

Gk 1

# Geokemiska kartan Biogeokemi

## Tungmetaller i bäckvattenväxter Mellersta Dalarna

Jonas Holmberg, Sten-Åke Ohlsson  
och Harald Ressar



**SGU**

Sveriges Geologiska Undersökning



# **Geokemiska kartan** **Biogeokemi**

## **Tungmetaller i bäckvattenväxter** **Mellersta Dalarna**

Jonas Holmberg, Sten-Åke Ohlsson  
och Harald Ressar

ISSN 1404-3157  
ISBN 91-7158-617-2

Geokemiska kartor publicerades tidigare i SGUs serie Rapporter och meddelanden. En lista över tidigare publikationer återfinns på sidan 44. För information om jordarter, berggrund och grundvatten hänvisas till jordartskartor (SGU serie Ae & Ai), berggrundskartor (SGU serie Af & Ai) samt hydrogeologiska kartor (SGU serie Ag & Ah).

Närmare upplysningar erhålls genom

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

Omslagsbild: Provtagning av bäckvattenväxter för analys av tungmetaller.  
Foto Anders Damberg

© Sveriges Geologiska Undersökning

Layout: Agneta EK, SGU  
Tryck: Wikströms, Uppsala 1999

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Geokemisk kartering vid SGU .....	4
Provmaterialet bäckvattenväxter .....	4
Provberedning och analysering .....	6
Databearbetning och kartframställning .....	6
Biogeokemiska kartprodukter .....	7
Användningen av de biogeokemiska kartorna .....	7
Utgivningsplan för de biogeokemiska kartorna .....	12
Biogeokemiska färgkartor 12–15, E–F, 1:1 miljon .....	13
pH-karta .....	27
Berggrundskarta .....	28
Faktorkarta .....	29
Berggrundsgeologi .....	30
Kvartär utveckling och jordartsgeologi .....	31
Topografi och morfologi .....	31
Antropogen aktivitet inom karteringsområdet .....	32
Statistisk behandling av analysvärden .....	32
Kvalitetskontroll .....	32
Korrelationsanalys .....	33
Klusteranalyser .....	34
Faktoranalys .....	35
pH-mätningar av bäckvatten .....	36
Elementassociationer .....	36
Uran (U), volfram (W) och molybden (Mo) .....	36
Krom (Cr), nickel (Ni) och koppar (Cu) .....	37
Vanadin (V), molybden (Mo) och bly (Pb) .....	37
Koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb) och arsenik (As) .....	38
Kobolt (Co), bly (Pb) och zink (Zn) .....	39
Kvicksilver (Hg) och selen (Se) .....	39
Summary .....	39
Referenser .....	43
Geokemiska publikationer .....	44

Föreliggande rapport utgör en delpresentation av den rikstäckande biogeokemiska kartering som påbörjades 1982.

## GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Den geokemiska karteringen av Sverige bedrivs i syfte att visa fördelningen av kemiska huvudämnen och spårelement i mark och vatten och att genom denna fördelning spåra metallkällor i berggrunden. Vid kartläggningen används i huvudsak två typer av provmaterial för att möjliggöra detta.

Den ena är bäckvattenväxter, som visar metallupptaget i växtrötter och vattenlevande mossor i mindre bäckar och som återspeglar den genomsnittliga kemiska sammansättningen hos vattnet. Utgivningsplan över dessa biogeokemiska kartor visas på s. 12.

Den andra är moränmaterial från C-horisonten, som återspeglar markens naturliga kemiska sammansättning. De första sådana markgeokemiska kartor utgavs 1988 över delar av mellersta Norrland.

Som komplement till de befintliga berggrundskartorna och för att underlätta tolkningen av de geokemiska kartorna, utförs elementanalyser av dominerande bergarter.

Mikael Carlsson har varit dataansvarig och även framställt kartorna. Fackgranskning har gjorts av kollegor vid SGU: Olle Selinus, Thomas Lundqvist och projektarbetaren Anna Vestman som också sammanställt materialet för redigering.

