesta lantanider är monazit, LnPO_4 , bastnäsit, LnCO_3F , och cerit (ett lantanidsilikat) de viktigaste mineralen; Ln betecknar de trevärda lantanidjonerna. Elementet lantan kan också ingå i allanit, fältspater, zirkon, hornblände, biotit och apatit. Vid vittring kan lantan fällas ut som karbonater och hydroxider eller adsorberas av lermineral. Lösligheten för lantan är ganska låg.



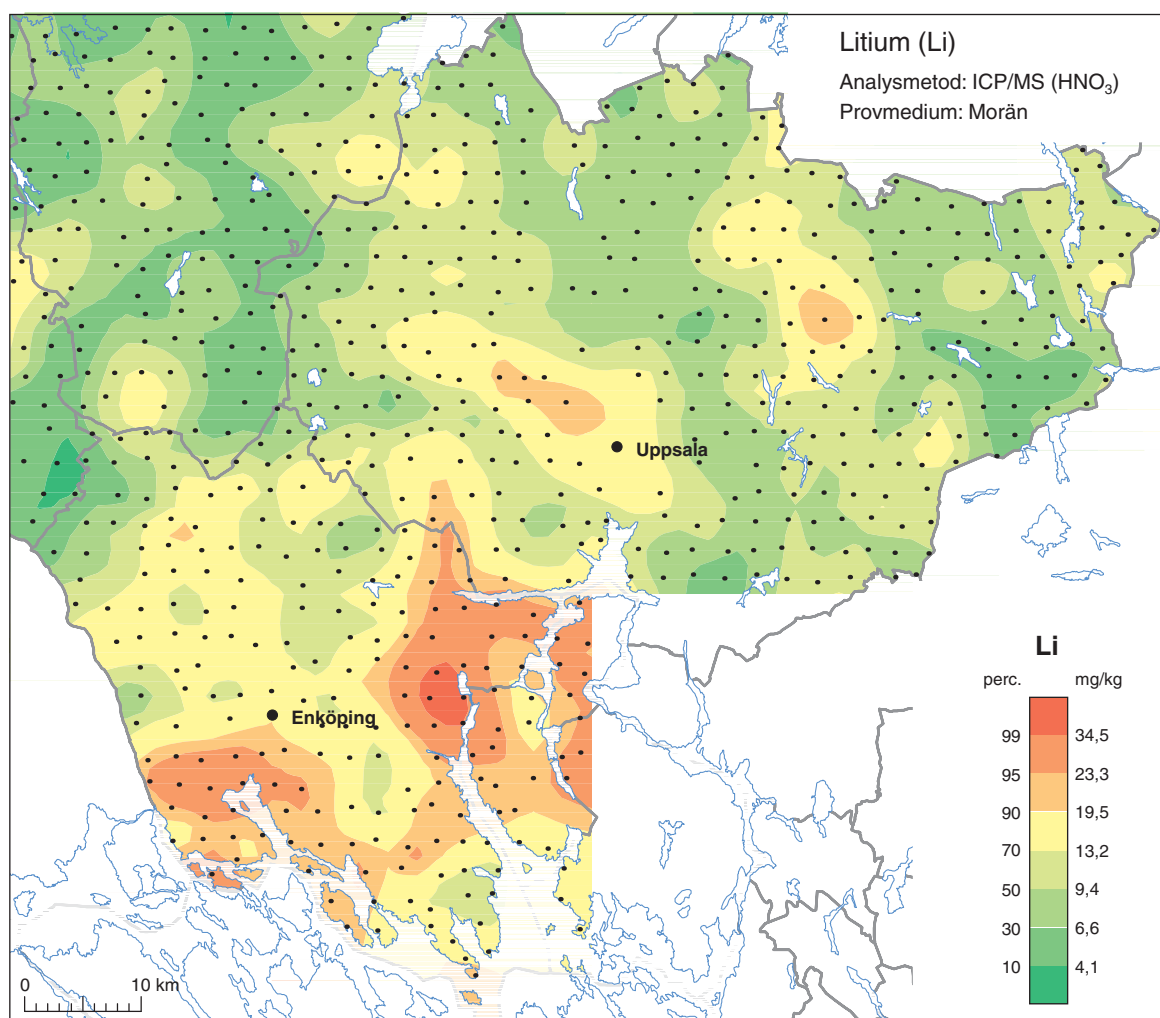
Lantanhalten är i undersökningsområdet något högre jämfört med riket i övrigt. En förhöjning finns i områdets nordöstra del, och ett sannolikt ursprung är pegmatitgångar som återspeglas i moränen. Lantan korrelerar starkast med yttrium och torium, vilket är normalt även i andra delar av landet.

Litium (Li)

Litium är en alkalimetall som förekommer som spårämne i ett flertal mineral, exempelvis amfiboler, pyroxener, turmalin och glimmer. Litiummineral som spodumen, petalit och lepidolit förekommer, men det är troligen glimmermineralet biotit som är det mest utbredda värddmineralet för litium. Metallen förekommer i framför allt i pegmatiter, graniter och skiffrar, medan basiska bergarter och sandsten har betydligt lägre innehåll. Vid vittring adsorberas litium lätt till lermineral och manganoxider.

Spårämnet anses numera som viktigt i människokroppen och brist kan eventuellt ge ökad benägenhet för magsår, mentala problem, artros, reumatism och hjärt- och kärlsjukdomar. Överdoser ger hämmad ämnesomsättning med trötthet, svullnader, viktökning, låg puls och lågt blodtryck som följd. Tack vare vårt relativt litiumfattiga dricksvatten (Rosborg m.fl. 2003) är överdoseringar i Sverige ovanliga. Litium har en reglerande inverkan på kalium-natriumbalansen, men dess funktion i övrigt är knapphändigt utforskad. I psykiatri används litium (i stora giftiga doser) för behandling av manodepressiva psykoser.

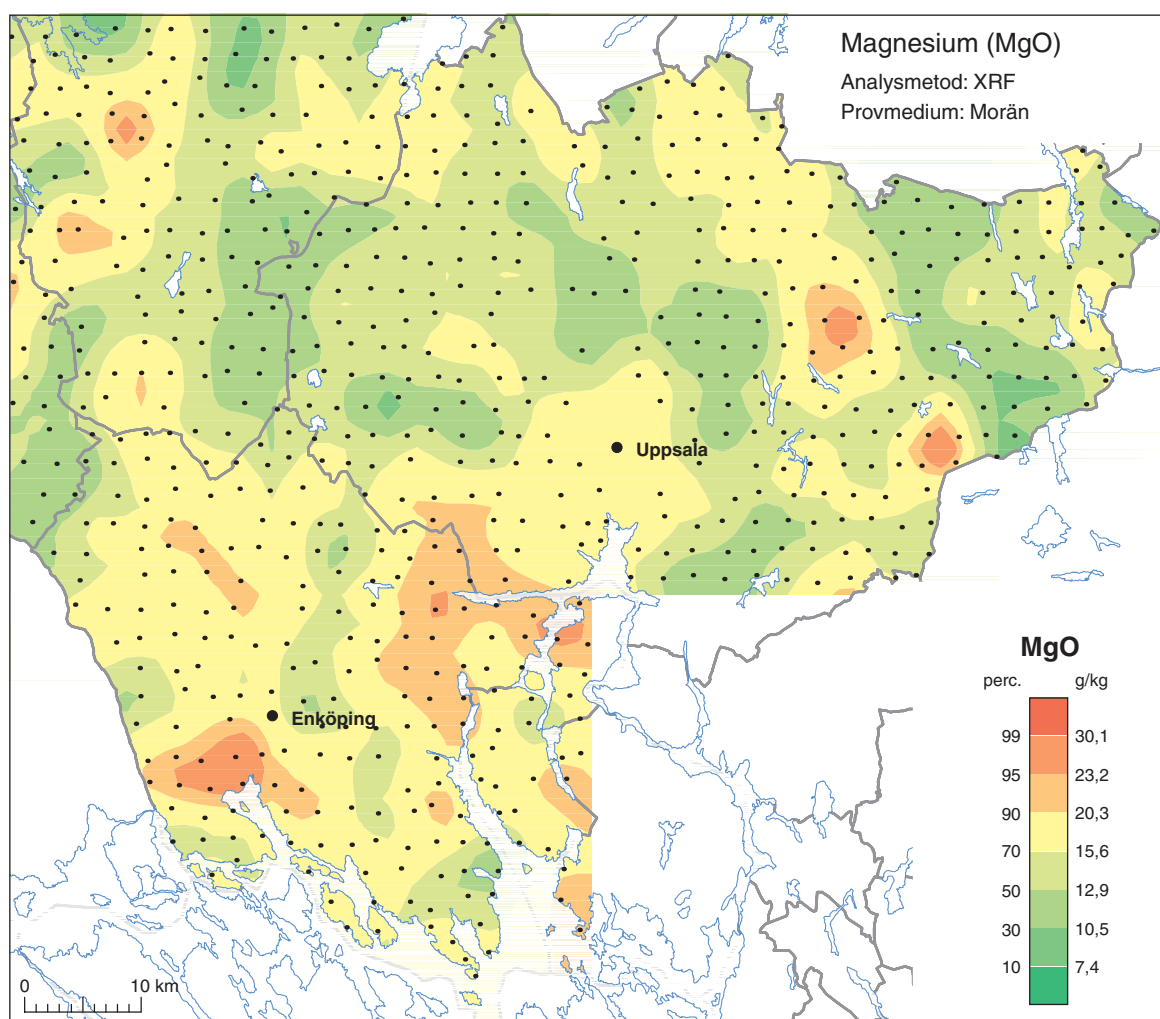
Den lakbara halten för litium är något högre än för landet i övrigt. I kartområdet framträder en förhöjning norr om Bålsta som sammanfaller med metagråvackor. Dessa innehåller normalt sett en relativt hög andel litiumrika glimmer- och lermineral. Litium korrelerar med många element, bl.a. med järn, magnesium, nickel, zink och krom.



Magnesium (MgO)

Den övervägande delen av magnesium som finns i urberget uppträder i form av magnesiumsilikater såsom olivin, serpentin, enstatit, granater, talk, asbest, flogopit och biotit m.fl. mineral. Många ingår i pyroxen- och amfibolgrupperna. Populärt brukar dessa mineral föras till gruppen "basmineral" eller mörka mineral. Dessa mineral karaktäriseras av varierande proportioner magnesium och järn, men även kalcium är associerat med bildningsmiljön. I detta fall ger just järnet upphov till den mörka färgen hos mineralen. Generellt kan sägas att basiska bergarter, t.ex. gabbror, oftast uppvisar förhöjda magnesiumhalter i jämförelse med vanliga gnejser och graniter. De vanligaste exemplen på grönstenar är gabbro, hyperit, diorit, diabas, basalt och amfibolit (metabasit). I urberget förekommer sporadiskt förhöjda halter av magnesium i kristallina karbonater (magnesit, mycket sällsynt i Sverige) och dolomitstenar (dolomitmarmor) i anslutning till våra malmprovinser. I anslutning till viss malmbildning har magnesiumhaltiga lösningar påverkat omgivande berggrund och bidragit till omvandling, genom magnesiummetasomatos, av mineral varvid specifika magnesiumhaltiga mineral utbildats. Sådana mineral omtalas vanligen som skarnmineral. Magnesium finns till största delen i mineral som vittrar lätt och löses därför lätt ut. Elementet kan ersätta järn och kalcium och lösta magnesiumjoner binds lätt till lermineral.

Elementet magnesium ingår i klorofyll, det gröna växtämnet i växter. Det är därför nödvändigt för alla gröna växter. Magnesium samverkar med kalcium och fosfor och 60–70 % av kroppens magnesium finns i skelettet. Magnesium aktiverar enzymer och är nödvändigt för celledningen och viktigt

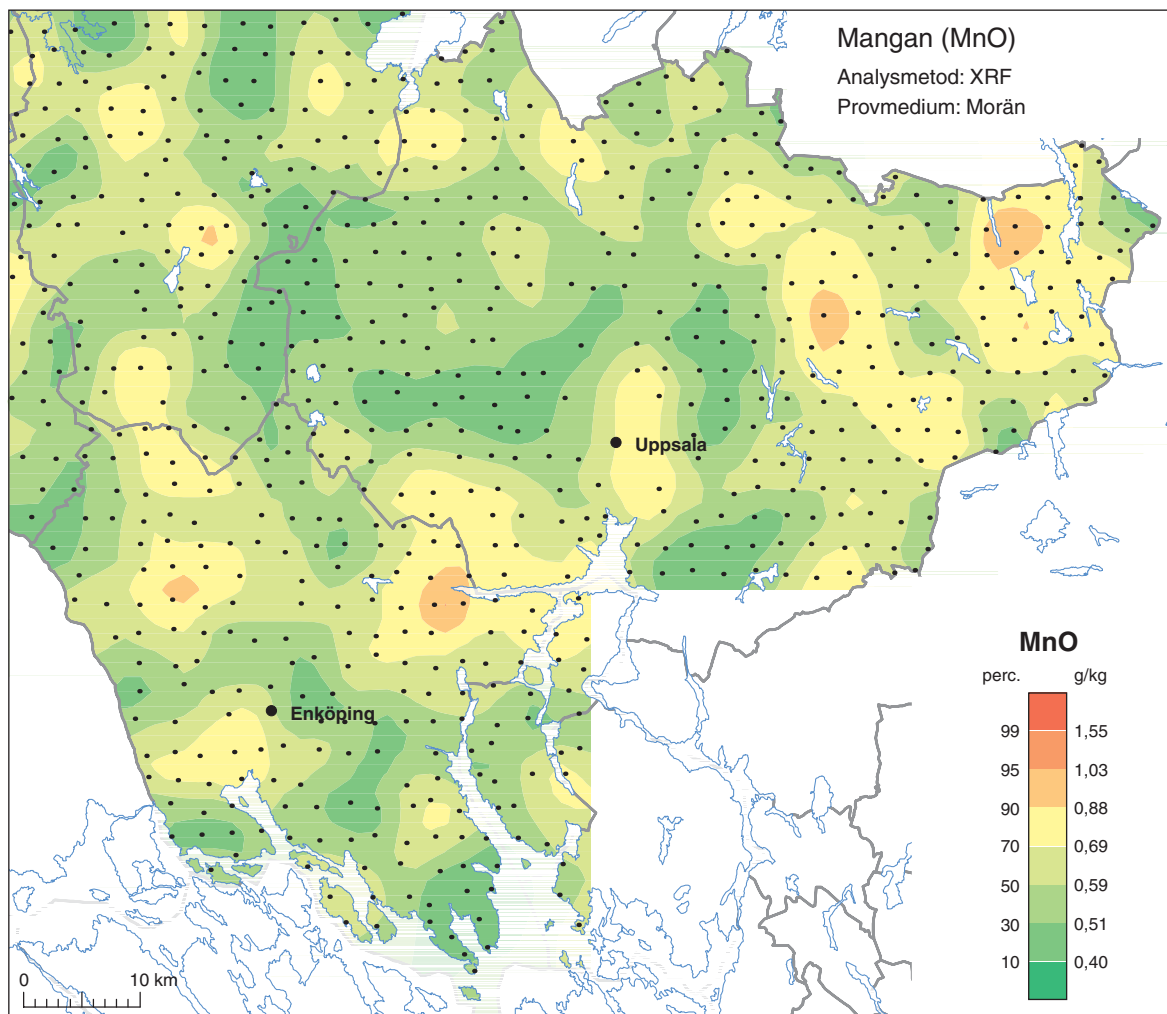


vid hårt muskelarbete. En del magnesium förloras vid stark svettning. I vissa fall kan underskott av magnesium förekomma hos djur och människor.

Magnesiumnivån inom kartområdet är obetydligt högre än för övriga riket, vilket gäller såväl för lakbar halt som för totalhalt. En förhöjning i den nordvästra delen av kartområdet återfinns i anslutning till kända mineraliseringar. Magnesium korrelerar med element som man vanligen finner i mafiska, mörka mineral, såsom järn, koppar, kobolt, krom, zink, nickel m.fl. I öster samt i ett område strax väster om Enköping finns förhöjningar som troligen har sitt ursprung i basiska bergarter.

Mangan (MnO)

De högsta manganhalterna förekommer i basiska och ultramafiska bergarter, i skiffrar och kalksten. Innehållet i graniter och sandstenar är betydligt lägre. Mangan kan uppträda i ett flertal bergartsbildande mineral, t.ex. pyroxener, amfiboler, glimrar, olivin, granat, kalcit och dolomit, och kan ersätta bl.a. järn i kristallgittren. De ekonomiskt viktiga manganmineralen utgörs av olika typer av malmmineral. Viktigast är malmer som oxider och oxidhydroxider. Mycket stora mängder mangan finns på djuphavsbottenarna i form av koncretioner eller s.k. mangannoduler. Ett flertal manganmineral är kända, t.ex. pyrolusit (MnO_2), och ekonomiskt brytvärda halter av metallen kan finnas tillsammans med järn och titan. Mangan ingår i många lättvittrade mineral, går lätt i lösning och bildar nya sekundära föreningar varav en del har förmåga att binda ett flertal andra metaller till sig. Det är väl känt från internationella geokemiska undersökningar att en kartbild över mangan ofta ter sig



rörig på grund av att kartbilden reflekterar också sekundära processer i manganets spridningsmönster (Reimann m.fl. 2003).

Mangan är ett viktigt spårelement i levande organismer. Mest känd är dess roll i fotosyntesen. Mangan upptas av växterna i form av Mn(II). Denna form oxideras lättare ju mer basisk miljön är. På basiska jordar visar därför växterna tecken på manganbrist (ofta grå eller ljusa fläckar på bladen) vid långt högre manganhalt än på surare jordar. Manganupptaget hos betande djur är ganska lågt, men det är bete på sura jordar som ger det högsta upptaget. Kroppens innehåll av mangan är mycket litet, men nödvändigt för kolhydrat- och mineralomsättningen, fettmetabolismen, äggstocksfunktionen m.m.

Totalhalten av mangan i undersökningsområdet är lägre än för riket i övrigt. Några svaga förhöjningar syns i kartområdet men det är inga anmärkningsvärda halter. En förhöjning ligger i närheten till Nickebogruvan, som är belägen ca 10 km nordväst om Heby, där det bland annat finns kända manganmineraliseringar.

Både syralakbart mangan och totalhalt för mangan korrelerar med kobolt, järn, magnesium, vanadin och zink, där huvudelementen järn och magnesium ger indikationer på att mangan uppträder i bergartsbildande mineral.

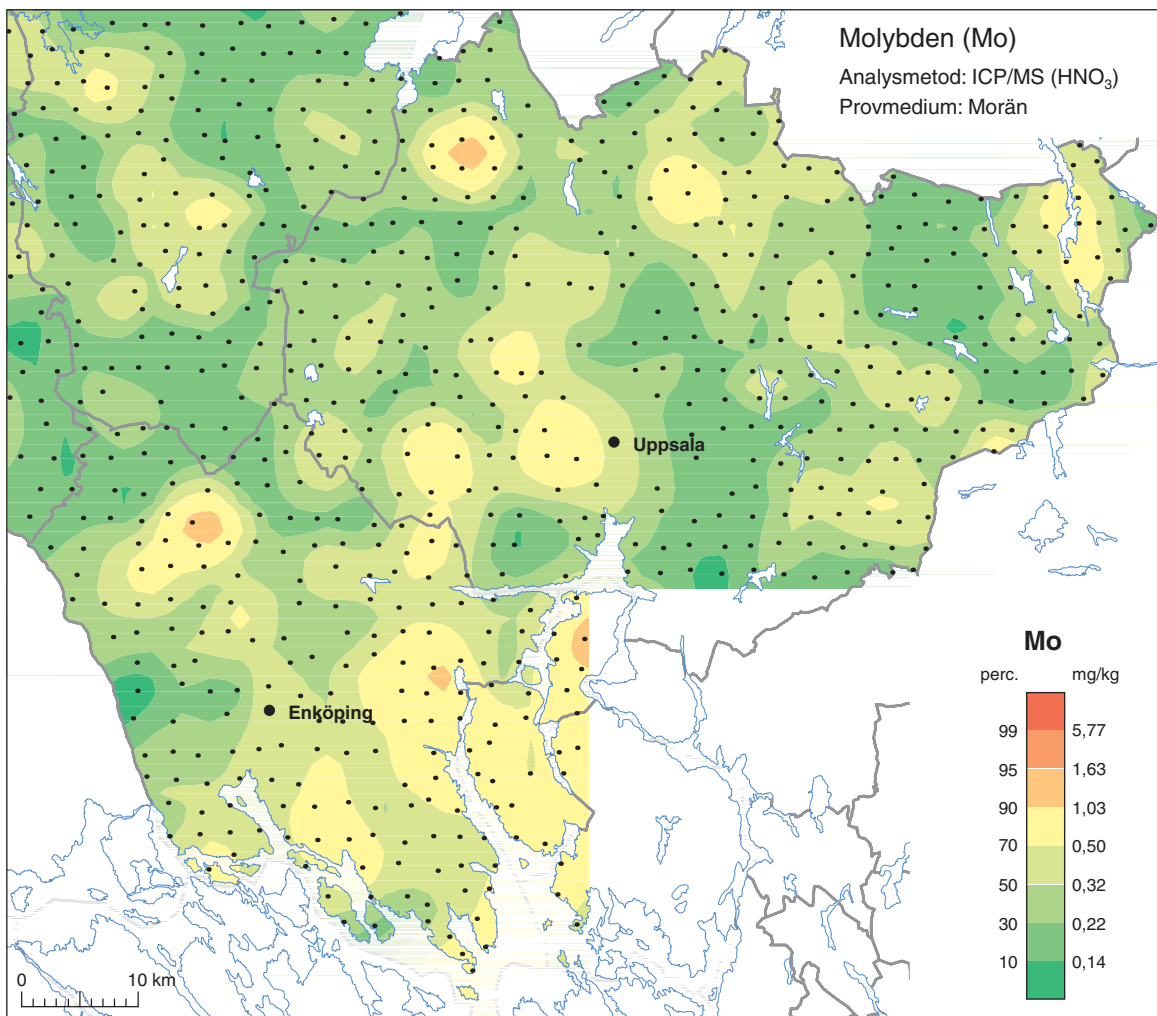
Molybden (Mo)

Molybden är, liksom wolfram, ca 100 gånger mer sällsynt än det lättaste elementet i samma grupp i periodiska systemet, krom. I bergarter ingår spårämnet i silikatmineral, och molybdeninnehållet är vanligen högst i alunskiffer, näst högst i övriga skiffrar samt lägre i graniter och basiter. Metallen förekommer inte i gedigen form i naturen, utan endast som kemiska föreningar. Det enda mineralet av praktisk betydelse är molybdenglans, MoS₂, och typiskt för mineralet är att det påträffas i kiselhydrarisk miljö i anslutning till graniter, pegmatiter, skarn och i kvartsgångar, ibland tillsammans med koppar, bly, arsenik eller tenn. Molybdenglans förekommer tämligen allmänt i Skandinavien berggrund, men de svenska fyndigheterna är normalt inte brytvärda. Ett undantag är Uddgruvan i Grängesbergstrakten, där man brutit molybdenmalm. Molybden uppträder där i skarnmiljö tillsammans med wolfram som det har geokemisk släktskap med. Vid vittring är molybden rörligt i alkalisk miljö och kan adsorberas till järn- och aluminiumföreningar. I motsats till de flesta andra metaller är molybden inte mobilt under sura förhållanden.

Molybden utgör mikronäringsämne för bakterier, svampar och gröna växter och förekommer i mark och vatten huvudsakligen i form av anjonen molybdat. Försurningen av miljön anses minska molybdenets biologiska tillgänglighet, bl.a. genom att det i sur miljö bildar svårslösliga aluminium- och järnmolybdat. pH-värdet i marken är därför av hög betydelse för tillgängligheten av molybden. Höga molybdenhalter kan minska koppars biologiska tillgänglighet och orsaka akut eller kronisk brist på detta mikronäringsämne hos både växter och djur. Detta anses vara en bidragande förklaring till den så kallade Älvsborgssjukan hos älgar.

Molybden antas vara ett essentiellt spårelement under fosterlivet och hos nyfödda. Stora mängder molybden är däremot toxiskt och kan också orsaka brist på koppar och svavel. Även om molybdenbrist inte beskrivits hos människa anses för små mängder av elementet ge bristtillstånd.

Inom undersökningsområdet ligger medianhalten för molybden på samma nivå som för landet i övrigt. Enstaka svaga förhöjningar kan ses inom kartområdet. I sydvästra delen finns en förhöjning som knyter an till sedimentära bergarter, bl.a. gråvacka, en bergart som också brukar uppvisa en något förhöjd halt av molybden. I kartområdets norra, centrala del finns ytterligare en svag förhöjning, som kan ha sitt ursprung i skarnmineral. För lakbart molybden ses en viss korrelation med järn, selen, litium och krom, något som antyder en association med kismineral.

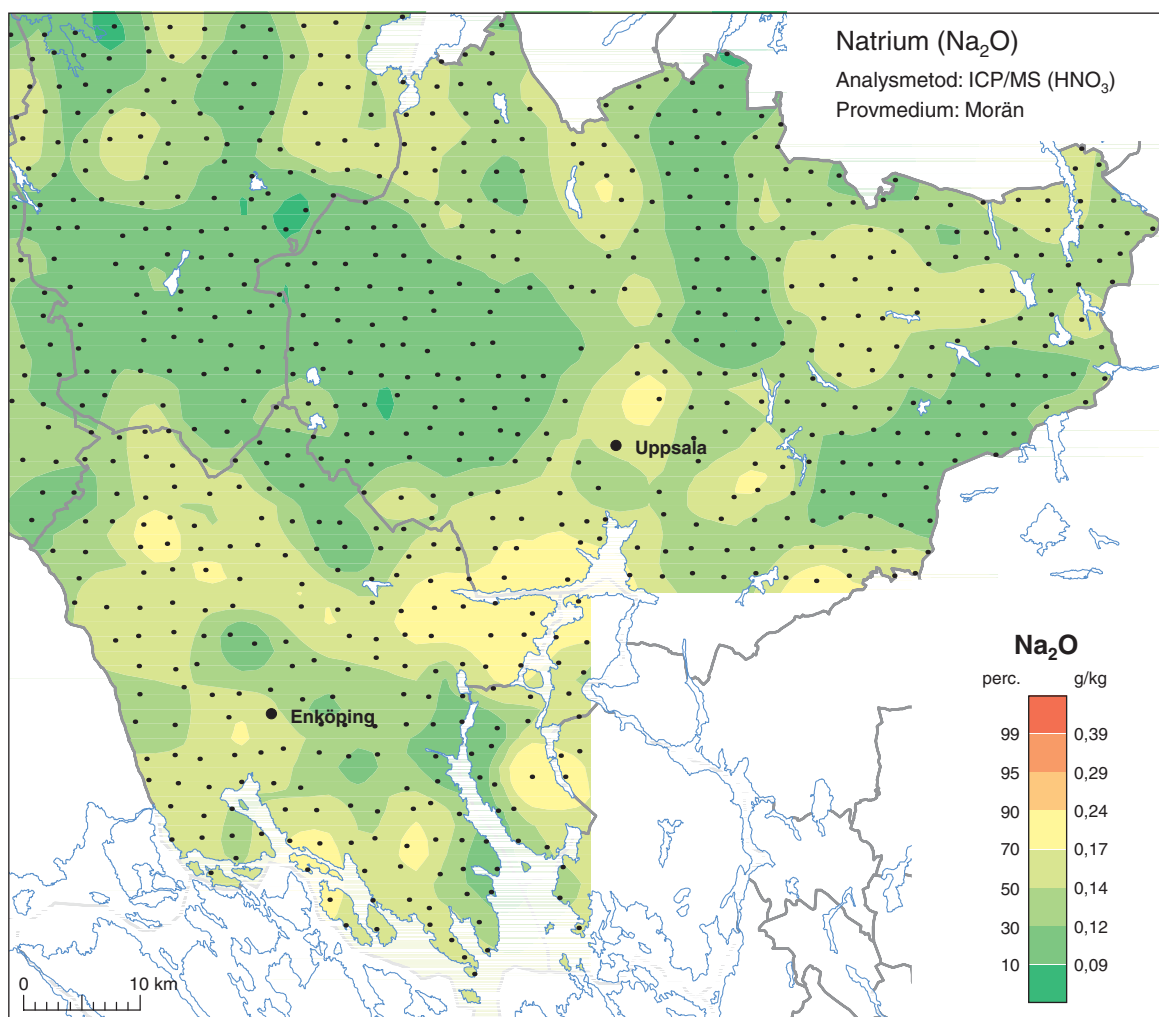


Natrium (Na₂O)

Natrium förekommer främst i olika fältspater såsom i plagioklasseriens olika mineral (albit, oligoklas) och kan där vara olika hårt bundet. I mer löslig form finns natrium i amfiboler, pyroxener och glimrar. Natrium kan också substituera kalium i kristallgittret och därmed ingå i ett stort antal bergartsbildande mineral. Natrium återfinns i såväl basiska bergarter som mer kiselrika. Lägst är innehållet i alunskiffer och sandsten. Vid vittring är natrium i fältspater tämligen svårslösligt, men i stället mycket lösligt när det sitter i mafiska mineral, glimrar och plagioklaser.

Natrium är essentiellt för allt levande. Huvudfunktionen hos djur och människor är att reglera syrabalansen och det osmotiska trycket. Koncentrationen i kroppen regleras av njurarna. För mycket salt (natriumklorid) drar vatten ur cellerna och påverkar blodtrycket. Oftast är det via maten som människan får i sig för mycket salt. En annan källa är dricksvatten som, om det har höga natriumhalter, kan orsaka högt blodtryck och arterioskleros.

Medianvärdet av såväl lakbar halt som totalhalt av natrium i undersökningsområdet är lägre än i landet i övrigt. Ingen tydlig koppling till något bergartsled har hittats. Totalhalten för natrium korrelerar endast med strontium. Den syralakbara halten korrelerar med vanadin, titan, kobolt, magnesium, strontium, kalium och järn. Detta kan indikera att syralakbart natrium uppträder förhöjt i olika mineraliseringsmiljöer.

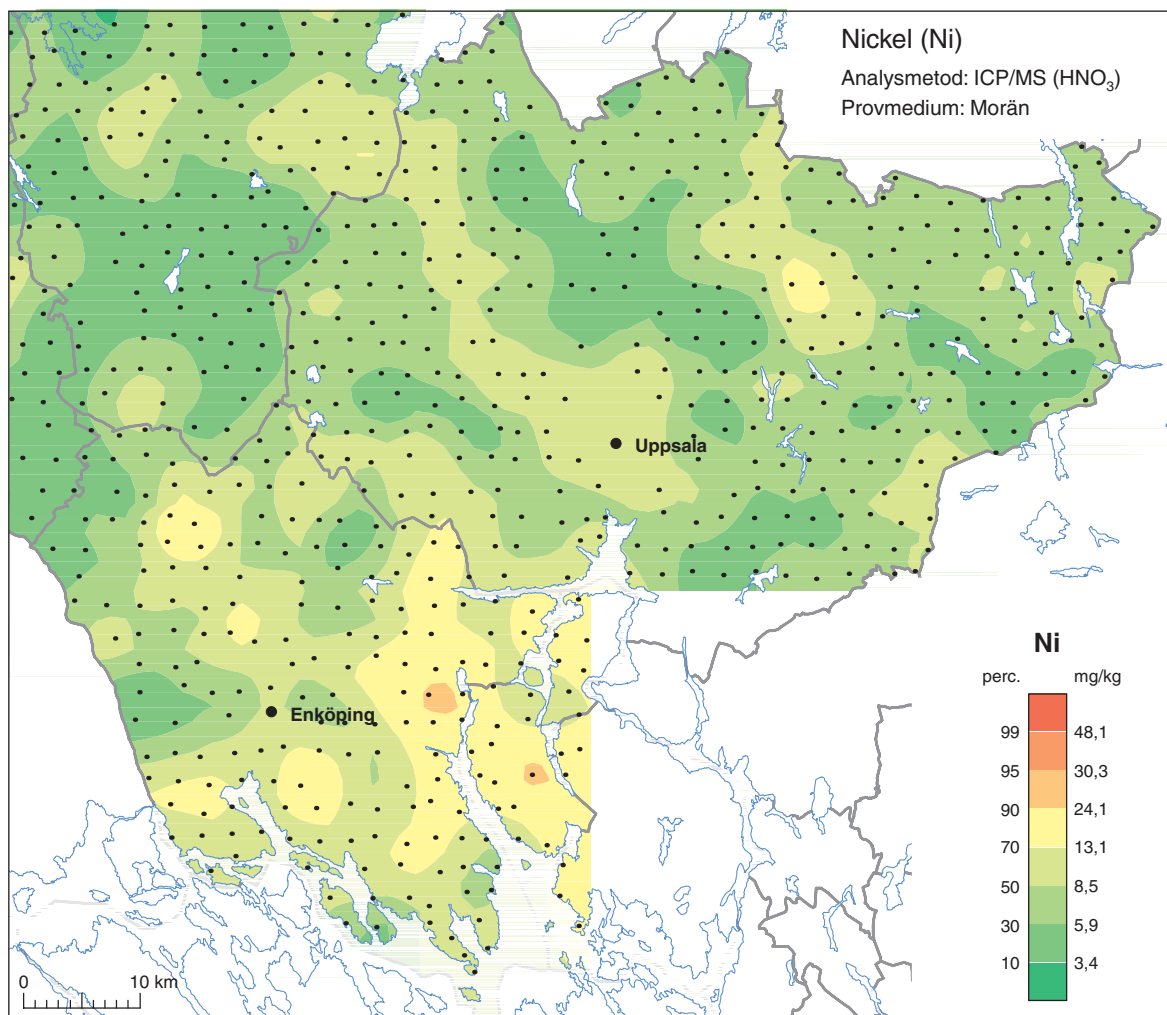


Nickel (Ni)

Nickel förekommer i basiska bergarter som gabbro, amfibolit och diabas, och kan uppträda med mycket höga halter i ultramafiska bergarter. Skifferar är också vanligtvis nickelförande medan innehållet i granitiska bergarter och kalkstenar har betydligt lägre innehåll av nickel. I sandstenar är innehållet mycket lågt. Metallen ingår i såväl silikatmineral som i sulfider och arsenider, och mineral som pyroxen, amfibol, granat, olivin och pyrit kan alla vara bärare av metallen. Nickel finns i ett flertal malmmineral, bl.a. i pentlandit som i allmänhet förekommer i mafiska till ultramafiska djupbergarter. Nickel har brutits på flera ställen i Sverige, från Kleve i Småland till Lainijaur i Västerbotten. Vanligen förekommer pentlandit i nickelhaltig magnetkis som speciellt följer de mellansvenska sulfidmalmerna. De nästan lika atomradierna för järn, kobolt och nickel gör att de lätt byts ut mot varandra i kristallgittren. Nickel och kobolt följer av samma orsak även gärna koppar, och i mineraliseringar kan också platinametallerna följa med. Nickel kan också ersätta järn och magnesium i mineralgittret. Vid vittring frigörs nickel lätt och är mycket rörligt i sur miljö, men kan fällas ut med järn- och manganoxider eller bindas till lermineral.

Nickel finns naturligt i små mängder i vatten och i födan. Nickel anses inte vara viktigt för människan, men kan vara det för vissa djur och mikroorganismer. Den viktigaste negativa hälsoeffekten av nickel är kontaktallergi. Omkring 3 % av det nickel som finns i födan tas upp i mag-tarmkanalen. Utsöndringen sker framför allt med urinen.

Medianvärdet för såväl syralakbar halt som totalhalt nickel är lägre i kartområdet jämfört med landet i övrigt. Svaga förhöjningar finns i områden med sedimentära bergarter, till exempel meta-grå-



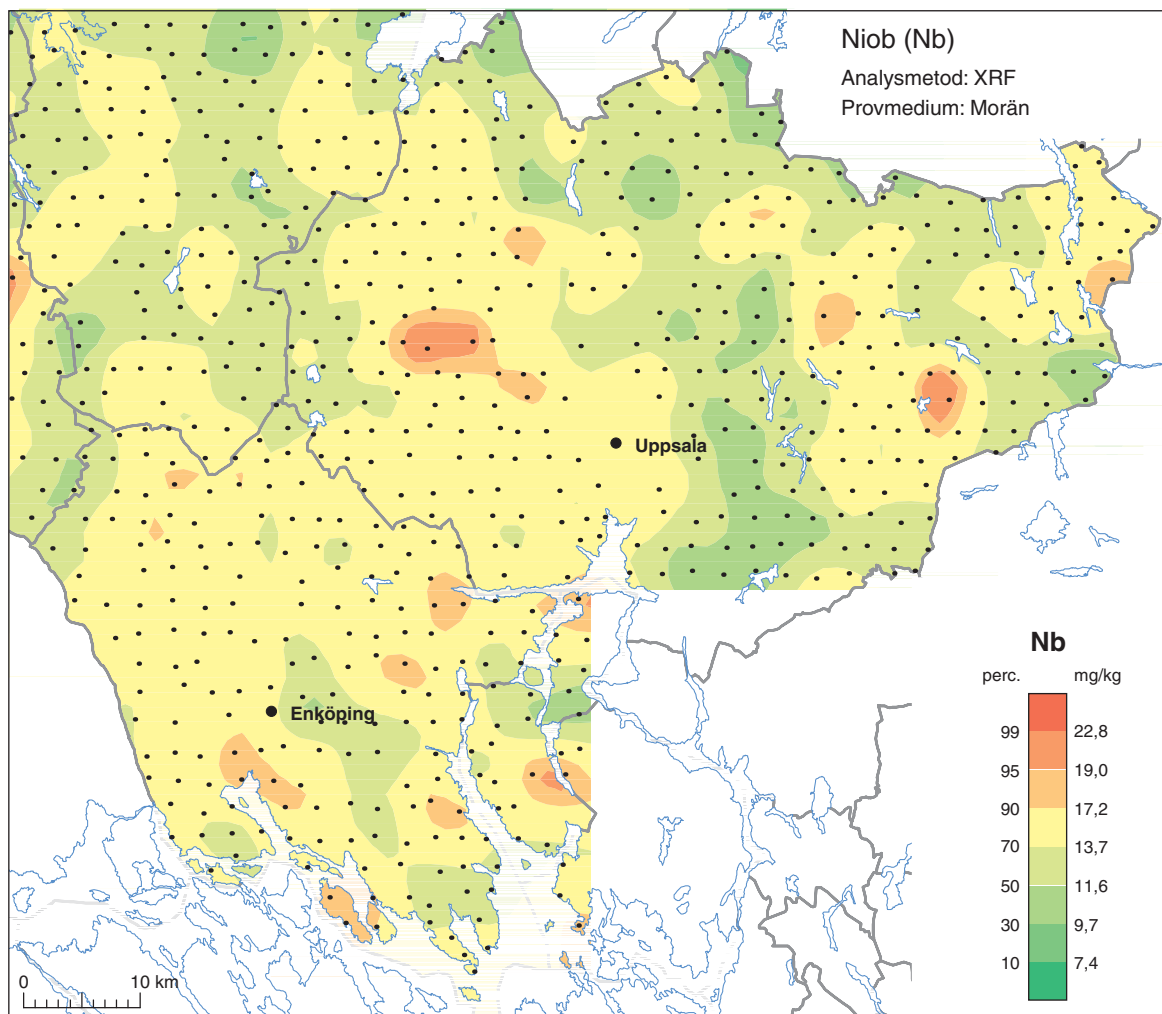
vackor. Måttliga förhöjningar uppträder även i anslutning till mineraliseringar i kartområdets nordvästra respektive nordöstra del. Nickel korrelerar väl med element som är vanliga inom den mafiska bergartsgruppen såsom järn, krom, koppar, vanadin, magnesium m.fl.