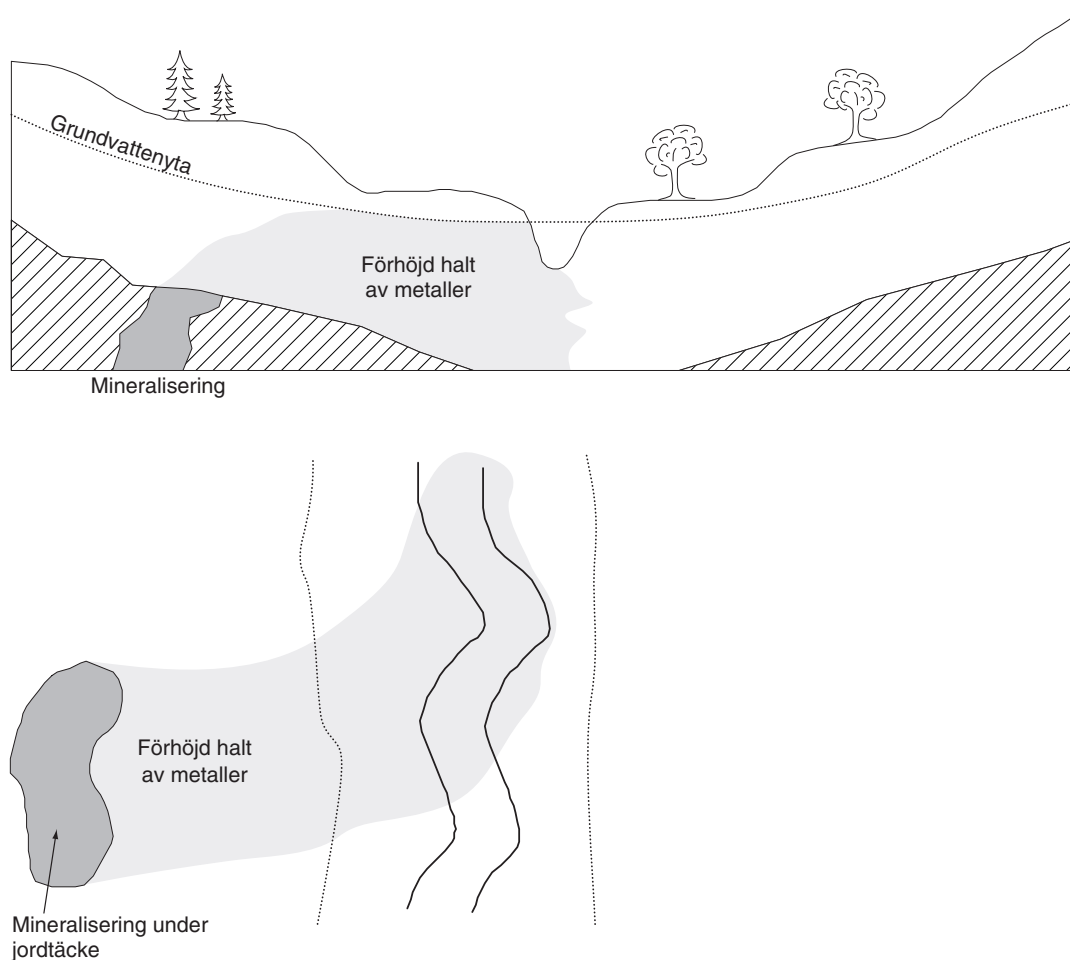
## PROVMATERIALET BÄCKVATTENVÄXTER

Biogeokemiska provtagningar av organiskt material i mindre vattendrag påbörjades i slutet av 1960-talet i övre Norrland med syfte att spåra metallkällor i berggrunden såsom mineraliseringar och malmer. Sedan dess har provtagningsmetoden utvecklats och förfinats till dagens provmaterial, bäckvattenväxter.

Ett prov av bäckvattenväxter består huvudsakligen av vattenlevande mossor, t.ex. näckmossa och växtrötter av halvgräs, tåg och älgört. Provsammansättningen har valts så att växterna i stort uppvisar samma upptagningsförmåga och är allmänt förekommande i landet. Till skillnad från minerogena bäcksedimentprov indikerar bäckvattenväxterna på ett bättre sätt naturliga (fig. 1) och antropogena metallkällor. Ett levande provmaterial, en s.k. bioindikator, *visar också den biotillgängliga metallhalten i vattnet.*

Proverna tas i mindre vattendrag som till övervägande del består av grundvatten. Den kemiska sammansättningen hos detta vatten beror huvudsakligen på en naturlig påverkan av mineralsammansättningen hos omgivande berggrund och lösa avlagringar samt på antropogena aktiviteter. Växter i och vid vattendragen får sin näring från det förbibrinnande vattnet. Utbytet av kemiska ämnen, t.ex. tungmetaller, mellan vattnet och växtrötterna är en långsam process där inverkan av t.ex. årstidsvariationer är av underordnad betydelse. Metallhalterna i varje prov representerar därigenom vattendragets genomsnittliga metallhalt och avspeglar indirekt grundvattnets metallinnehåll. Förhöjda halter i bäckvattenväxterna indikerar således en naturlig eller antropogen metallkälla i miljön. Inom stora delar av norra Sverige med relativ orörd natur indikerar bäckvattenväxterna metallkällor i berggrunden såsom mineraliseringar och malmer.

En naturlig anrikning av tungmetaller sker vid utfällning och upptag av järn och mangan i växtmaterialet. Halterna av järn och mangan är inte direkt betingad av den geologiska miljön utan av pH-Eh-förhållanden i vattnet. För en geologisk tolkning av de geokemiska mönstren måste denna typ av variation av tungmetallerna korrigeras. Vidare



**Figur 1.** Vertikal markprofil (överst) och horisontell markprofil (nederst) visande metallernas spridning med grundvattenströmningen från en mineralisering.

**Figure 1.** Soil profile showing the influence of ground water on the dispersion pattern of metals derived from a mineralization.

måste hänsyn tas till den organiska halten för att man skall få en god jämförelse mellan proverna.

Varje provpunkt representerar ett relativt stort dräneringsområde. Provpunkterna har valts så att var och en av dem avspeglar tillförsel av metaller från en yta motsvarande 5–7 km<sup>2</sup>. Den lokala kemiska variationen minimeras genom att material från en kortare sträcka längs bäcken blandas till ett s.k. kompositprov. Provet rensas och sköljs noggrant i fält för att undvika inblandning av mineraljord.