Niob (Nb)

Niob är vanligare än bly men mer sällsynt än koppar och förekommer i jordskorpan endast som kemiska föreningar, ofta tillsammans med tantal. Metallen kan exempelvis ingå i biotit, amfibolit, titanit och zirkon. De viktigaste mineralen är dock pyroklor och columbit. Niob återfinns främst i graniter och pegmatiter och ofta tillsammans med sällsynta jordartsmetaller och uran, torium, titan och kalcium. Lägst är niobinnehållet i mafiska och ultramafiska bergarter. Niob kan vara lösligt i både sur och alkalisk miljö, och det beror på värddmineralets löslighet om niob mobiliseras. Niob tas upp av växter och en del har förmåga att anrika metallen över niobmineraliserade områden, vilket på vissa håll i världen utnyttjats i prospekteringsyfte.

Niob och dess föreningar har ingen känd biologisk roll eller toxicitet. Den radioaktiva isotopen niob-95 bildas vid radioaktivt sönderfall av zirkonium-95, som är en fissionsprodukt vid kärnklyvning. ⁹⁵Nb påvisades i tyska floder efter kinesiska kärnvapenprov 1980, men halterna var låga.

Halten niob i undersökningsområdet är överlag lägre än i landet för övrigt. Enstaka förhöjning kan ses i kartområdets centrala delar, samt i den östra delen. Niob korrelerar med avseende på totalhalter med rubidium, samt något svagare med titan och kalcium, vilket indikerar ett ursprung i granitisk, pegmatitisk miljö.

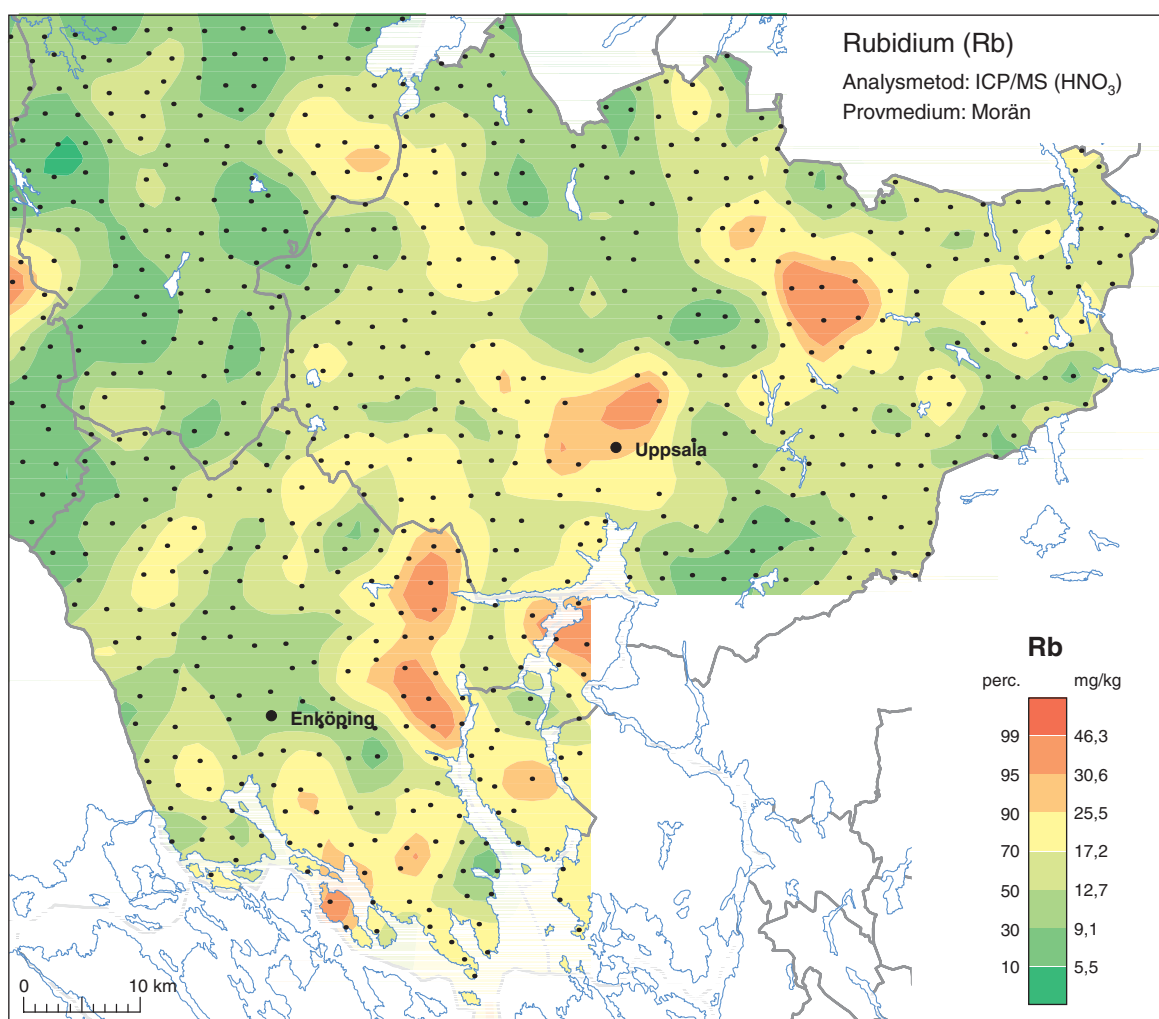


Rubidium (Rb)

Alkalimetallen rubidium är relativt vanlig och förekommer i jordskorpan i ungefär samma utsträckning som nickel, koppar och zink. Det ingår i många mineral, t.ex. pollucit och leucit (silikater) och carnallit (kaliummagnesiumklorid), dock inte som huvudkomponent i brytvärda kvantiteter. Rubidium utvinns i stället som en biprodukt vid framställning av litium ur glimmermineralet lepidolit, som innehåller upp till 1,5 % av metallen. Rubidium ingår i kalifältspater och glimmermineral och förekommer vanligen i skiffrar, graniter och pegmatiter. Sandstenar kan ha måttligt höga halter medan basiska bergarter har betydligt lägre innehåll. Rubidium bildar inga egna mineral, utan elementet följer kalium i geokemiska processer och kan ersätta såväl kalium som barium i mineralens kristallgitter. Jonbyten vid vittringsprocesser gör att rubidium koncentreras relativt kalium, och kvoten mellan kalium och rubidium har därför använts i vittringsberäkningar. Rubidium är således inte särskilt mobilt men är rörligt vid högt pH och binds då starkt till lermineral som illit.

Medianvärdet inom kartområdet är, i jämförelse med riket i övrigt, högre för totalhalten men lägre för den syralakbara halten. De förhöjningar av syralakbara halter som kartbilden visar indikerar närvaro av relativt lösliga mineral såsom glimmermineral.

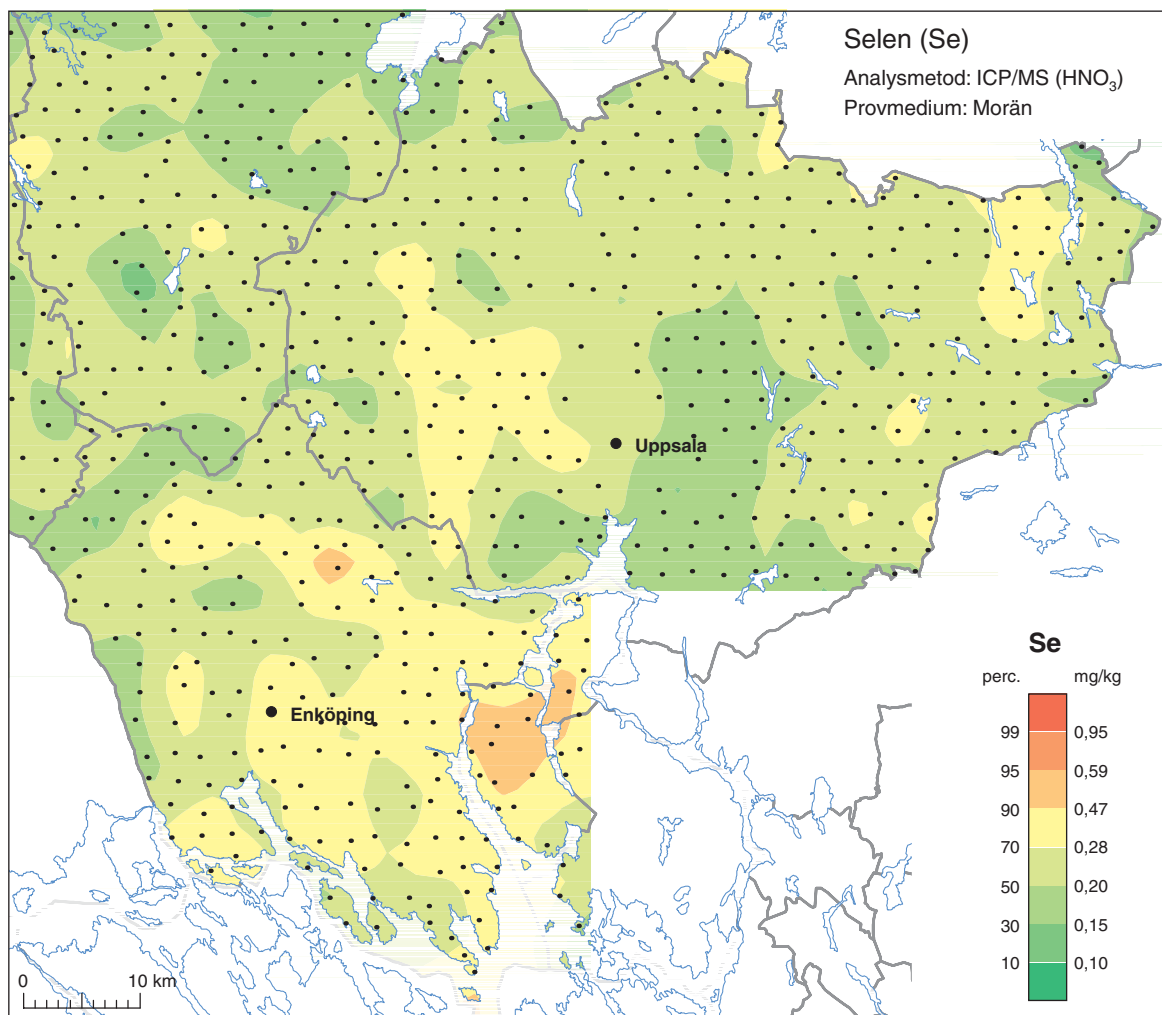
Detta stöds av att totalhalten av rubidium korrelerar med totalhalterna för aluminium, kalium, nickel, titan, zink, järn och krom samtidigt som den syralakbara halten korrelerar med aluminium, barium, kobolt, krom, järn, kalium, litium, magnesium, nickel och zink.



Selen (Se)

Selen har låg medelhalt i jordskorpan. Selen är lika sällsynt som silver och kvicksilver och mycket ovanligare än svavel. Det förekommer dock tillsammans med svavel både i elementär form och i sulfidiska malmer och är därför spritt i hela jordskorpan. Selen som ingår i malmbildande mineral kan uppträda i mineraliseringar tillsammans med bl.a. koppar, silver, arsenik, bly, antimon och tallium. Mineraler som weibullit med selen, bly och vismut har exempelvis hittats i Falu gruva. Rena selenmineral är däremot sällsynta. Ett exempel är berzelianit, Cu_2Se , som påträffats i Skrikerum i Småland. Seleninnehållet i den svenska berggrunden är generellt sett mycket lågt, men skifferar och basiska bergarter kan innehålla elementet. Det kan också förekomma i graniter och kalkstenar men då i betydligt lägre grad. Vulkaniska bergarter kan innehålla mer än 10 g selen per ton. Selen finns också i halter av 1–5 g per ton i vissa kol- och petroleumförekomster. Selen kan ersätta svavel i olika processer. Vid vittring är rörligheten hög hos selen. I basisk miljö bildas lättlösliga och biologiskt tillgängliga selenater, men om pH är lågt (<7) bildas i stället svårösliga selenider och selsulfider. Vid neutralt pH bildas selenit som fixeras till lermineral och järnhydroxider. En anledning till att Sverige anses selenfattigt är att det selen som finns sitter bundet i svårösliga föreningar.

Selen är ett livsnödvändigt näringsämne. Det ingår i enzymet glutathionperoxidas, som behövs för kroppens hantering av fria radikaler. Selen är också ett antagonistiskt element som motverkar toxiska effekter av en rad metaller (bly, kvicksilver, kadmium, arsenik och silver). Selenbrist är orsaken till Keshan-sjukdomen, en endemisk hjärtmuskelsjukdom hos barn i Keshandistriktet i Kina. I andra länder har man påvisat samband mellan lågt selenintag och vissa former av cancer. Intag av stora mängder

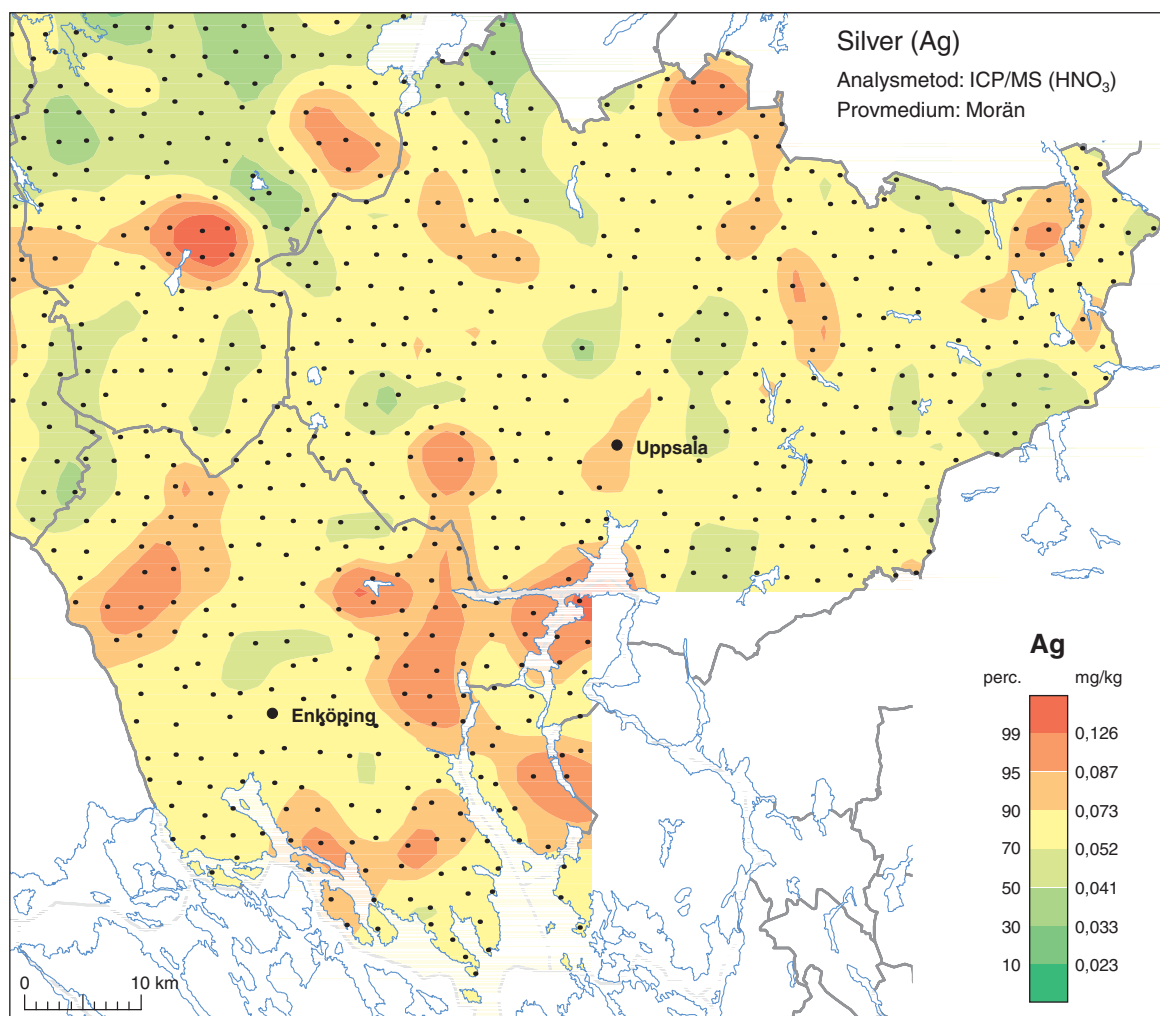


selen (mer än 5 mg per dag) kan leda till selenförgiftning, som bl.a. medför illamående, kräkningar och förändringar i hår och naglar. Höggradig exponering kan ge toxiska effekter på nervsystemet. Svenskodlade grödor har i regel låg halt av selen, vilket nödvändiggör tillskott av selen till växande djur. Däremot har man inte i Sverige kunnat påvisa några negativa effekter på människans hälsa till följd av lågt innehåll av selen i livsmedel. Fisk och skaldjur liksom inälvsmat (lever, njure), importerad spannmål och nötter är viktiga selenkällor i den svenska kosten. Förgiftning hos boskap på grund av selensamlade växter förekommer i bl.a. USA. Hos hästar och kor kan selenförgiftning bl.a. ge hov- och klövsprickor, hälla och håravfall.

Den syralakbara medianhalten för selen inom kartområdet är densamma som i övriga landet. En viss förhöjning finns i sydöst i ett område där sedimentära bergarter, exempelvis gråvacka, dominerar. Selen korrelerar med kadmium, beryllium, molybden och uran.

Silver (Ag)

Jordens mantel innehåller i medeltal ca 10 g silver per ton. I den del av jordskorpan som är tillgänglig för gruvdrift förekommer silver i en uppskattad medelhalt av 50–100 mg per ton. Huvuddelen av jordskorpan silvermineral utgörs av sulfidföreningar av envärt silver och andra metaller, men även föreningar med tyngre kalkogener samt halogener finns representerade. Däremot förekommer silver inte i syrehaltiga mineral (oxider, silikater etc.) i någon nämnvärd utsträckning. Silver uppträder främst i sedimentära och i basiska bergarter medan innehållet i sura graniter, vulkaniter och gnejser



oftast är lägre. Silver kan uppträda i hydrotermala gångar, i kambrisk sandsten och i skiffer. Silver förekommer i ren form i naturen och i malmer, ofta bundet till sulfidmineral som blyglans, zinkblände och kopparkis eller arsenider med kobolt och nickel. I Sala silvergruva var det t.ex. blyglans och zinkblände som bröts för att kunna utvinna silvret. Blyglansen där var bland de silverrikaste i världen. Silver förekommer sällsynt också i gedigen form som argenit, Ag_2S , och hornsilver, AgCl . Gediget silver ingår bl.a. i Harmsarvets malmer. Svenska fyndigheter med silver är kända från i stort sett hela landet. Vår äldsta silvergruva är Östra Silvberg i Dalarna, där gruvdriften började i mitten av 1300-talet. Ädelmetallen silver är dock känd av människan och brukad i över 5 000 år. Vid vittring är silver lättflyktigt, men fastläggs och bildar stabila komplex eller adsorberas av markpartiklar med järn och mangan eller lerpartiklar.

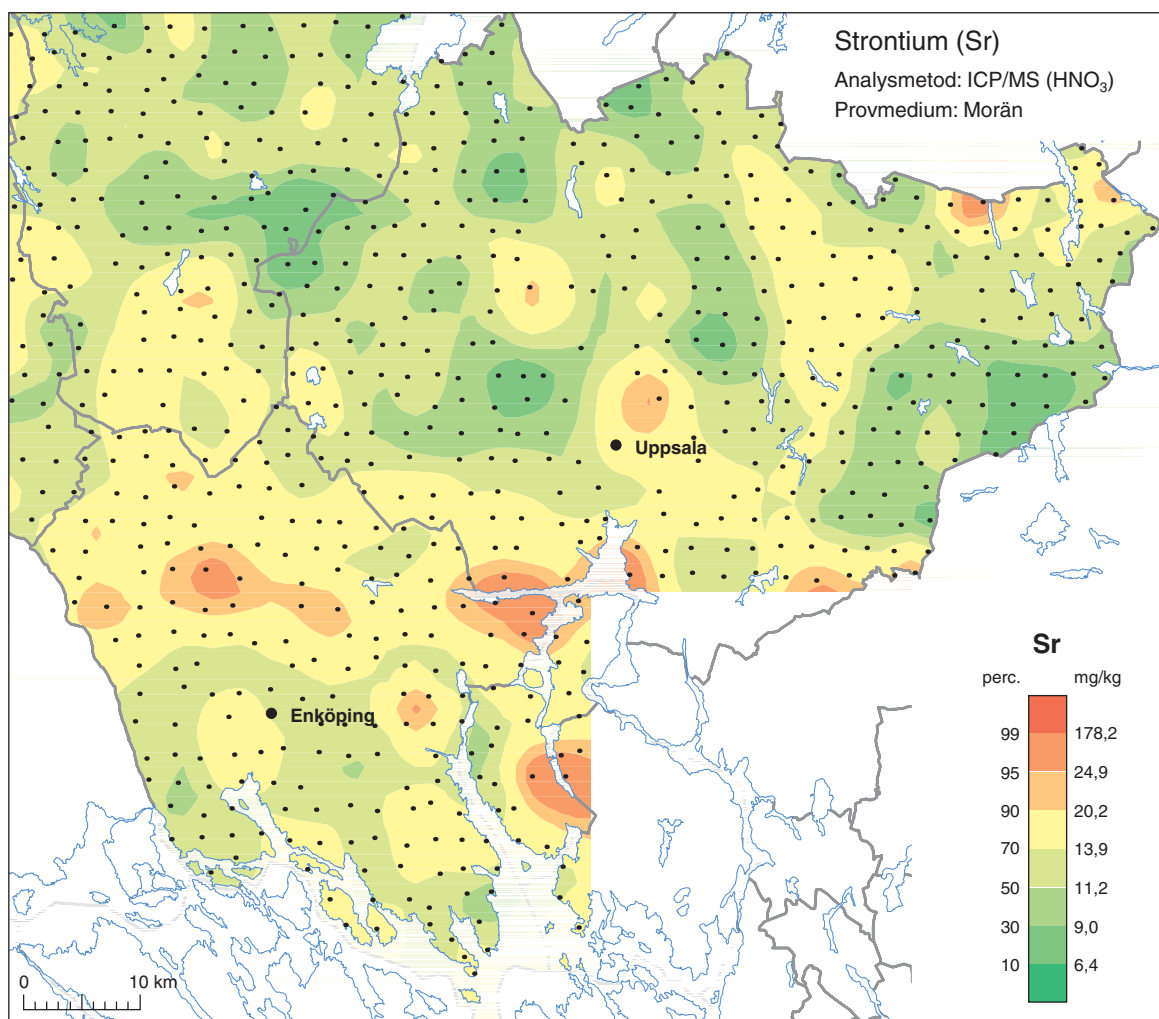
Silver har ingen känd essentiell biologisk funktion. Föreningar har en mycket låg akut och kronisk toxicitet för människan. Både metalliskt silver och dess salter har en bakteriedödande effekt, vilket utnyttjas bl.a. för vattenrening och sårbehandling. Den farmaceutiska benämningen på silvernitrat är lapis. I profylaktiskt syfte har silvernitratlösning droppats i nyfödda barns ögon för att förhindra bindhinneinflammation av från modern överförda gonokocker. Globalt minskar den medicinska användningen av silverpreparat i takt med att andra baktericider utvecklas.

Medianhalten av silver inom undersökningsområdet är högre än för landet i övrigt. En tydlig förhöjning finns i nordvästra delen av kartområdet, strax öster om Runhällen. Denna ligger i anslutning till nedlagda gruvor där mineraliseringarna förutom silver även innehåller bl.a. bly, järn, och zink. Mest känd är Nickbo gruva. Även öster om Vattholma finns en känd mineralisering innehållande silver, vilket även framträder på moränkartan. Något väster om Harbo finns ytterligare en silverförhöjning, men kopplingen är inte lika självklar till någon mineralisering utan förhöjningen kan även ha sitt ursprung i omgivande bergarter, t.ex. vulkaniter och basiska bergarter. Förhöjningen som finns mellan Enköping och Bålsta kan förklaras med den talrika mängden sedimentära bergarter, bl.a. gråvackor. Silver korrelerar med kadmium, kobolt, järn, mangan, zink m.fl.

Strontium (Sr)

Strontium är en av de s.k. alkaliska jordartsmetallerna. I naturen förekommer den som karbonat (strontianit, SrCO_3), och som sulfat (celestin, SrSO_4). Strontium följer kalcium i den geokemiska cykeln och högst innehåll återfinns i kalkstenar. Elementet förekommer också i kalciummineral, som t.ex. pyroxener och plagioklaser, i basiska bergarter och i lägre grad i skifferar och graniter. Strontium följer och kan ersätta kalium och barium tack vare liknande jonradier och kan därmed också uppträda i kalifältspat. Vid vittring fixeras mobiliserat strontium till karbonater, lermineral och organiskt material.

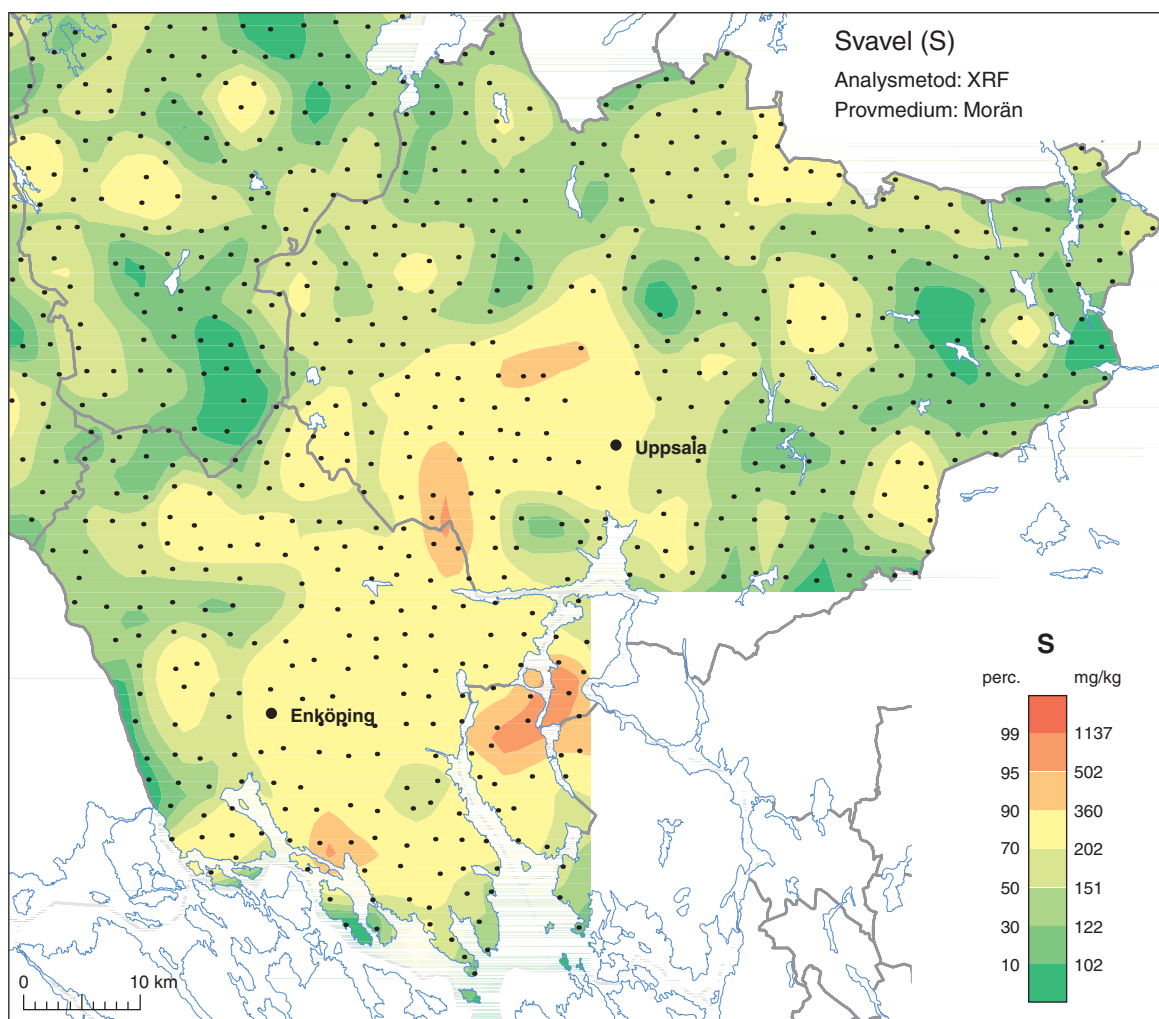
Medianvärdet för totalhalten strontium är något lägre än i övriga riket, medan den syralakbara halten är något högre än riket i övrigt. Strontium korrelerar med natrium och kalcium, och uppträder med förhöjningar där även natriums och kalciums kartbilder visar på en förhöjning. Detta tyder på ett gemensamt ursprung i framför allt plagioklaser och karbonater.



Svavel (S)

Svavel är ett vanligt grundämne som är vida spritt i jordskorpan. Jordens inre kan innehålla upp till 15 %, svavel. I universum är svavel ett av de tio vanligaste grundämnena. Svavel definieras också som ett mineral, vanligen tillhörande det ortorombiska kristallsystemet. Det finns främst i sedimentära men även i vulkaniskt bildade förekomster. Svavel förekommer med högsta halter i skiffrar med organiskt innehåll och med lite lägre halter i basiska bergarter och kalkstenar. Lägst är innehållet i sandsten och graniter. Svavel kan ingå i mineral som biotit och hornblände men förekommer i huvudsak som sulfider eller sulfater och uppträder då exempelvis tillsammans med arsenik, bly och zink. Pyrit (svavelkis, FeS₂) är ett av de mest utbredda sulfidmineralen och kan påträffas i såväl magmatiska som sedimentära bergarter och också i omvandlade bergarter. Vid vittring av primära svavelmineral är elementet mycket mobilt, löser ut och bildar nya komplex eller transporteras bort av mark- och grundvatten i form av lösta sulfatjoner.

Svavel är nödvändigt för alla levande organismer och ingår i organiska föreningar i cellerna. För växter är svavel ett makronäringsämne, men sulfat, den form i vilken växterna tar upp svavel, förekommer så rikligt i jorden att brist är sällsynt. Sulfatet reduceras strax efter upptagningen och omvandlas till organisk form. Djur kan endast tillgodogöra sig svavel ur vegetabilisk eller animalisk föda. Många bakterier bidrar till svavelomvandlingar i naturen. I syrefria miljöer förekommer ofta sulfat- och svavelreducerande bakterier, vilka i stället för att reducera syre i sin cellandning omvandlar sulfat eller svavel till vätesulfid. De flesta bakterier kan, liksom växter, utnyttja sulfat som näringskälla.

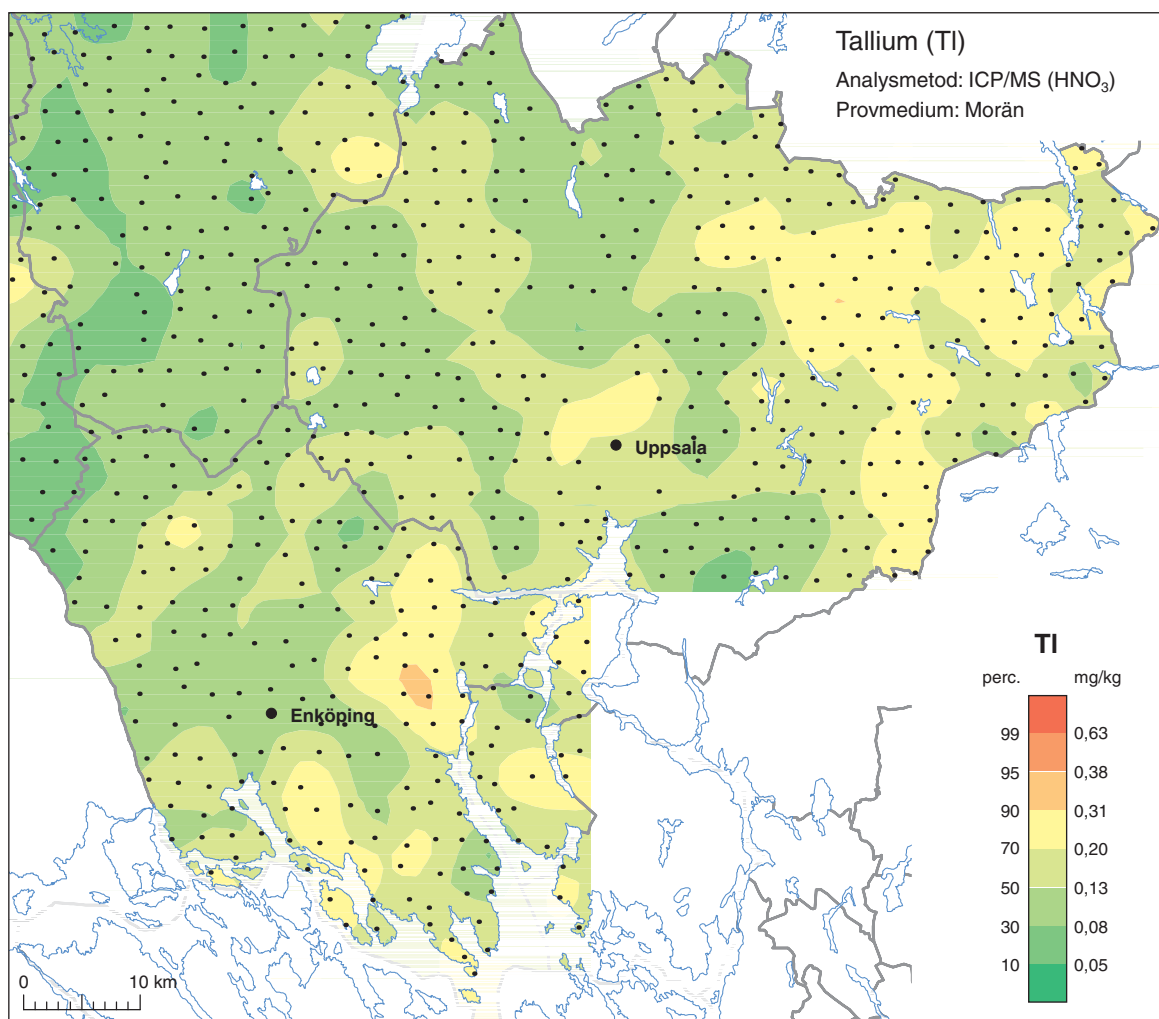


Hos människan förekommer svavel i organiska föreningar och som sulfatjoner. Proteinerna i hår, hud, naglar och brosk har en hög svavelhalt, nödvändig för uppbyggnaden. Behovet tillgodoses genom de svavelhaltiga aminosyrorna i födan. Livsmedel som mjölk, ägg, kött, bröd, bönor, vete och jordnötter innehåller mellan 1 och 8 % svavel. Svavel har också en avgiftande egenskap som hjälper kroppen att bli av med slaggprodukter.

Kartområdets moräner innehåller något lägre totalhalt av svavel än riket för övrigt. Förhöjningen strax norr om Bålsta ansluter till basiska bergarter. Korrelationen är svag med andra element men finns med klor. Svavel är det enda element där man kan räkna med att atmosfärisk påverkan (såväl naturligt som antropogen) har så stor inverkan på de provtagna C-horisonerna att de stör den geologiska bilden.

Tallium (Tl)

Tallium är ett vanligt grundämne i jordskorpan. Det förekommer bland annat i mineralen crooksit, lorandit och hutchinsonit, men egna mineral är sällsynta. Elementet associeras till kalium och rubidium och kan ingå i ett flertal mineral. Tallium uppträder vanligen finfördelat i fältspater och finns i glimrar, men också i sulfider. I störda zoner i pegmatiter och i mineraliseringar med blyglans och zinkblände kan metallen uppträda i mycket höga halter (flera mg/kg). Metallen finns naturligt i olika bergarter, främst i skiffrar, graniter och granodioriter. Innehållet i basiska bergarter är vanligtvis mycket



lågt. Vid vittring är tallium lätttrörligt, men fastläggs effektivt av organiskt material eller adsorberas till lermineral. Tallium mobiliseras av sjunkande pH och kan lätt läcka ut till yt- och grundvatten. Metallen, vars giftighet jämförs med kadmium, metylkvicksilver och bly, tas lätt upp av växter, men upptaget varierar beroende på typ av gröda.

Tallium förekommer i naturliga vattendrag med olika oxidationstal. Vanligast är envärt tallium som förekommer i ytvatten. Trevärt tallium återfinns på större vattendjup (Karlsson 2006).

Det är inte känt om tallium är ett nödvändigt ämne, men miljöanalysdata indikerar att det bioackumuleras i akvatiska organismer. Tallium har spårats i fisk och växter. Såvitt man vet har människan inga behov av tallium, det är enbart toxiskt. Talliumföreningar är mycket giftiga och på grund av att de också är vattenlösliga och saknar smak finns det många exempel på användning i kriminella sammanhang. Det är, precis som arsenik, ett lönnmördargift.

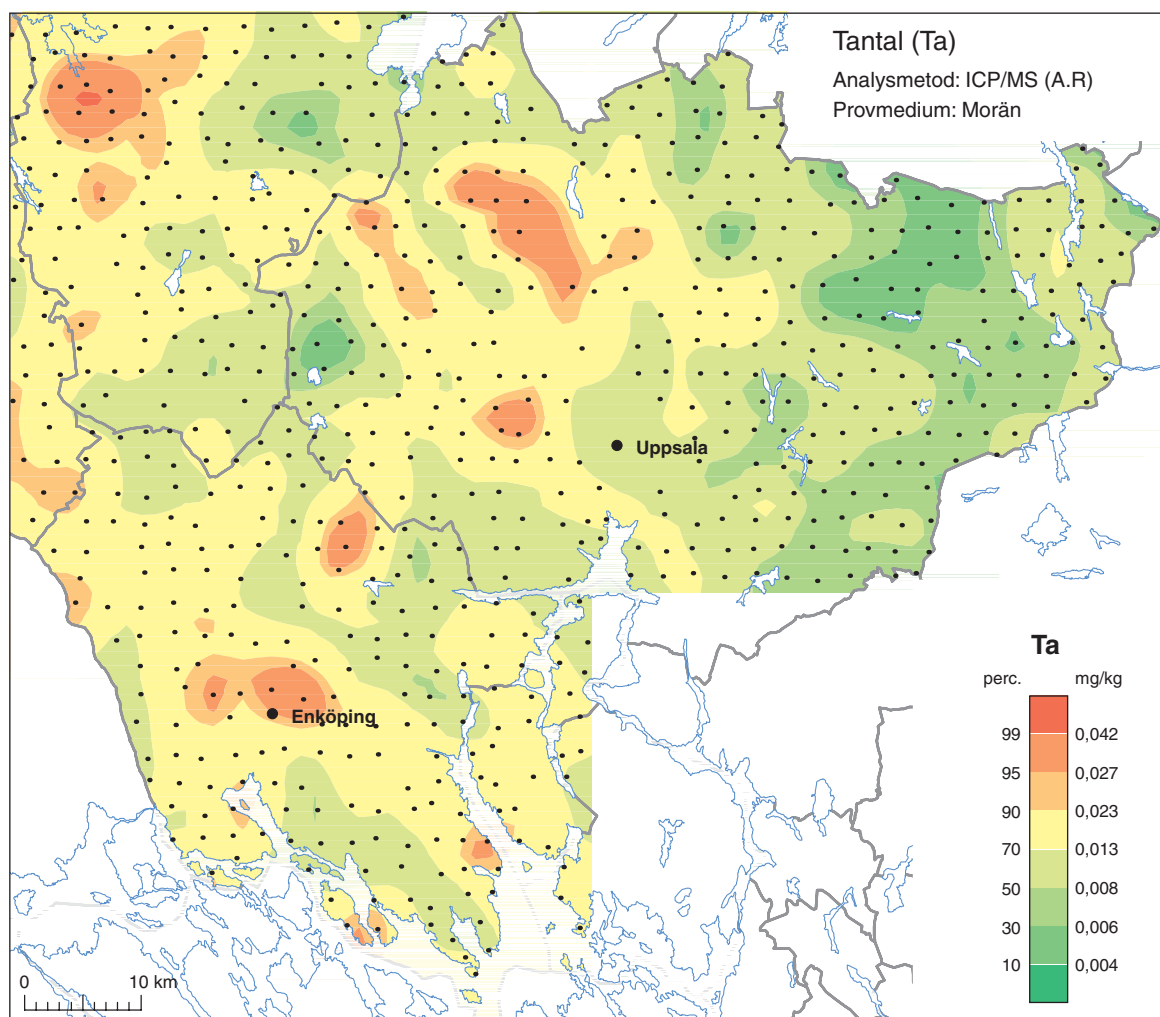
Moränens innehåll av tallium i undersökningsområdet är lågt, medianhalten ligger på samma nivå som i landet i övrigt. Tallium korrelerar med kobolt, koppar, järn, kalium, rubidium, nickel, titan, zink m.fl., där förekomsten av kalium och rubidium kan tyda på ett ursprung i glimmer- och lermineral. Den svaga förhöjning som finns strax nordväst om Bålsta ligger i ett område med sedimentära bergarter, bl.a. gråvacka, som innehåller glimmer och lermineral.