## PROVBEREDNING OCH ANALYSERING

Bäckvattenväxterna torkas vid 105° C, vägs, inaskas vid 450° C under 12 timmar och vägs på nytt. Viktskillnaden används för beräkning av provets organiska halt. Provdelen som analyseras på kvicksilver och selen torkas endast vid rumstemperatur. Efter homogeniseringsmalning går proverna till analys.

Alla prover analyseras med röntgenfluorescens (XRF) på ett 30-tal element. För vart femte prov bestäms dessutom halterna av kadmium, kvicksilver och selen med atomabsorption (AAS). I tabell 1 nedan anges analyserade ämnen och lägsta detekterbara halt.

En omfattande kvalitetskontroll är nödvändig vid hantering av stora mängder av analysresultat. I det fortlöpande analysarbetet finns därför kontrollprover inlagda, för att resultaten skall bli helt jämförbara.

**Tabell 1.** Analyserade huvudämnen och spårelement samt lägsta detekterbara halt.

*Table 1. Analysed elements with detection limits.*

XRF –	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	%	As	10	ppm	Rb	10	ppm
	BaO	0,005	%	Cl	50	ppm	S	50	ppm
	CaO	0,01	%	Co	5	ppm	Sr	10	ppm
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	%	Cr	5	ppm	U	5	ppm
	K <sub>2</sub> O	0,01	%	Cu	5	ppm	V	10	ppm
	MgO	0,02	%	Mo	5	ppm	W	5	ppm
	MnO	0,005	%	Nb	10	ppm	Y	10	ppm
	Na <sub>2</sub> O	0,03	%	Ni	5	ppm	Zn	5	ppm
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,005	%	Pb	10	ppm	Zr	20	ppm
	SiO <sub>2</sub>	0,05	%						
	TiO <sub>2</sub>	0,005	%						
	AAS –	Cd	0,2	ppm	Hg	0,001	ppm	Se	0,01

## DATABEARBETNING OCH KARTFRAMSTÄLLNING

Sedan analyser, organiska halter och lägeskoordinater för proverna lagrats i databanker vidtar en omfattande databehandling. Varje prov ger en ansevärd mängd information, bl.a. analysresultat av 32 olika ämnen, som skall genomgå statistiska och matematiska beräkningar.

Som tidigare nämnts, har utfällningar som järn- och mangan-hydroxider samt den organiska halten en direkt inverkan på halten av olika tungmetaller i proverna. För att få analysresultaten (råvärdena) jämförbara, korrigeras de för ovan nämnda naturliga anrikningsfaktorer med hjälp av multipel stegvis regression.

Rutinmässigt framställs sedan haltkartor av cirkelmodell i skala 1:250 000 (se exempel på s. 9) och färgkartor i skala 1:1 miljon för 14 element.

Cirkelkartorna visar provpunkternas geografiska läge med angiven halt i ppm. På dessa kartor har de 40% högsta analysvärdena markerats med cirkelsymbol i ökande storlek ju högre elementhalt som uppmätts.

De färgkartor i skala 1:1 miljon som redovisas i rapporten ger en övergripande bild av områden med såväl höga som låga värden. Vid framställningen av färgkartorna används ett dataprogram, som räknar om de geografiskt oregelbundet placerade provpunkternas analysvärden till ett regelbundet punktnät med interpolerade värden. Färg-

klassernas indelning är även här gjord med percentilberäkning, men den har utförts på punktnätets interpolerade värden. För klassindelningen har 10:e, 30:e, 50:e, 70:e, 80:e, 90:e och 95:e percentilerna för hela landets punktnät använts.

Haltfördelningarna på kartorna är baserade på ett analysunderlag från drygt 25 000 prover och omfattar alla tidigare karterade områden. I tabell 2, anges percentilvärden för analyserna från årets utgivning och från den hela karterade arealen benämnd "Riket".

Inom det nu redovisade området har 2260 prov tagits vilket ger en provtäthet på ca 1 prov per 7 km<sup>2</sup>. Vart femte prov har analyserats på elementen kadmium, kvicksilver och selen.

## **BIOGEOKEMISKA KARTPRODUKTER**

De biogeokemiska färgkartorna i denna rapport i skala 1:1 miljon omfattar 14 spårelement (s. 13–26). De geokemiska mönstren visas för arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, molybden, nickel, selen, uran, vanadin, volfram och zink.

Parallellt framställs också kartor av cirkelmodell i skala 1:250 000 för ovanstående element. Dessa kartor, som visar provpunkternas geografiska läge och analysvärde, utges med ett element per karta. Det redovisade området är uppdelat på 2 kartor (s. 9) och kan beställas hos Kundtjänst, SGU, Box 670, 751 28 Uppsala eller per telefon 018-17 90 00.

Ovanstående kartskalor är standard vid publicering. Vid behov ombesörjs även kartframställning i andra skalor och för andra element eller elementkombinationer (t.ex. kvoter) till självkostnadspris.

pH-kartan på s. 27 är baserad på mätningar med pH-penna vid provtagningstillfället.