Tantal (Ta)

Spårelementet tantal upptäcktes på 1800-talet i ett mineral från Ytterby stenbrott, på Resarö utanför Vaxholm. Tantal uppträder tillsammans med niob i mineral som tantalit, tapiolit och pyroklor. Sällsynta jordartsmetaller och uran, torium, kalcium och titan kan också finnas tillsammans med tantal. Anrikat påträffas tantal främst i tennmalmer. Andra mineral som kan bära tantal är främst titanit och ilmenit, men metallen kan även ingå i zirkon, biotit och amfiboler. Bland bergarter är det graniter, vulkaniter och gnejser som vanligen har det högsta tantalinnehållet. I vittringsprocesser har tantal låg löslighet. Tantalbärande mineral påträffas ofta anrikade i tungmineralsand. Mobiliteten för metallen är låg i basisk miljö men ännu lägre i sur miljö. I lösning kan dock tantal bindas till organiskt material.

Man antar att tantal inte är ett livsviktigt ämne. Kunskapen är ganska låg om hur metallen uppför sig i levande organismer, det finns dock vissa som ackumulerar tantal. Mycket litet är också känt om tantals effekter på miljön. Den låga lösligheten och rörligheten indikerar låg toxicitet för metallen.

Medianhalten för kungsvattenlakbart tantal i kartområdet är något högre än i riket i övrigt. De förhöjningar som finns inom kartområdet följer områden med graniter. Starkt signifikanta korrelationer med andra element saknas.

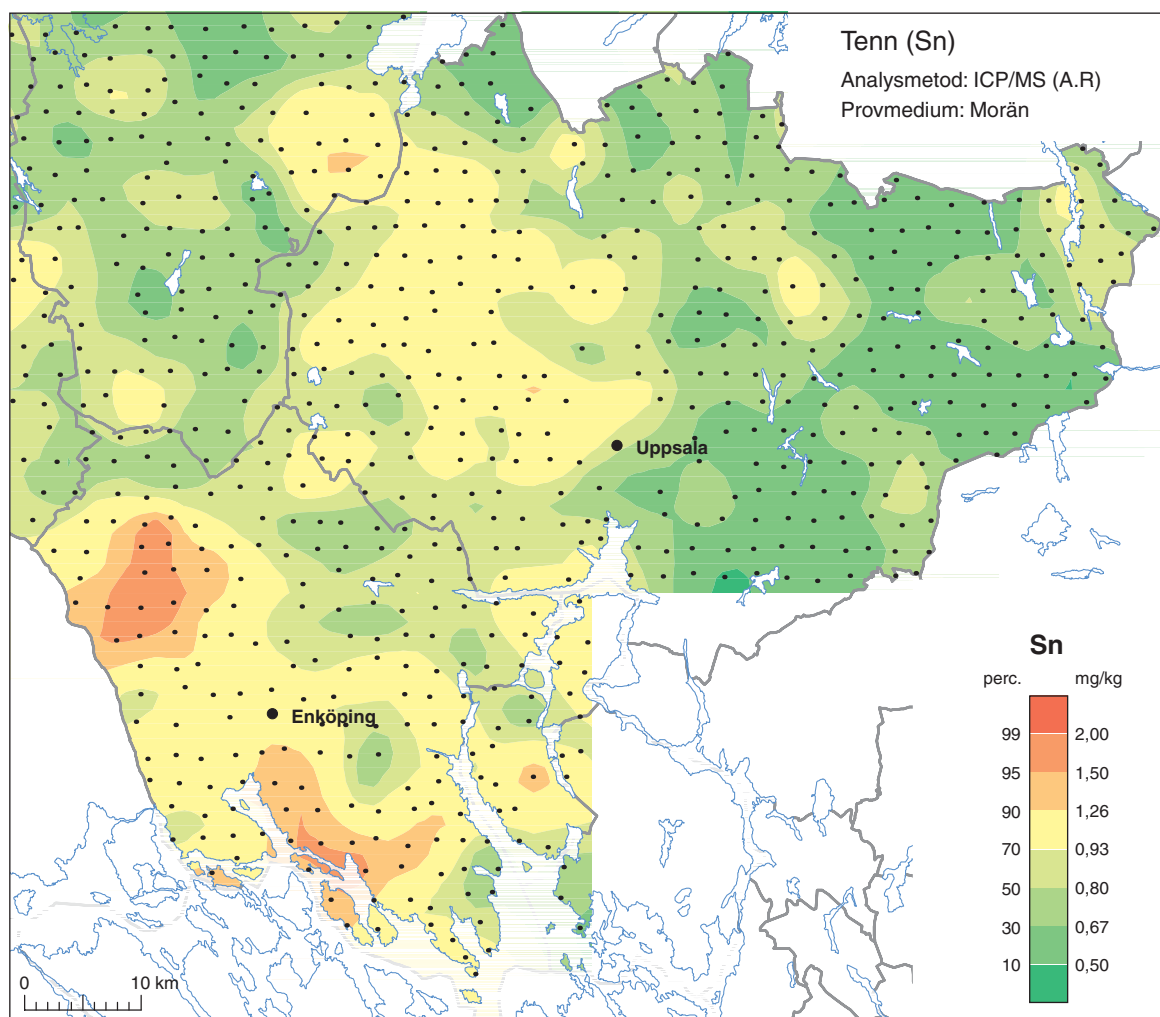


Tenn (Sn)

Spårelementet tenn förekommer med relativt höga halter i skifferar, graniter och granodioriter och med lägre halter i basiska bergarter, sandstenar och kalksten. Tenn kan ingå i mineral som titanit, men förekommer också i mineralform som kassiterit (SnO_2) i högt tempererade malmgångar och i pegmatiter. Metallen uppträder också i greisengångar i vissa graniter. Accessoriska mineral i dessa bergarter kan, förutom kassiterit, vara wolframit, arsenikkis, vismutglans, topas, turmalin, kvarts och glimmer. Tenn kan också till viss del ingå i glimmermineral och amfiboler och metallen kan ersätta titan och järn i titanit, ilmenit, rutil och magnetit. Då det har en tendens att bindas till organiskt material förekommer det också i kol. Vid vittring är tenn inte särskilt rörligt, men kan i sur miljö mobiliseras och binds då åter i sekundära Fe- och Al-föreningar och i lermineral.

Metalliskt tenn är i princip inte giftigt. Inandning av tenn i hög koncentration under längre tid kan ge en godartad pneumokonios. Intag av större mängder tenn, tiondelar av gram, kan ge akut illamående och kräkningar. Organiska tennföreningar är däremot mycket giftiga. De orsakar centralnervös påverkan med symptom som t.ex. krampanfall och hallucinationer. Endast för organiska tennföreningar finns det gränsvärden. De kritiska effekterna är påverkan på det centrala nervsystemet och slemhinneirritation. Det är dock lite känt om tenns förekomst i biologiska media.

Den kungsvattenlakbara halten av tenn i kartområdets moräner är normal jämfört med i landet i övrigt. Förhöjningen i områdets sydvästra del uppträder där det finns sura magmagnetiska bergarter (graniter och vulkaniter). Tenn korrelerar med aluminium, beryllium, järn, litium, magnesium, titan m.fl.

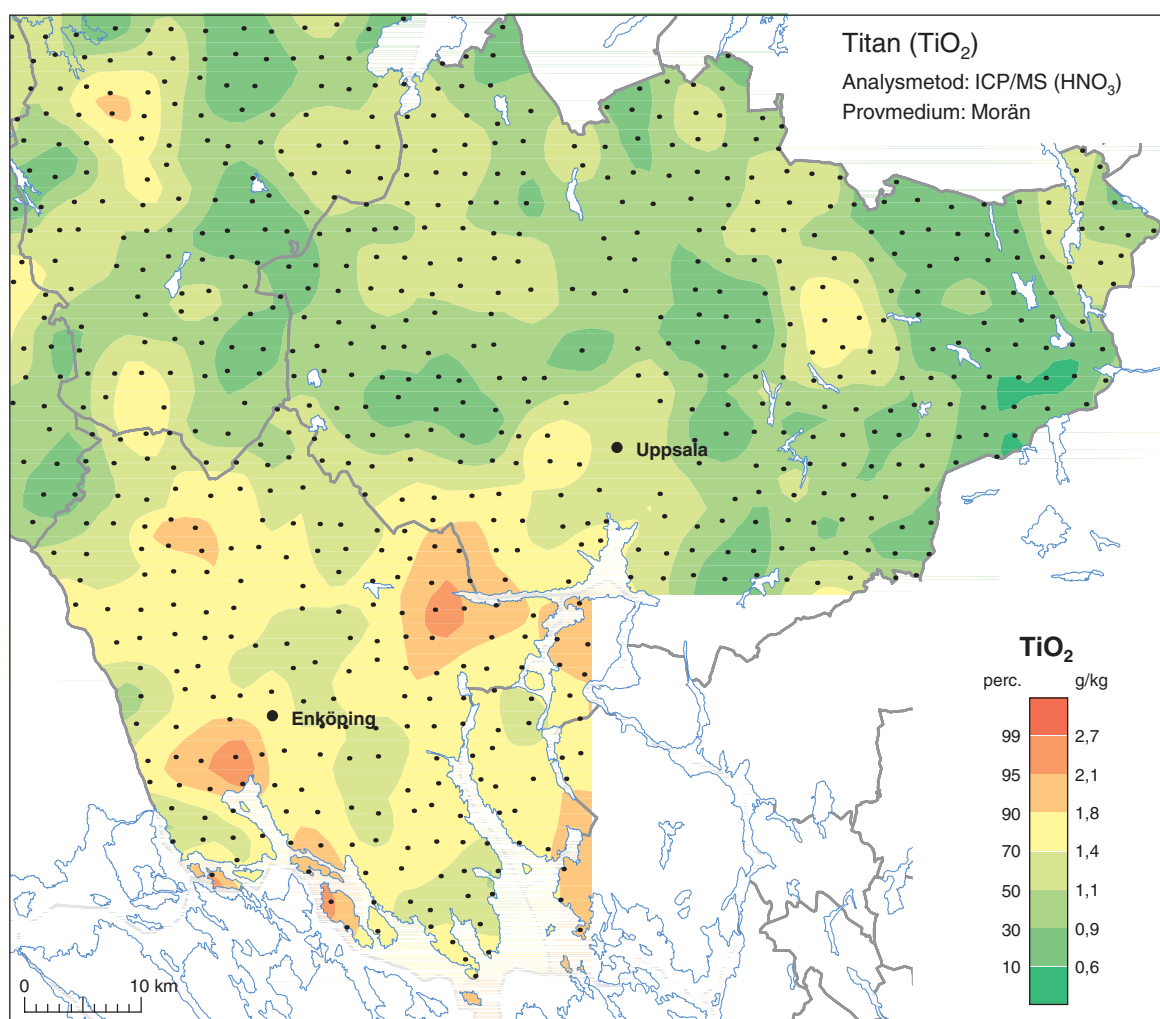


Titan (TiO₂)

Titan förekommer med högst halt i bergarter som gabbro, diorit, vissa graniter samt gråvackor. Elementet uppträder i mineral som titanit, rutil och ilmenit, men förekommer också i glimrar och granater och i mörka, mafiska mineral som amfiboler och pyroxener. Ilmenit uppträder även som lameller i magnetit, vilket gör att titan även förekommer i magnetitförekomster. I vissa pegmatiter och graniter kan titan förekomma tillsammans med uran, torium, fosfor, tenn, wolfram, litium, beryllium m.fl. Titan kan ersätta bl.a. magnesium och järn i kristallgittren och kan uppträda tillsammans med bl.a. mangan, magnesium, järn och vanadin i silikater och sulfider. Elementet förekommer vanligen i mineral som är resistent mot vittring och i vittringsprocesser anses elementet svårslösligt oavsett förekomstform. På grund av den låga mobiliteten anrikas titan därför i markens övre partier vilket har utnyttjats för vittringsberäkningar. Studier har dock visat att metallen kan lakas tämligen effektivt ur titanit, och om titan är biotitbundet lakas elementet till över 50 % (Snäll & Liljefors 2000). Rörligt titan binds dock lätt till lerpartiklar och ju högre lerhalten är desto högre är titaninnehållet (Reimann m.fl. 2003). Titan adsorberas också till järn- och manganoxider.

Titan antas ha en funktion för fotosyntesen och kvävefixeringen och kan ha en positiv effekt på vissa grödor. Någon direkt giftverkan är inte känd. Inhalation kan ge deponering i lungan, men inte lungfibros.

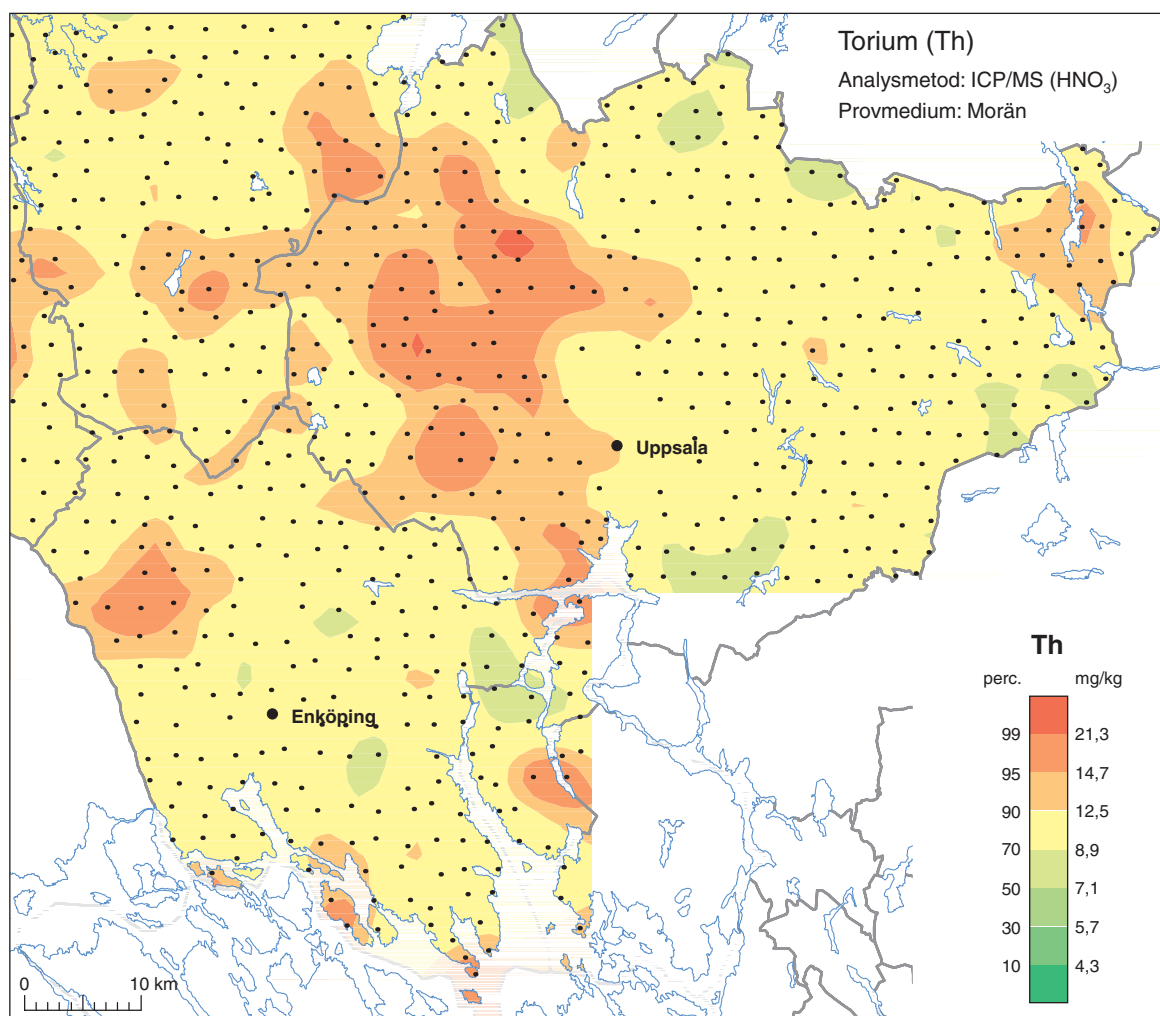
Titanhalten i kartområdets moräner är lägre än i landet i övrigt, något som gäller såväl för totalhalter som för syralakbara halter. Förhöjningen i kartområdet av syralakbart titan visar på elementets närvaro i lättlösliga mineral, såsom glimmermineral, lermineral samt mafiska mineral. En förhöjning



uppträder vid Haga söder om Enköping, där sedimentgnejsens moräner sannolikt är bärare av titan i form av glimmermineral. En annan förhöjning kan ses strax öster om Örsundsbro, vilken uppträder i ett område med gnejsgranit. Titanet kan här ha sitt ursprung i mafiska mineral. Totalhalten av titan korrelerar med aluminium, kobolt, krom, järn, nickel, zink m.fl. Syralakbara halter korrelerar med i princip samma element, dvs. aluminium, kobolt, krom, järn, kalium, litium, nickel, vanadin och zink.

Torium (Th)

Torium är allmänt förekommande i jordskorpan och medelhalten uppskattas till 12 g per ton. Torium är liksom uran radioaktivt och den mest stabila isotopen är torium-232, med en halveringstid på $1,4 \times 10^{10}$ år. Det radioaktiva sönderfallet bidrar till jordvärmen. De viktigaste mineralen är oxiden torianit, silikatet torit och fosfatet monazit. Torium ingår också som accessoriskt element i t.ex. apatit, biotit, epidot, titanit, zirkon, xenotim och uraninit. Torium har liksom uran högre halt i granitiska magmor än i basiska, och har därmed högre halter i graniter, pegmatiter, gnejser och granodioriter än i basiter. Torium är allmänt associerat med kalium och uran och kan exempelvis uppträda i pegmatiter och graniter tillsammans med beryllium, litium, rubidium, uran, zirkonium, sällsynta jordartsmetaller m.fl. Torium finns, till skillnad från uran, även i sedimentgnejs (som har lerigt ursprung) på grund av toriums affinitet till lermineral. I områden med kraftig omvandling kan torium anrikas i uppsmälta partier av sedimentgnejsen.



Torium är svårslösligt under alla förhållanden. Organiska syror ökar lösligheten, men torium faller lätt ut som oxid eller fosfat. Löst torium binds normalt snabbt till lermineral, därmed är torium anriktat i skiffrar och har låga halter i sandstenar och kalkstenar.

De naturligt förekommande toriumföreningarna är extremt svårslösliga och torium har inte någon biologisk funktion. Fyrvärt torium har samma jonradie som kalcium och kan därför ersätta detta ämne i biologiska system; efter intag av torium återfinns det oftast i benvävnad. På grund av sin extrema svårslöslighet utgör torium normalt inte någon kemisk hälsorisk.

Toriumhalten i mark, berg och vatten kan mätas med kemiska analysmetoder och med geofysiska metoder (gammasppektrometer på berghäll och från flygplan). Metoderna korresponderar ganska väl i storskaligt perspektiv, i mindre skala kompletterar de varandra.

Inom kartområdet är toriumhalten i moränerna generellt högre än i övriga riket. Områden med låga halter återspeglar förekomst av gabbroida bergarter. De stora områdena med förhöjda halter, främst mitt i kartområdet, indikerar granitområden samt områden med gnejser och pegmatiter. Torium korrelerar med lantan, yttrium, beryllium.

Uran (U)

Sveriges berggrund är rik på uran. Uran förekommer i de flesta bergarter; medelhalten i jordskorpan brukar anges till 2,7 g/ton. Alunskiffer och olika graniter är kända för sina relativt sett höga uranhalter. Uran uppträder i stort sett i samma bergarter som torium och båda elementen är radioaktiva. Uran har tre naturligt förekommande isotoper, av vilka uran-238 är vanligast (99 %). Halveringstiden för uran-238 är $4,5 \times 10^9$ år.

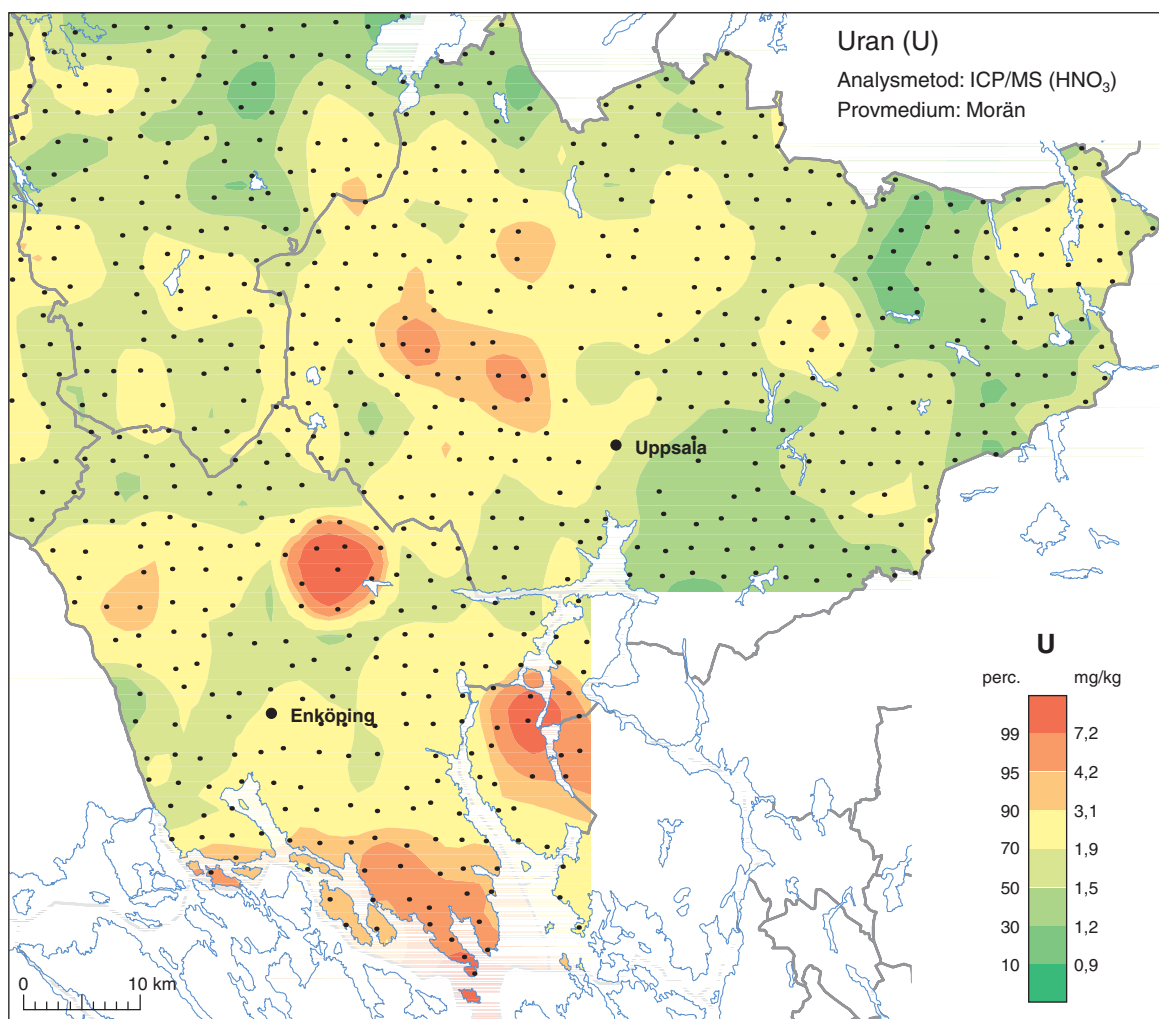
Uran bildar ett flertal egna mineral, bland dessa kan nämnas pechblände (UO_2). Associerat med pechblände kan kassiterit, pyrit, kopparkis, arsenikkis och blyglans förekomma. Uranförande mineral som uraninit (kristalliserad form av pechblände), apatit och allanit (ortit) kan uppträda bl.a. tillsammans med monazit, zirkon och turmalin. Sura magmor (som bland annat bildar graniter) har generellt högre uranhalter än basiska (som bildar t.ex. gabbro och diabas). Pegmatiter bildas ur restlösningar från granitmagmor, dvs. det som är kvar när det mesta av magman stelnat. I dessa restlösningar är grundämnen som inte riktigt passar in i de vanligaste mineralen koncentrerade, t.ex. uran. Därmed är uran anriktat i graniter och pegmatiter. Uran kan koncentreras vid metamorfos och finns ibland anriktat i skarnbildningar och gnejser.

Uran binds till organiskt material och lerpartiklar och är därmed koncentrerat i svarta skiffrar, som den svenska alunskiffern. Uran binds också till järnoxider och fosfater, men allra störst betydelse för uranets mobilitet har pH-värdet. Till skillnad från de flesta metaller är uran mer lösligt under oxiderande förhållanden och i karbonatrika vatten med högt pH, än i sura, reducerande vatten. Sexvärt uran, som är det vanliga i oxiderande förhållanden, förekommer i sur lösning som uranyljon, UO_2^{2+} . Vid högre pH bildas lösliga komplex med karbonat.

Uran i löslig form (som i vatten) tas upp i mag-tarmkanalen, distribueras till blodkroppar, njure och skelett samt utsöndras i urinen, och troligen också i hår. I skelettet är halveringstiden i storleksordningen år. Därför sker en långsiktig ackumulering och ett "steady state"-tillstånd når man först efter decennier. Eftersom uran frisätts från skelettet i samband med att skelettet ombildas kommer halten i njurarna att öka under motsvarande tid. Utöver att metallen i sig är toxisk, är uran mer känt för en av sina sönderfallsprodukter – radon.

Under åren 1965–1969 (och i försöksverksamhet fram till 1981) anrikades svensk uran vid Ranstadsverket. Under ett tjugotal år bedrevs ingen prospektering för uranbrytning i Sverige, men den har sedan 2005 återupptagits.

Uranhalten i mark, berg och vatten kan mätas med kemiska analysmetoder och med geofysiska metoder (gammasppektrometer på berghäll och från flygplan). Metoderna korresponderar ganska väl i ett storskaligt perspektiv, i mindre skala kompletterar de varandra. Mätning direkt på berghäll och



analys av moränprover är de metoder som enbart ger de naturliga uranhalterna. Med övriga metoder kan man också fånga upp antropogena effekter (Andersson m.fl. 2007). Vid SGU används markgeokemiska och geofysiska metoder för att kartlägga uranhalter i (den ytliga) berggrunden, morän och sediment (på 0,6–1 m djup), biogeokemiska metoder för uran i rinnande vatten samt kemisk analys av grundvattnet. Det senare tas dels från grundvattenrör, dels i form av dricksvatten från tappkran. Även naturliga källor i Sverige kommer att analyseras, främst inom miljöövervakningens program.

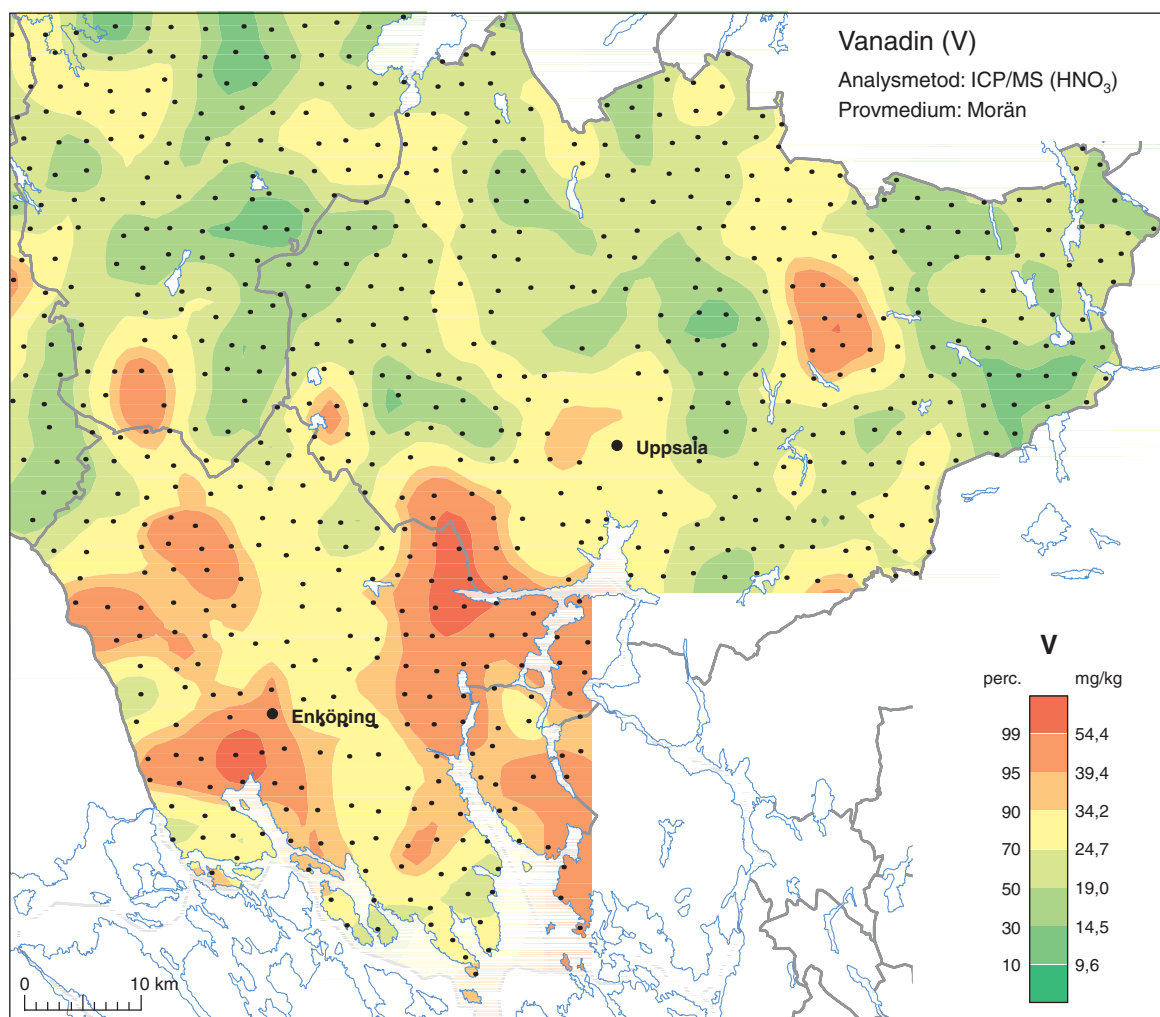
Medianhalten för syralakbart uran är högre i kartområdet jämfört med i landet i övrigt. Uran korrelerar väl med yttrium och selen, och svagt med beryllium och torium. Sammantaget indikerar detta ett granitiskt ursprung med inslag av pegmatiter. Man kan säga att innehållet av uran i områdets moräner associeras till inslaget av det granitiska bergartsmaterialet i undersökningsområdet. Kartor från SGUs flygburna radiometrisk kartläggning visar ingen förhöjning liknande den som syns på kartan strax väster om Örsundsbro.

Vanadin (V)

Vanadin förekommer med de högsta halterna i basiter och i skiffrar med organiskt innehåll, medan kiselrika bergarter har de lägsta halterna. Metallen har också hittats i en del meteoriter. Man har funnit vanadin i mer än 65 olika mineral av vilka carnotit, roscoetit, vanadinit och patronit är de viktigaste. Vanadin hittas i en del järnmalm och förekommer också i komplexa organiska föreningar i råolja. Pyroxener, amfiboler, glimrar, magnetit och apatit kan alla bära vanadin. Vid vittring kan metallen bilda lättlösliga föreningar men kan också fällas ut och förekomma i svårlösliga former. Vanadin och järn kan lätt byta ut varandra i järnoxider och lermineral.

Vanadin påverkar många viktiga enzymsystem i kroppen, vilket vid överdosering innebär risk för fysiologisk obalans. Detta kan i sin tur resultera i en hälsomässig påverkan. Enligt den amerikanska Recommended Daily Allowances (1989) är det näringsmässiga behovet av vanadin mycket litet, om det över huvud taget existerar. Det finns inga klara bevis för att vanadin skulle vara essentiellt (livsnödvändigt) för människor. Det finns ett stort behov av ytterligare studier avseende hälsorisker med vanadinföreningar.

Såväl syrlakbara halter vanadin som totalhalter (avseende medianvärdet) är högre i kartområdet jämfört med i landet i övrigt. En tydlig förhöjning syns vid Örsundsbro i ett område med basiska bergarter. Även vid Enköping finns basiska bergarter som ger förhöjda halter. Lågt vanadininnehåll indikerar områden med graniter och sura vulkaniter. Vanadin korrelerar med järn, aluminium, kobolt, krom, koppar m.fl.

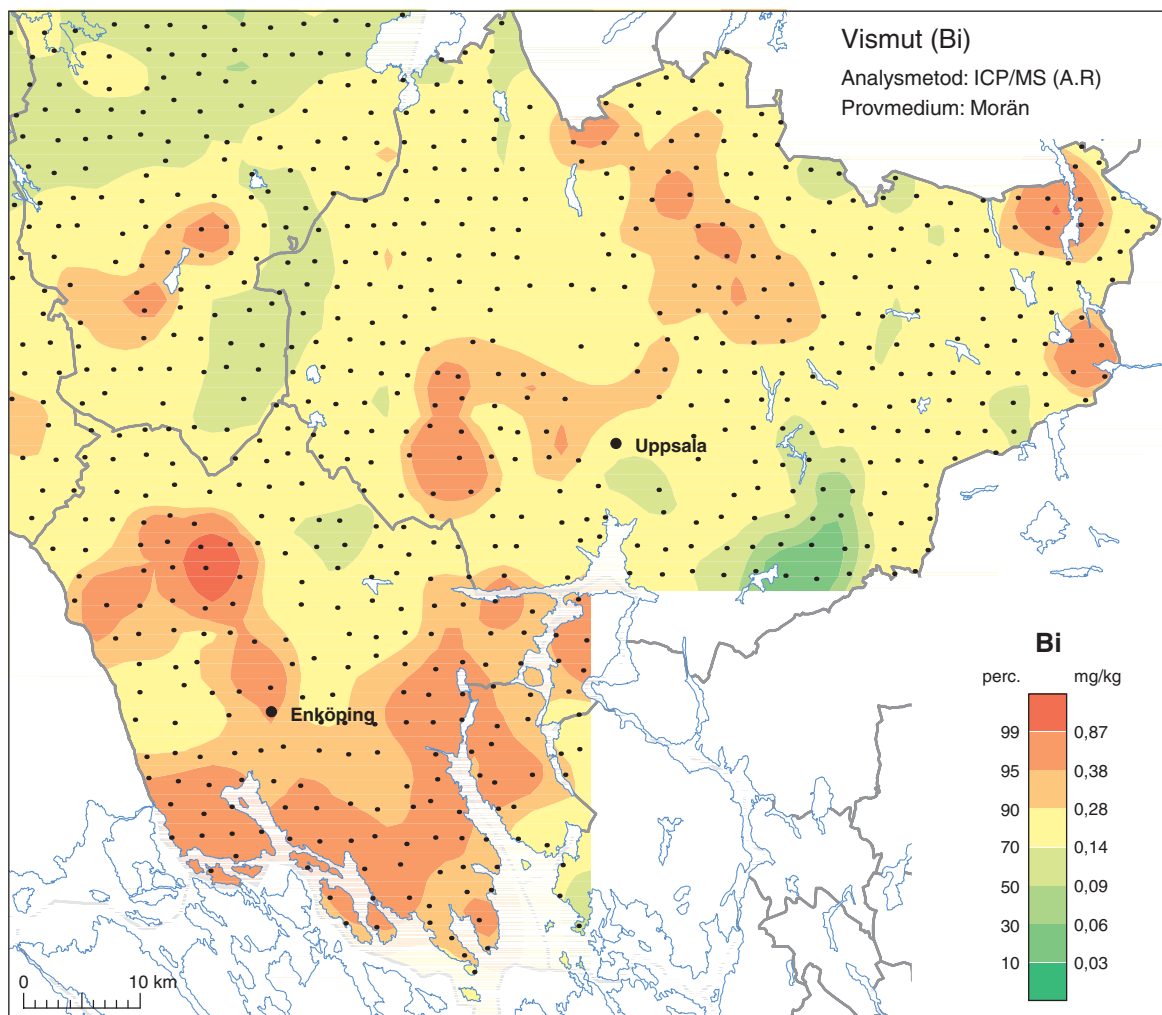


Vismut (Bi)

Vismut är det minst vanliga av kvävegruppens element. Sedimentära och magmatiska bergarter kan innehålla vismut och metallen förekommer vanligtvis anrikad i glimmerrika bergarter och i kol. Skifferar och graniter har ofta högre vismutinnehåll än kalkstenar, sandstenar och basiter. Världmineral för vismut kan vara apatit, blyglans, zinkblände m.fl. Vismut kan ersätta bly och yttrium i magmatiska processer och kan också ersätta kalcium i apatit. Vismutmineral är inte särskilt vanligt förekommande, men några exempel är vismutglans, Bi_2S_3 , bismut, Bi_2O_3 och vismutspat, $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$. I mineraliseringar är vismutglans ofta associerat med magnetit, pyrit, kopparkis, zinkblände och blyglans. Vismut kan påträffas i tenn- och wolframmalmer och i hydrotermala gångar tillsammans med guld, silver, nickel, kobolt och bly. I Europa finns de största vismutfyndigheterna i Tyskland och Spanien. Geokemiskt liknar vismut fosfor, arsenik och antimon. Vismut är inte särskilt mobilt och som karbonat relativt stabil. Vid vittring oxideras metallen snabbt, men väl i lösning kan vismut åter bindas till järn- och manganhydroxider och till organiskt material.

Vismut räknas inte som essentiellt för människan. Inte heller anses det vara toxiskt, även om det finns enstaka rapporter om motsatsen. Läkemedel innehållande vismut har tidigare använts i Sverige mot vissa mag-tarmsjukdomar, men på grund av risken för biverkningar på framför allt nervsystemet är inget sådant preparat numera godkänt.

Halterna av vismut är generellt lägre i kartområdet än i landet i övrigt. En del av förhöjningarna i kartområdet följer kända mineraliseringar, t.ex. vid Fjärdhundra, vilket indikerar att vismut till viss del följer sulfidelement.