## **ANVÄNDNINGEN AV DE BIOGEOKEMISKA KARTORNA**

Tungmetallhalterna i våra marker och vattendrag beror dels på hur mineralsammansättningen i jordlagren och berggrunden ser ut, dels på hur ett område är exponerat för miljöpåverkan som t.ex. tungmetallutsläpp och försurning. Dessa faktorer påverkar de olika ämnenas förekomst och spridning vilket återges i de biogeokemiska kartorna. Kartorna utgör därför basinformation för många användare med vitt skilda intressen och inriktning.

Den sedan 1 juli 1987 gällande plan- och bygglagen (PBL) samt naturresurslagen (NRL) ställer stora krav på kommunernas långtidsplanering. För att kunna fullgöra sina åligganden på ett tillfredsställande sätt måste kommunerna i sin tur tillhandahålla aktuell basinformation om miljön och våra naturresurser. Därför är det viktigt att ha de geologiska och geokemiska förhållandena klargjorda i miljövardsdiskussioner. De biogeokemiska kartorna och undersökningarna ger information om dessa förhållanden och utgör därmed ett viktigt underlag för beslutsprocesser.

Denna rapport ger endast en övergripande förklaring till de olika ämnenas spridningsmönster. För en detaljerad tolkning erfordras ofta uppföljningsarbeten med en förtätad provtagning vars resultat tolkas tillsammans med god lokal kännedom om de olika påverkande faktorerna.

Den svenska berggrunden uppvisar stora naturliga variationer i mineralsammansättning. Det medför att tungmetallförekomsterna inom en region ibland kan vara så stora att de tolkas som föroreningar. I det omvända fallet då höga tungmetallhalter inom ett

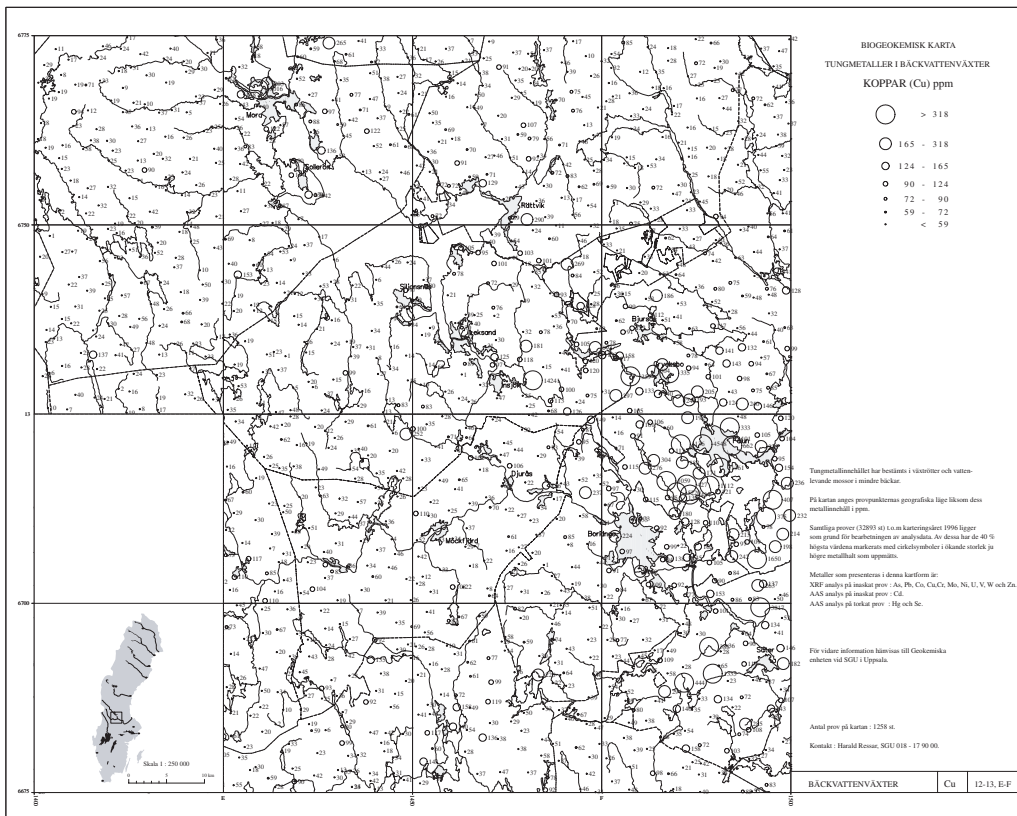
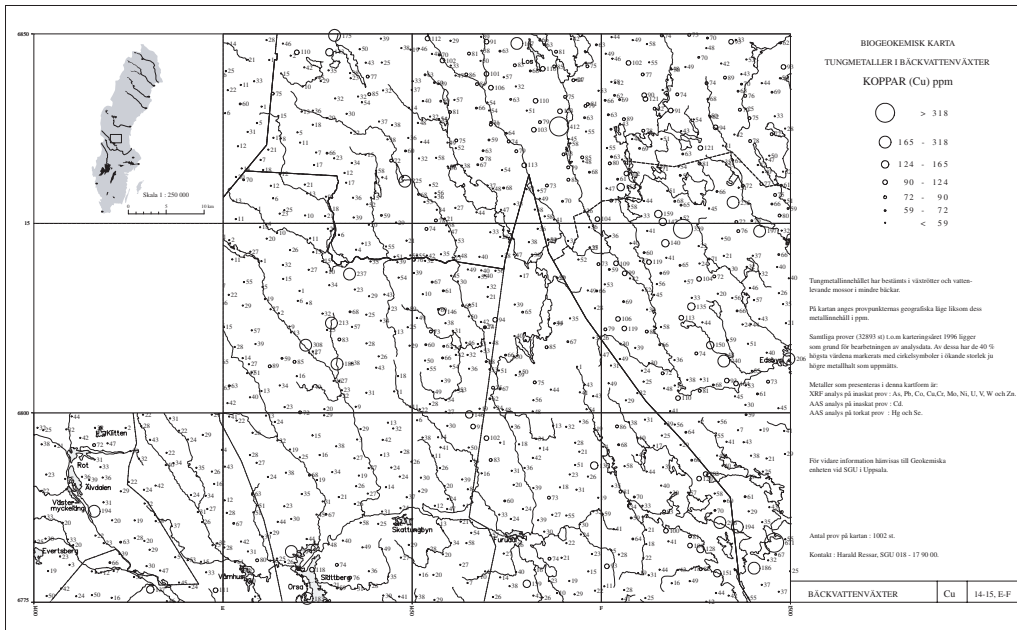
område inte kan förklaras av metallinnehållet i berggrunden eller i jordlagren kan man på goda grunder anta att de är orsakade av mänsklig aktivitet.