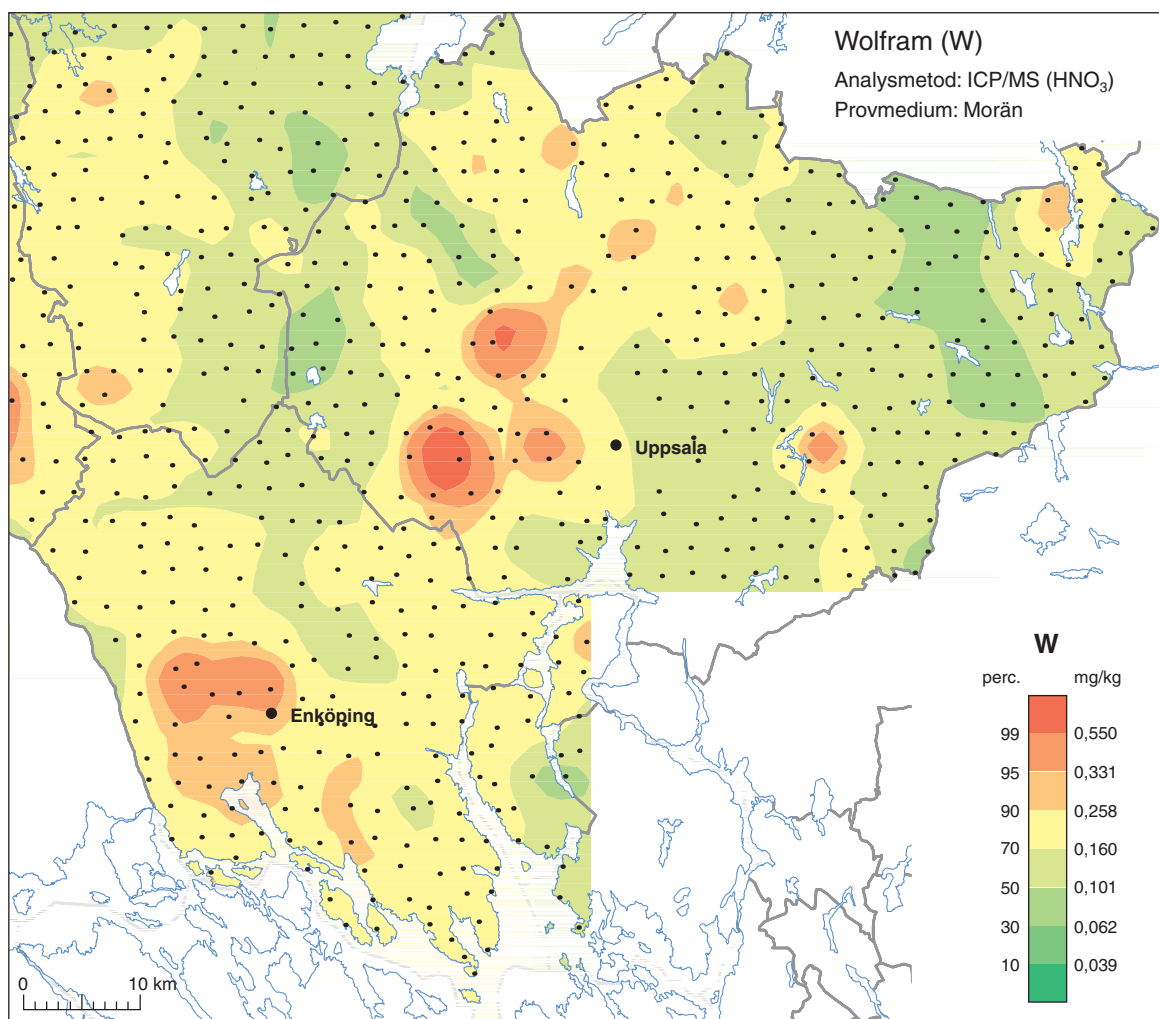


Wolfram (W)

Wolfram är ett relativt sällsynt grundämne i jordskorpan. Wolfram förekommer med högsta halter i graniter och skiffrar. Metallen finns inte i gedigen form i naturen. Den förekommer huvudsakligen i förening med syre som wolframater i ett 20-tal mineral. De viktigaste är scheelit, CaWO_4 , och wolframit, $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$. I wolframit förekommer metallen i kvartsgångar och pegmatiter associerade till graniter. Mineralen åtföljs ofta av kassiterit, arsenikkis, turmalin, scheelit, blyglans, zinkblände och kvarts. Scheelit kan påträffas i pegmatiter och hydrotermala gångar och med accessoriska mineral som kassiterit, molybdenglans, fluorit och topas. Vid vittring under alkaliska förhållanden kan wolfram bli mobilt och adsorberas till sekundära manganoxider och leror.

Wolfram räknas till bioelementen men var troligen vanligare i levande system under livets tidigare utvecklingsstadier. Nu finns metallen i enzymer hos vissa anaeroba bakterier som lever vid höga temperaturer. Wolfram är troligen inte livsnödvändigt för människan.

Medianhalten för syralakbart wolfram skiljer sig obetydligt från riket i övrigt. Äldre graniter samt vulkaniter tycks ge de högsta halterna i områdets moräner, men även mineraliseringar ligger i närheten av vissa förhöjda halter. I området strax väster om Enköping finns inga kända malmkroppar utan det är sannolikt genomslag av granitoider och vulkaniter i moränen som åstadkommer de högre halterna av wolfram.

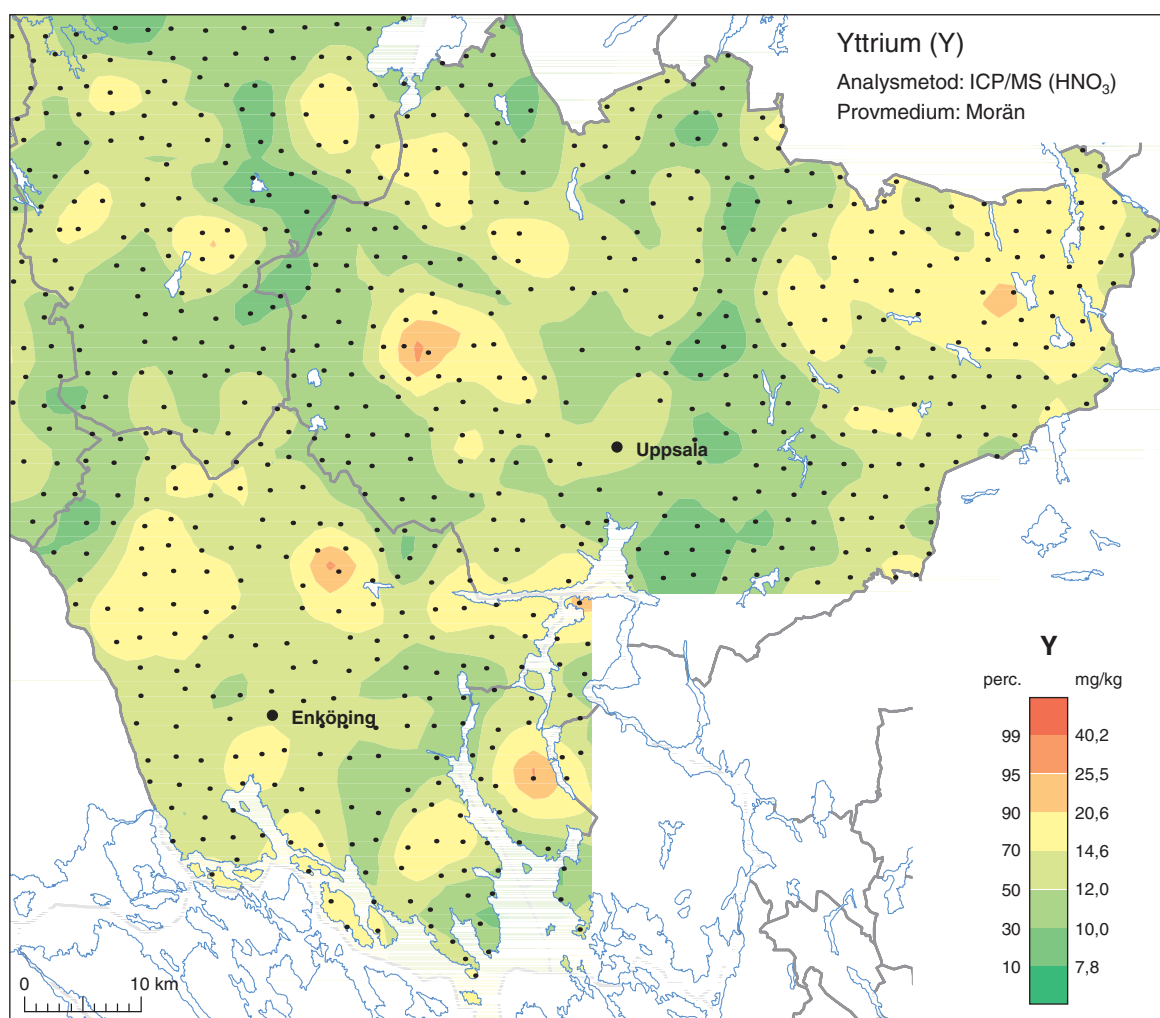


Yttrium (Y)

Yttrium förekommer i jordskorpan i samtliga lantanidmineral och är ungefär lika vanligt som lantan. Spårelementet yttrium finns i stort sett i alla bergarter, men med högre halter i kiselrika djup- och ytbergarter, såsom graniter och granodioriter, samt i skiffrar. Typiska yttriummineral är monazit, bastnäsit och xenotim, men vanligare är andra värdmineral som apatit, fältspater, biotit och pyroxener. I exempelvis pegmatiter kan yttrium förekomma tillsammans med ett flertal element, bland dessa kan nämnas uran, torium, rubidium, zirkon, beryllium och sällsynta jordartsmetaller. Yttriummineral är svårvittrade, men då metallen även förekommer i andra typer av mineral lakas den ut och adsorberas därefter lätt till järnföreningar och till lermineral. Yttrium bildar också karbonater i alkalisk miljö.

Biokemiskt kan yttrium ersätta kalcium, och vissa växter har en förmåga att ackumulera metallen. Yttrium räknas som icke essentiellt för människan. Toxiciteten är låg, men inandning kan ge lungskador och även skada levern om det ackumuleras i kroppen.

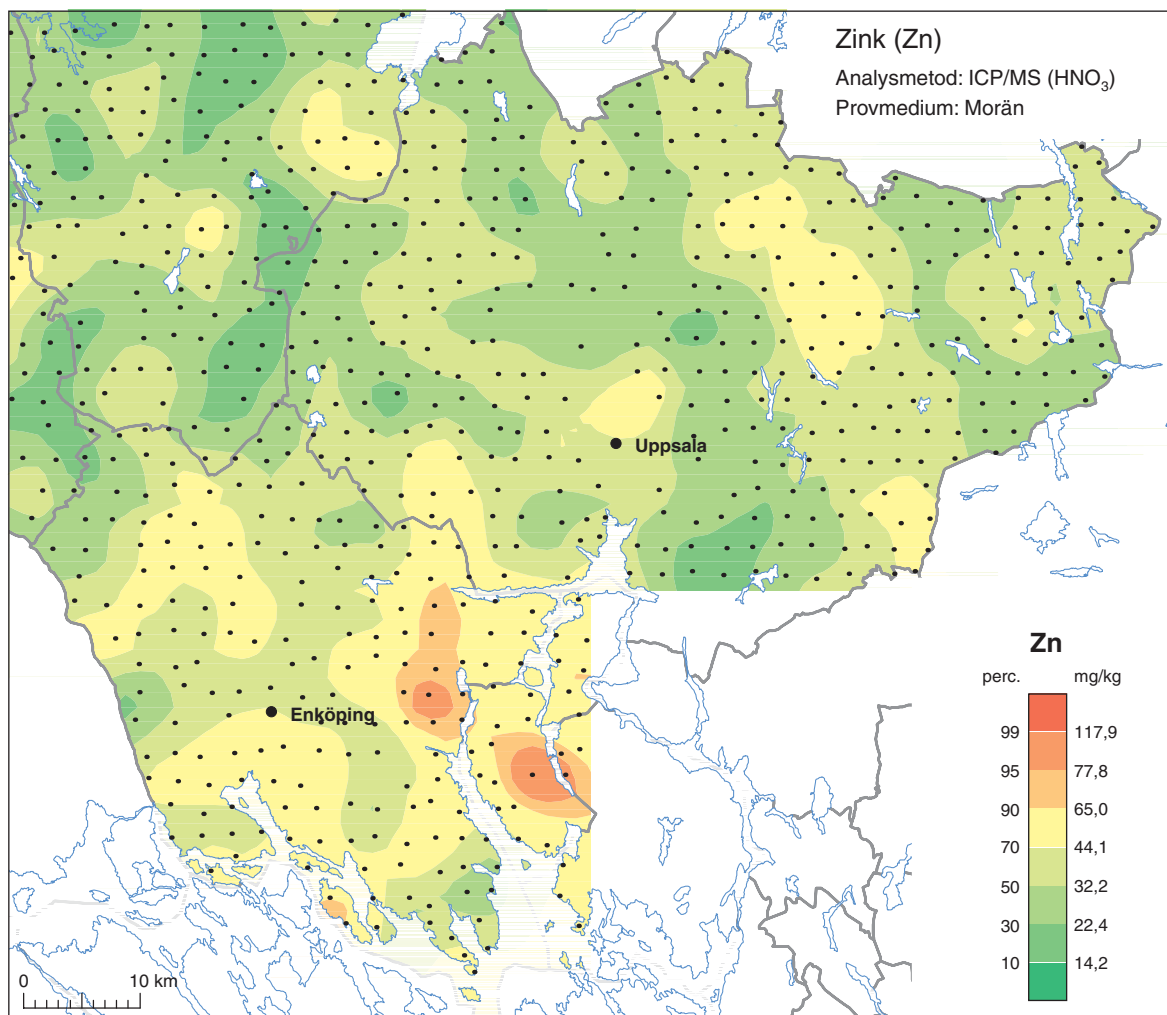
Halten för yttrium ligger i kartområdet något över halten för riket. Korrelationen med t.ex. lantan och torium visar att yttrium väsentligen uppträder i graniter och pegmatiter.



Zink (Zn)

Jordskorpan medelhalt av zink är tämligen låg. Det genomsnittliga innehållet av zink hos magmatiska bergarter i den åtkomliga delen av jordskorpan är 45–80 g/ton. Hos de sedimentära bergarterna är variationen större beroende på karaktären hos det ursprungliga sedimentet. I basiska bergarter och skiffrar återfinns oftast de högsta zinkhalterna. Metallen uppträder främst i olika silikater. Jonradien hos zink ligger tämligen nära järn(II) och magnesium(II). I viss utsträckning kan därför zink ersätta järn och magnesium i mineralens kristallgitter. Pyroxener, amfiboler, granater, magnetit och glimrar är mineral som kan vara zinkbärare och i biotit kan zinkhalterna bli mycket höga. Det viktigaste zinkmineralet är zinkblände eller sphalerit, ZnS . Zinkblände uppträder ofta i järnsulfider och tillsammans med följeslagaren blyglans och med andra sulfidmineral med koppar, kobolt och kvicksilver. Geokemiskt är zink associerat med kadmium. Vid vittring är zink lätttrörlig i sur miljö, men kan bindas bl.a. till lermineral och organiska komplex.

Nivån på zinkhalten i jordar beror i största utsträckning på det minerogena ursprungsmaterialet. Jordar som härstammar från basiska magmatiska bergarter håller höga zinkhalter medan jordar som kommer från mer kiselsyrarika jordar är påfallande zinkfattiga. Zink är i mycket små halter nödvändig för både växter och djur. Zinkbrist hos vegetationen är sällsynt, men kan förekomma på nära neutrala eller basiska jordar eftersom markens zinkföreningar förlorar sin tillgänglighet vid stigande pH-värden och zinken faller ut som hydroxid. Hos däggdjuren ingår zink i ett flertal enzymer och i bukspottkörteln medverkar zink i produktionen av insulin. Zink anses också förbättra vår immunitet mot ett antal sjukdomar. Zinkbrist kan leda till försämrad sårhäkning och hårfall.

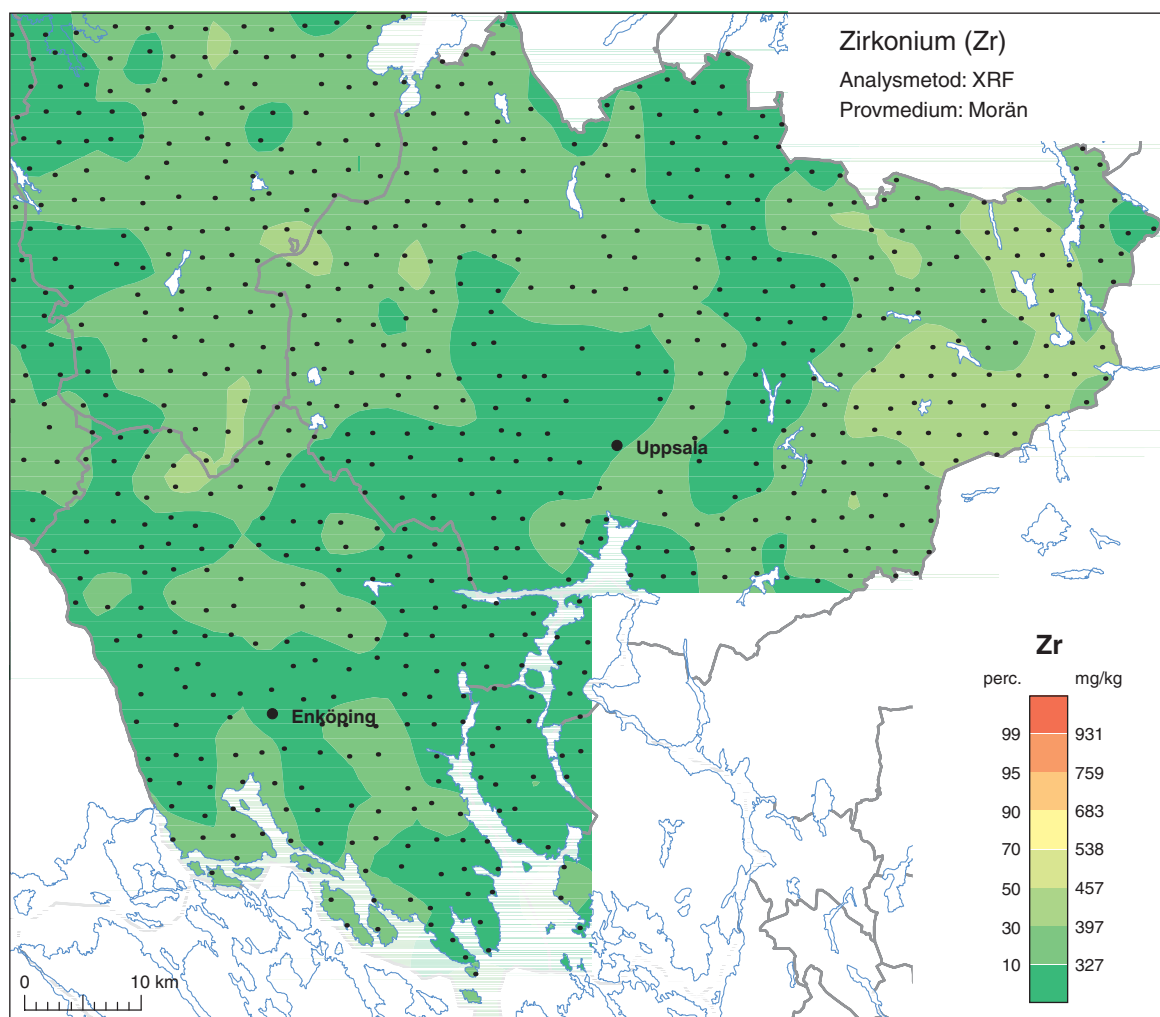


I jämförelse med riket i övrigt är halten av zink högre i kartområdet, vilket gäller såväl totalhalt som syralakbar halt. Det finns förhöjda, om än måttligt, halter i anslutning till kända mineraliseringar, t.ex. vid Nickbogruvorna strax öster om Runhällen. De förhöjda halter som finns väster om Bålsta kan knytas till de sedimentära bergarterna i området. Zink korrelerar med aluminium, järn, kadmium, kobolt, krom, koppar, nickel m.fl.