Erfarenheter från tidigare undersökningar har visat att bäckvattenväxternas metallinnehåll till övervägande del reflekterar den omgivande berggrundskemin. Metallanalyser från de olika bergarterna inom området finns blott sparsamt. Däremot visas i tabell 3 de generella elementassociationer man kan förvänta sig i olika bergarter. Man måste ta i beaktande att elementhalterna inom en och samma bergart kan variera kraftigt, liksom att variationen kan vara stor mellan två bergarter av samma slag, t.ex. två skilda graniter.

**Tabell 2.** Percentiler i ppm för respektive element inom karteringsområdet och inom hela den karterade arealen i riket.

**Table 2.** Percentiles in ppm for study area and for all analysis in mapped area for the country (Riket).

Element	Område	Antal analyser	Percentiler										
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99
As	Kartan	2260	<10	<10	<10	15	21	27	35	47	75	116	321
	Riket	32893	<10	14	19	24	29	37	47	64	99	158	443
Cd		379	1,2	2,5	3,5	5,0	6,7	8,4	11	18	31	41	79
		5745	<0,20	1,2	1,9	2,4	3,0	3,7	5,1	7,4	15	24	63
Co		2260	15	34	44	50	57	64	72	85	120	179	416
		32893	21	38	47	53	60	69	85	120	210	331	663
Cr		2260	21	25	28	30	33	36	40	45	54	65	96
		32893	24	29	33	36	40	44	50	57	69	81	121
Cu		2260	15	21	26	31	37	44	54	68	95	136	333
		32893	24	32	38	44	50	59	72	90	124	165	318
Hg		379	0,002	0,013	0,021	0,030	0,036	0,044	0,053	0,062	0,083	0,096	0,139
		5751	0,009	0,019	0,028	0,037	0,045	0,054	0,065	0,079	0,102	0,123	0,183
Mo		2260	<5	5	8	11	14	19	25	33	53	78	147
		32893	<5	5	6	8	9	12	15	21	33	47	95
Ni		2260	<5	7	11	13	16	19	23	28	39	50	93
		32893	11	17	22	27	32	38	47	63	102	164	468
Pb		2260	<10	22	53	80	106	144	192	265	409	566	1082
		32893	13	33	45	56	68	82	104	152	254	386	794
Se		379	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38	0,44	0,59	0,75	1,60
		5751	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,50	0,63	0,88	1,23	2,60
U		2260	<5	6	9	13	17	25	36	53	87	149	427
		32893	<5	<5	5	7	10	14	20	30	54	81	195
V		2260	57	80	99	116	136	161	197	244	330	415	636
		32893	65	80	92	101	112	124	138	160	205	266	424
W		2260	<5	<5	5	6	8	10	12	15	22	28	56
		32893	<5	<5	<5	5	6	8	9	12	16	21	43
Zn		2260	124	213	267	330	412	516	679	922	1660	2813	8462
		32893	90	174	224	264	309	380	491	681	1102	1803	4424



Biogeochemiska haltkartor av cirkelmodell över karteringsområdet för elementet koppar. Kartorna är här förminskade 4 ggr till skala 1:1 miljon.

**Tabell 3.** Schematisk översikt av viktigare elementassociationer i olika bergartstyper.

*Table 3. Typical element associations in different rock types.*

Bergarter	Förhöjda halter	Låga halter
Graniter	Mo, Sn, W, K, Pb	Co, Cr, Ni
Sura vulkaniska bergarter	As, Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Hg, Se	
Basiska bergarter (t.ex. gabbro, diorit, grönstenar)	Cr, Co, Ni, Cu, Ti, V	
Skifferar	Ag, As, Au, Cd, Mo, Ni, Pb, Zn, Co, U, Cu, Se	
Sandstenar	Några generella associationer vad gäller redovisade element av vikt för den geokemiska tolkningen finns ej.	
Kalkstenar		

Metoden att provta växtmaterial i syfte att spåra malmer är använd i Sverige sedan 1960-talet. Resultaten från dessa undersökningar har för malmprospektörerna lett till upptäckter av nya fyndigheter. Speciellt inom uranprospekteringen har fyndigheterna varit många genom att uranförlöjningar i växtmaterialet har kunnat följas upp med direktmätning av radioaktiv strålning i fält.

Påverkan från de kvartära avlagringarna på det geokemiska mönstret är störst när långtransporterade moräner innehåller bergartsmineral med väsentligt högre halter av något element än vad man har i den omgivande berggrunden. Källan till en elementförhöjning får i sådana fall sökas mot isrörelseriktningen. Inom Norrlands inland förekommer förhöjningar av bl.a. Pb, Mo och Ni orsakade av motsvarande förhöjda halter i långtransporterad morän innehållande material av sandstenar, skifferar och grönstenar från fjällkedjan.

Inom områden med lerjordar erhålls förhöjda elementhalter då lerpartiklar är kollektorer för många element och anrikas tungmetaller härrörande bl.a. från omgivande berggrund. Lerjordar är ofta uppodlade och där påverkas elementmönstret genom förekomsten av spårelement i gödnings- och bekämpningsmedel. Stora mängder tungmetaller har under senare tid spridits vid gödning med rötslam från reningsverk, samt vid kalkning med förorenat kalk innehållande bl.a. höga halter av vanadin men även kadmium.

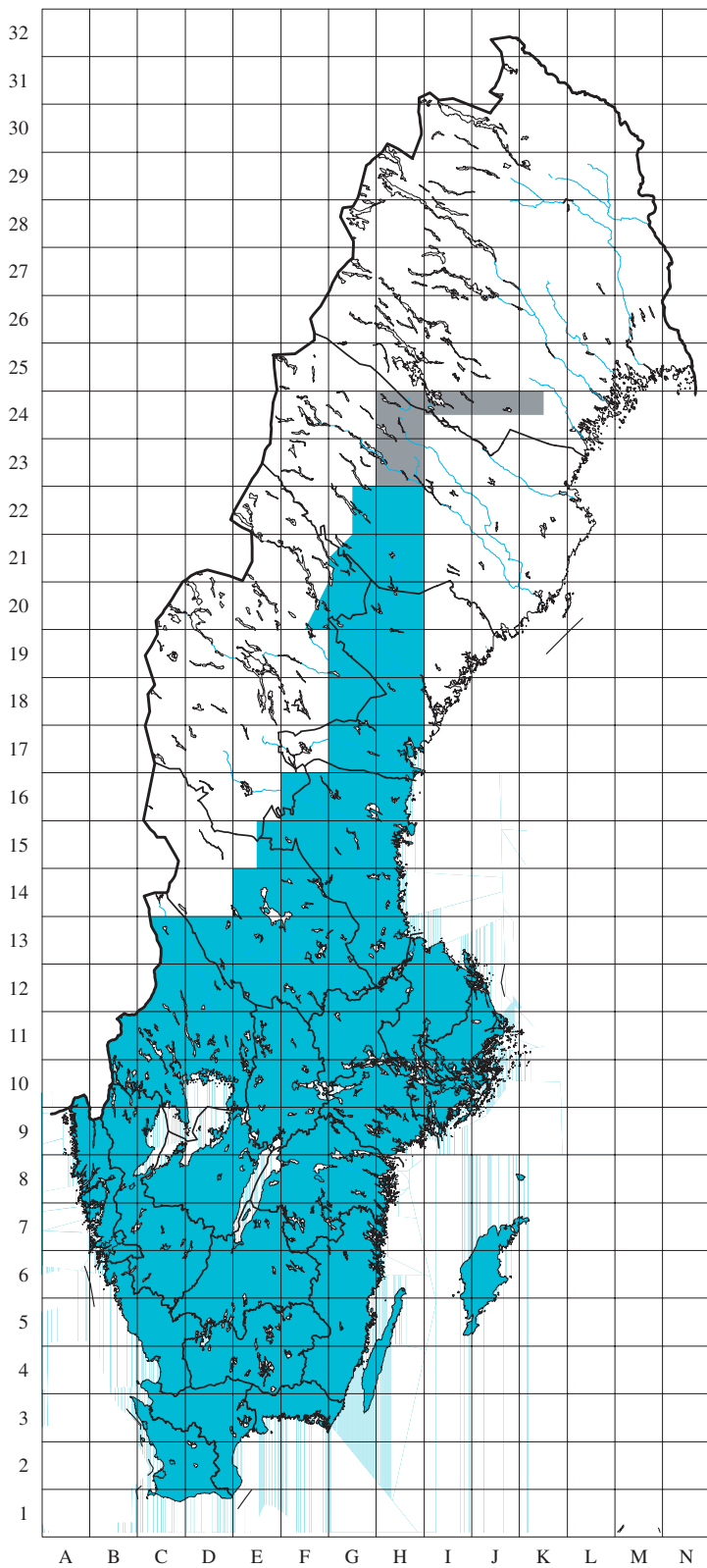
Andra mänskliga aktiviteter som orsakar förhöjda tungmetallhalter är utsläpp i mark, vatten och luft. En del av de industriella utsläppen i vatten återspeglas vanligtvis inte på de biogeokemiska kartorna, eftersom dessa utsläpp ofta sker i större vattendrag. Uppgifter om utsläpp och deras källor finns många gånger att tillgå hos miljö- och naturvårdsenheterna i länen och kommunerna.