Zirkonium (Zr)

Zirkonium förekommer med måttlig medelhalt i jordskorpan men är vanligare än t.ex. nickel, zink och koppar. Elementet zirkonium förekommer främst i det vittringsresistenta mineralet zirkon, ZrSiO_4 , och är knutet till kiselrika bergarter som sandsten, graniter, granodioriter och vanligen också i pegmatiter. Eftersom zirkon är mycket vittringsbeständigt återfinns mineralet i den tyngsta fraktionen av många sand- och sedimentavlagringar, s.k. placers. Zirkonium kan ingå i titanit och kan också påträffas i pyroxener, glimrar, rutil m.fl. Zirkonium uppträder även i omvandlade bergarter, exempelvis gnejser, där äldre led vanligtvis har högre halter av zirkonium än motsvarande yngre led. Basiska bergarter har normalt lågt innehåll av elementet. Zirkonium anrikas i omvandlingsprocesser såväl hos bergarter som vid kvartära vittringsprocesser i marken. Mobiliteten av zirkonium är mycket låg. Från järn-magnesiumsilikater är lösligheten större och löst zirkonium kan åter bindas till leror.

Zirkonium har ingen känd biologisk roll och anses inte heller nödvändig för människan. Dess hälsoeffekter är inte kända, inte heller toxiciteten. På lång sikt kan det vara carcinogent då zirkonium är en av de långlivade radionuklider som ingått i kärnvapentester.

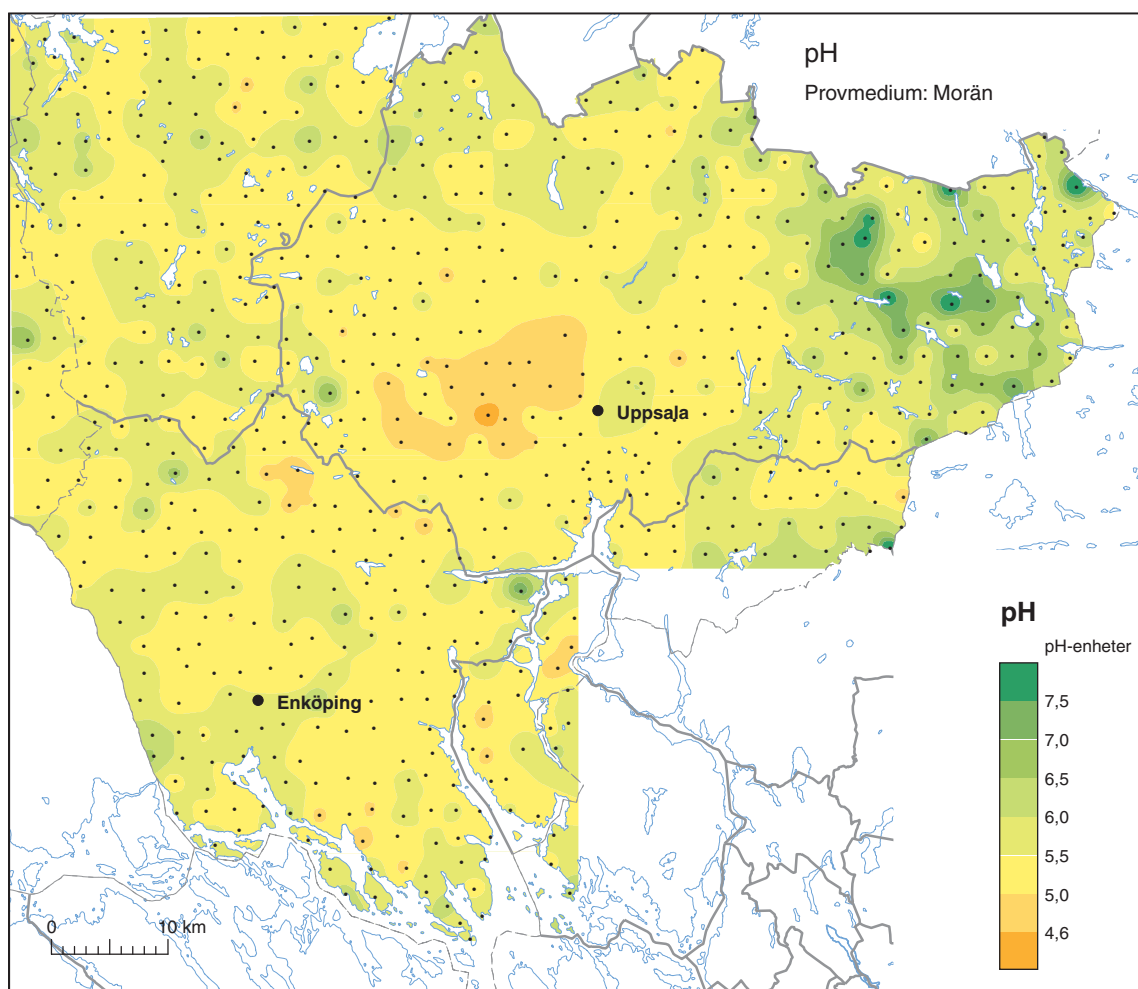


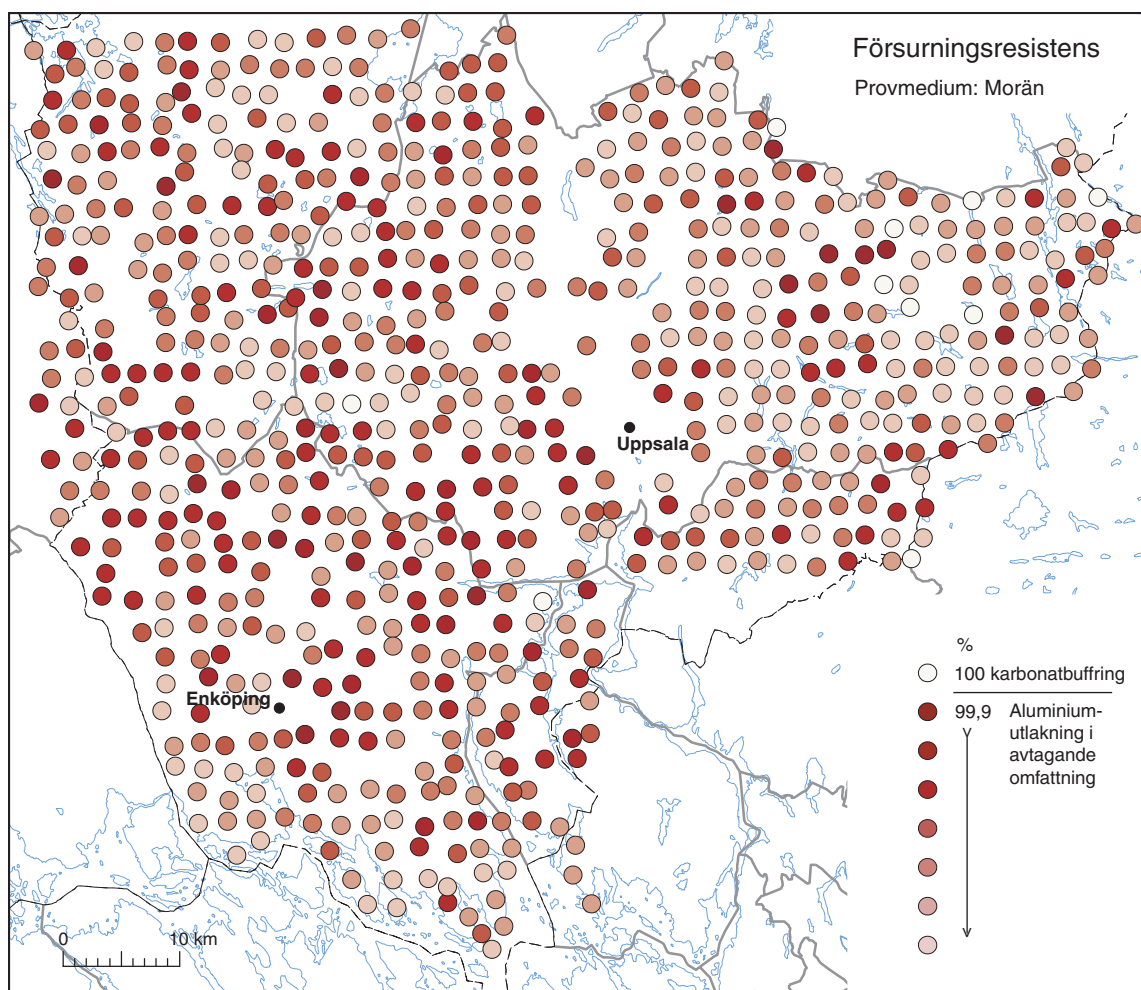
Medianvärdet för totalhalten zirkonium i undersökningsområdet kommer bara upp i ca 80 % av rikets medianvärde. Zirkonium korrelerar svagt med natrium, förhöjda halter sammanfaller generellt med områden där graniter dominerar.

pH och försurningsresistens

Av områdets 698 pH-mätta prover har 25 st pH-värden högre än eller lika med 7,0 i finfraktionen, dvs. $\leq 0,063$ mm. 480 av 698 prov eller 69 % har ett pH som ligger mellan 5 och 6. Medianvärdet är lika för kartområde jämfört med landet i övrigt, pH 5,4. Högst pH finns i områdets östra del, vilket troligen har sitt ursprung i att en del kalkrika marina sediment och kalksten har plockats upp av inlandsisen. Övriga områden med relativt högt pH återfinns normalt i områden med större inslag av basiska bergarter.

Även försurningsresistensen är 100 % i det östra området vilket tyder på att karbonatbuffring råder. 100 % karbonatbuffring är kopplad till lättlöslig kalk och återfinns i totalt nio punkter inom undersökningsområdet. För att beräkna försurningsresistens används pH-värden från surgjorda prover. I undersökningsområdet finns viss korrelation mellan pH_{syra} och lakbarheten för aluminium. Om kalciumkarbonat inte förekommer är det bland annat närvaro av lättlösliga aluminiummineral som dominerar vid markens reaktion på vätejoner. Som bieffekt löses dock aluminiumjoner ut till vatten-systemen.





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. So far, including the present study, more than 190 000 square kilometres have been covered with systematic sampling in a wide net where one sample represents six square kilometres (equals 15 samples per 100 square kilometres).

The main objective of the programme is to quantify regional variations in glacial drift composition in order to provide data for use in environmental research, agriculture, forestry, veterinary and human medical research (medical geology) as well as mineral exploration. The objective includes the assessment of the sensitivity of the terrain to the effects of acid rain. For these purposes two sets of characteristics in glacial till are determined:

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

The bulk of the collected material is sampled from normal sandy or sandy-silty till. Clays and to a minor extent silt and coarse sediments are also included in the sampling programme. A general sampling net is plotted in advance on topographic maps with maps of Quaternary geology 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 one metre below surface. After freeze-drying, the samples are sieved to <0.063 mm and analysed for trace, major and minor elements by X-ray fluorescence for total contents. Partial leaching in Aqua Regia and nitric acid (7M HNO₃) combined with ICP-MS is also used. 16% of the till-samples, clays and other sediments are analysed on the <2 mm fraction, and only by means of partial leach and ICP-MS. Approximate calcium carbonate contents are determined by using hydrochloric acid. pH is determined in a suspended solution based on a four gram sample (<0.063 mm) in 20 ml distilled water.

Additional details regarding the geochemical mapping programmes, including biogeochemical mapping at SGU, are available from Lax & Selinus (2005).

The area of the present investigation covers the eastern part of Sweden just north of Stockholm. The area encompasses approximately 5 100 square kilometres including parts of three counties: the County of Västmanland, the County of Uppsala and a small part of the County of Stockholm. The bedrock is dominated by metamorphosed granites and granodiorite with subordinate rocks of mafic or – to a smaller extent – carbonatic composition.

The investigated area is covered by a combination of glacial drift (till) and fine-grained sediments. Other Quaternary deposits (such as clays and silt) are collected when it is not possible to collect till. The direction of the ice flow usually displays a movement from the north–north-west. In the area, most of the till is interpreted as fairly local, with transport distances up to some kilometres. In some areas, however, it is possible that transport distances of the till may be longer. That, as well as locally complex till stratigraphy, are complicating factors when trying to interpret the influence of local bedrock on the till geochemistry.

The regional pattern of elements in the studied area shows features from underlying bedrock, including mineralizations. The mineralizations often occur in recrystallized rocks of volcanic origin. Geochemical till anomalies reflect mineralizations, sometimes as multielement anomalies with e.g. lead, zinc, bismuth or copper. A small mineralization with silver and lead is situated in the western part of the studied area, some five to ten kilometres east of Runhällen. Weak or small mineralizations with pyrite, galena, silver, sphalerite and bismuth minerals as well as copper minerals occur in the area.

Tills sometimes contain high levels of elements that, if mobilized, can affect water systems. In the investigated area some slight increase of arsenic, bismuth, nickel and tungsten can be found. Higher values have been located in the areas with naturally originated arsenic in tills, for example around Enköping. This can be a guideline for risk assessment concerning drinking water.

REFERENSER

- 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.
- Andersson, M., 2006: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment från Varberg till Lidköping. *Sveriges geologiska undersökning K 45*, 168 s.
- Berglund, M., Ek, B.M., Thunholm, B. & Lax, K., 2005: Nationell kartläggning av arsenikhalt i brunnsvatten samt hälsoriskbedömning. *Resultatrapport till Naturvårdsverket 2005-06-10. Kontrakt nr 215049*.
- Birke, M. & Rauch, U., 2000: Urban geochemistry: investigations in the Berlin metropolitan area. *Environmental Geochemistry and Health* 22, 223–248.
- Bringmark, L. & Bringmark, E., 2001: Soil respiration in relation to small-scale patterns of lead and mercury in mor layers of Southern Swedish forest sites. *Water, Air and Soil Pollution: Focus 1*: 395–408.
- 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.
- Enghag, P., 1998–2000, Jordens grundämnen del 1, 1998, del 2, 1999 och del 3, 2000. *Industrilitteratur*.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R., 1997: Tillståndet i svensk åkermark. *Naturvårdsverket Rapport 4778*, 59 s.
- IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2001: *Spridning av metaller i vägtrafik*.

- IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2002: *Antimon i Sverige – användning, spridning och miljöpåverkan*.
- Karlsson, U., 2006: *Environmental levels of thallium*. Doctoral dissertation Örebro University.
- Karppanen, H., 2002: Epidemiological studies on the relationship between magnesium intake and cardiovascular diseases. The Magnesium Web Site, www.mgwater.com/estudies.shtml.
- Kornfält, K.-A., Andersson, M., Daniel, E. & Persson, M., 1996: Kadmium i marken i sydöstra Skåne. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 82, 36 s.
- Kujala, U., 2000a. Radon i bostäder. Läget i Stockholms län. *Länsstyrelsen i Stockholms län – Rapport 2000:4*.
- Kujala, U., 2000b. Radon i dricksvatten. Läget i Stockholms län. *Länsstyrelsen i Stockholms län – Rapport 2000:5*.
- Kurttila, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J., Mäkeläinen, I., Väisänen, S., Penttilä, I. & Komulainen, H., 2002: Renal effects of uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 110:4.
- Lax, K., 2005. Stream plant chemistry as indicator of acid sulphate soils in Sweden. *Agricultural and Food Science* 14, 83–97.
- Lax, K., 2005: *Environmental applications of biogeochemical data from Geological survey of Sweden*. Licentiate Thesis, Lulea University of technology.
- Lax, K. & Selinus, O., 2005: Geochemical mapping of the Geological Survey of Sweden. *Geochemistry. Exploration, Environment, Analysis*, 5 (4), 337–346.
- Lax, K. & Andersson, M., 2009: *Geochemical baseline levels and suggested local guideline in urban areas in Sweden*. Manuskriptet godkänt för boken "Mapping the chemical environment of urban areas". John Wiley & Sons.
- Lithner & Holm, 2003, Nya metaller och föroreningar i svensk miljö. *Naturvårdsverket Rapport 5306*, 78 s.
- Länsstyrelsen i Stockholms län, 2004: Källor i Stockholms län, inventering och underlag för miljöövervakning. *Länsstyrelsen i Stockholms län rapport 2004:25*, 47 s.
- Naturvårdsverket, 1997: Bakgrundshalter i mark. *Naturvårdsverket Rapport 4640*, 47 s.
- Naturvårdsverket, 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet, kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.
- Naturvårdsverket, 1999: Metodik för inventering av Förorenade områden. *Naturvårdsverket Rapport 4918*, 150 s.
- Pasieczna, A., 2003: *Atlas of urban soils contamination in Poland*. Panstwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 83+105 s.
- Peltola, P. & Åström, M., 2003: Urban geochemistry: a multimedia and multielement survey of a small town in northern Europe. *Environmental Geochemistry and Health* 25, 397–419.
- Reimann, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V., Matinian, N. & Pasieczna, A., 2003: Agricultural soils in northern Europe: A Geochemical Atlas. *Geologisches Jahrbuch Sonderhefte Reihe D Heft SD5*, 279 s.
- Ressar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å., 1990: Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i bäckvattenväxter. Området 8–10, A–D. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 63, 31 s.
- Ressar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å., 1987: Geokemiska kartan. Tungmetaller i bäcktorv; 131 Malmö, 343 Sundsvall. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 49, 36 s.
- Rosborg, I., Nihlgård, B. & Gerhardsson, L., 2003: Mineralämnen och metaller i 20 kommunala dricksvatten i södra Sverige. *VA-Forsk Rapport 2003-17*, 64 s.
- Salminen, R. & Gregorauskiene, V., 2000: Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. *Applied Geochemistry*, 15, 647–653.
- Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, B., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.-Å., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A. & Tarvainen, T., 2005: Geochemical atlas of Europe Part I. *Geological Survey of Finland*, 526 s.

- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U. & Smedley, P. (editors), 2005: *Essentials of medical geology. Impacts of the natural environment on public health*. Elsevier Academic Press, 812 s.
- Selinus, O., Rundqvist, R. & Johansson, P., 2001. *Göteborgsprojektet. Geokemi i Göteborgs kommun 2000. Kartor över tungmetaller och organiska miljögifter*. AB Jacobson & Widmark och Sveriges geologiska undersökning, 34 s.
- Snäll, S. & Liljefors, T., 2000: Leachability of major elements from minerals in strong acids. *Journal of geochemical exploration* 71, 1–12.
- Statens livsmedelsverk, 2005: föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten. *Livsmedelsverket författningssamling 2005:10*, 35 s.
- Sternbeck, J., & Östlund, P., 1999: Nya metaller och metalloider i samhället. *IVL Svenska miljöinstitutet AB Rapport B 1332*, 144 s.
- Sveriges geologiska undersökning: Mineralmarknaden, Tema: Arsenik. *Sveriges geologiska undersökning Periodiska publikation 2005:4*, 79 s.
- Bergh, G., Cato, I., Kjellin, B. & Klingberg, F., 2005: Maringeologiska kartan 9I Landsortsdjupet–Nynäshamn, geologiska profiler. *Sveriges geologiska undersökning K 3:2*.
- Sveriges Nationalatlas, 1994: Berg och Jord. *SNA*, 208 s.
- Sörme, L., Bergbäck, B. & Lohm, U., 2001: Goods in the antroposphere as a metal emission source – a case studie of Stockholm. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1 (3–4), 213–227.
- WHO 2004: *Guidelines for drinking-water quality, Third edition, vol 1*. Recommendations.



Sveriges geologiska undersökning

Box 670

751 28 Uppsala

Tel: 018-17 90 00

Fax: 018-17 93 70

www.sgu.se

Uppsala 2009

ISSN 1652-8336

ISBN 978-91-7158-961-3

Tryck: Elanders Sverige AB