Andra faktorer att ta hänsyn till vid tolkningen är förhållanden som berör topografi, grundvatten och dränering. För vissa län finns översiktliga hydrogeologiska kartor över grundvattenförhållandena.

Tungmetaller som på olika sätt frigjorts ur jord och berg eller tillförts marken genom t.ex. vittring, utsläpp eller nedfall kommer att cirkulera mellan luft, vatten, mark och berggrund i ett evigt kretslopp. Utmärkande för tungmetaller är att de till skillnad från organiska miljögifter aldrig kan brytas ned eller förstöras. Det betyder att de tungmetaller som tillförs miljön i princip har evigt liv och när de en gång inlett sina kretslopp i naturen kommer de att fortsätta att finnas där i evig tid.

Detta är inte enbart av ondo utan tvärtom nödvändigt för allt liv. De flesta metaller, även tungmetaller, är essentiella, eller livsnödvändiga, och behövs för att biologiska processer skall fungera. Det är i höga doser som ämnena blir toxiska, eller giftiga, för organismerna. Därför är det viktigt att veta var tungmetallförekomsterna är störst eftersom naturen där med sina levande organismer kanske inte tål så mycket mer än vad som nu förekommer. Även låga halter av metaller kan innebära problem eftersom vi måste få ett tillskott av de flesta tungmetaller och andra element för att undvika bristsjukdomar. De biogeokemiska kartorna visar var det kan finnas risk för underskott av metaller. Som exempel kan nämnas selen som är ett bristelement i stora delar av Sverige.

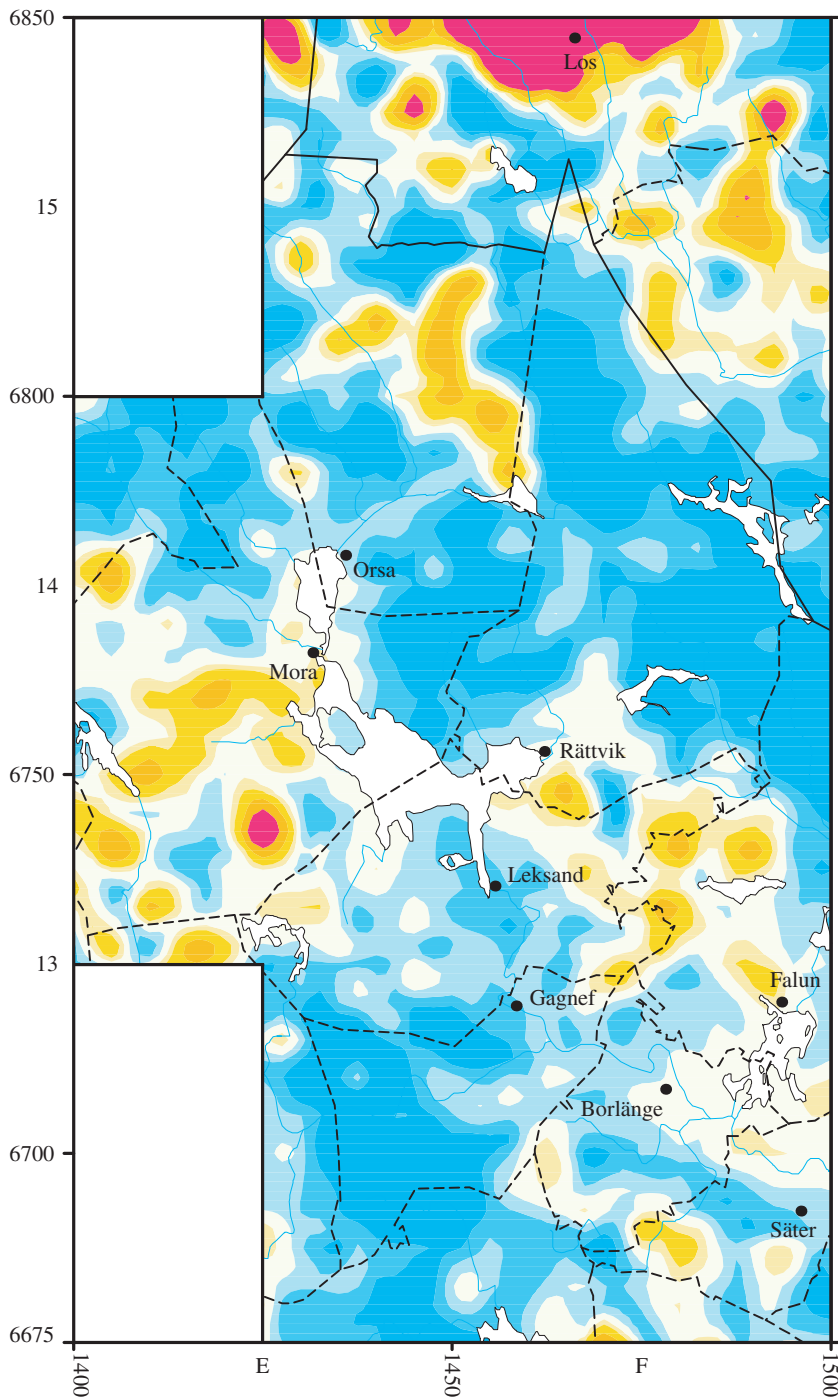
De redovisade korrigerade kemiska analysvärdena av bäckvattenväxtproverna från karteringsområdet återspeglar alltså de relativa haltnivåerna av *biotillgängliga* tungmetaller i områdets vattendrag. Då denna kemi till största delen har samband med underliggande berggrund, jordarter och jordmån, men också kan relateras till mänsklig aktivitet såsom industrinedfall och utsläpp, jord- och skogsbruk, urban miljö, m.m, är det här nödvändigt att först ge en bakgrund till den naturliga, geologiskt betingade tungmetallfördelningen inom undersökningsområdet (s. 30).



## Biogeokemiska kartor

Tungmetaller i bäckvattenväxter

- Utgivna
- Under bearbetning



## Arsenik (As)

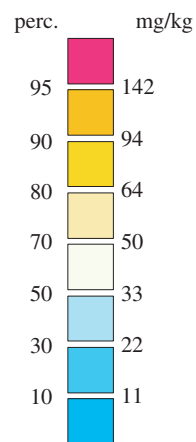
i bäckvattenväxter

Analysmetod: XRF

Antal prov: 2260

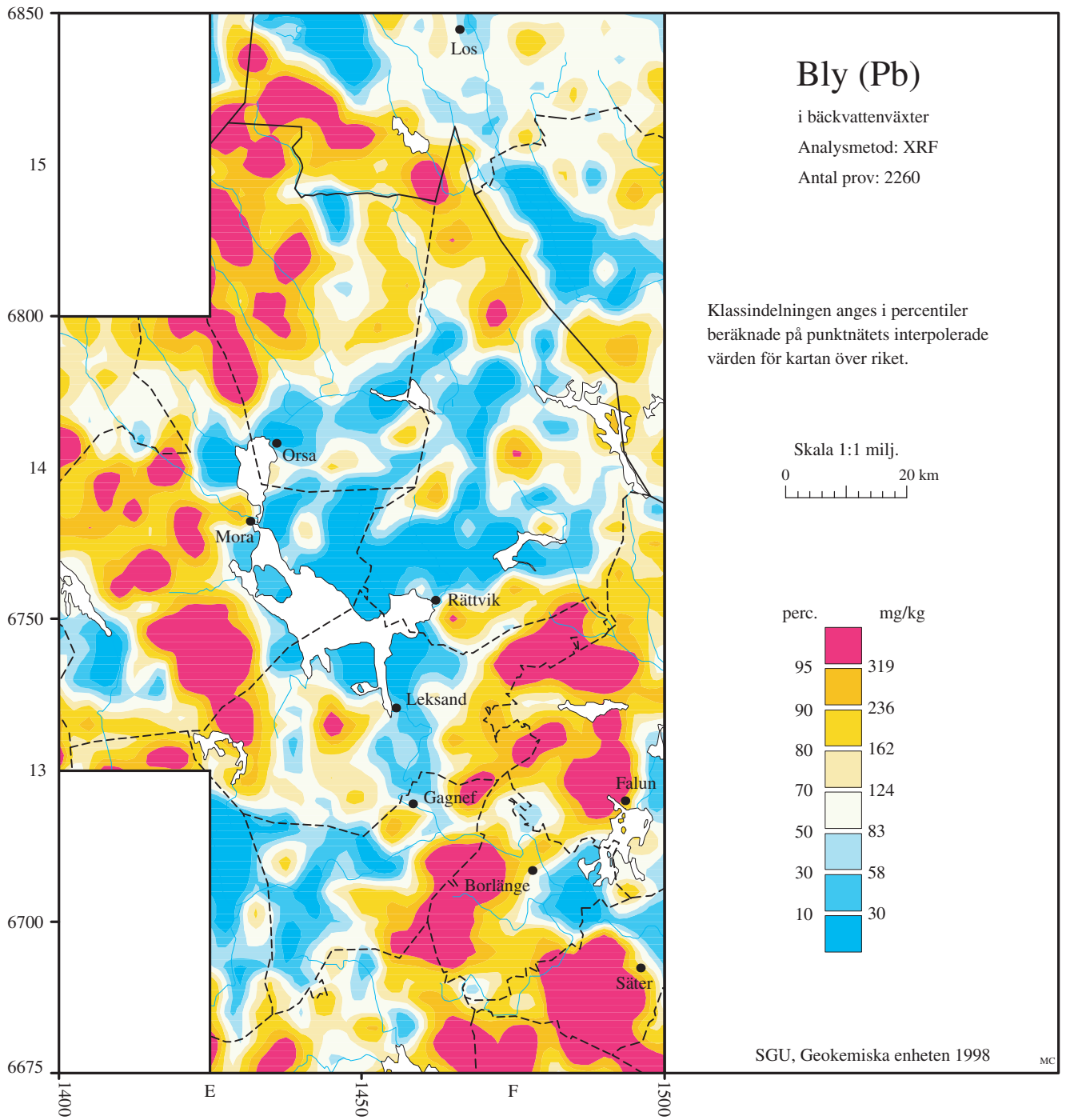
Klassindelningen anges i percentiler beräknade på punktnätets interpolerade värden för kartan över riket.

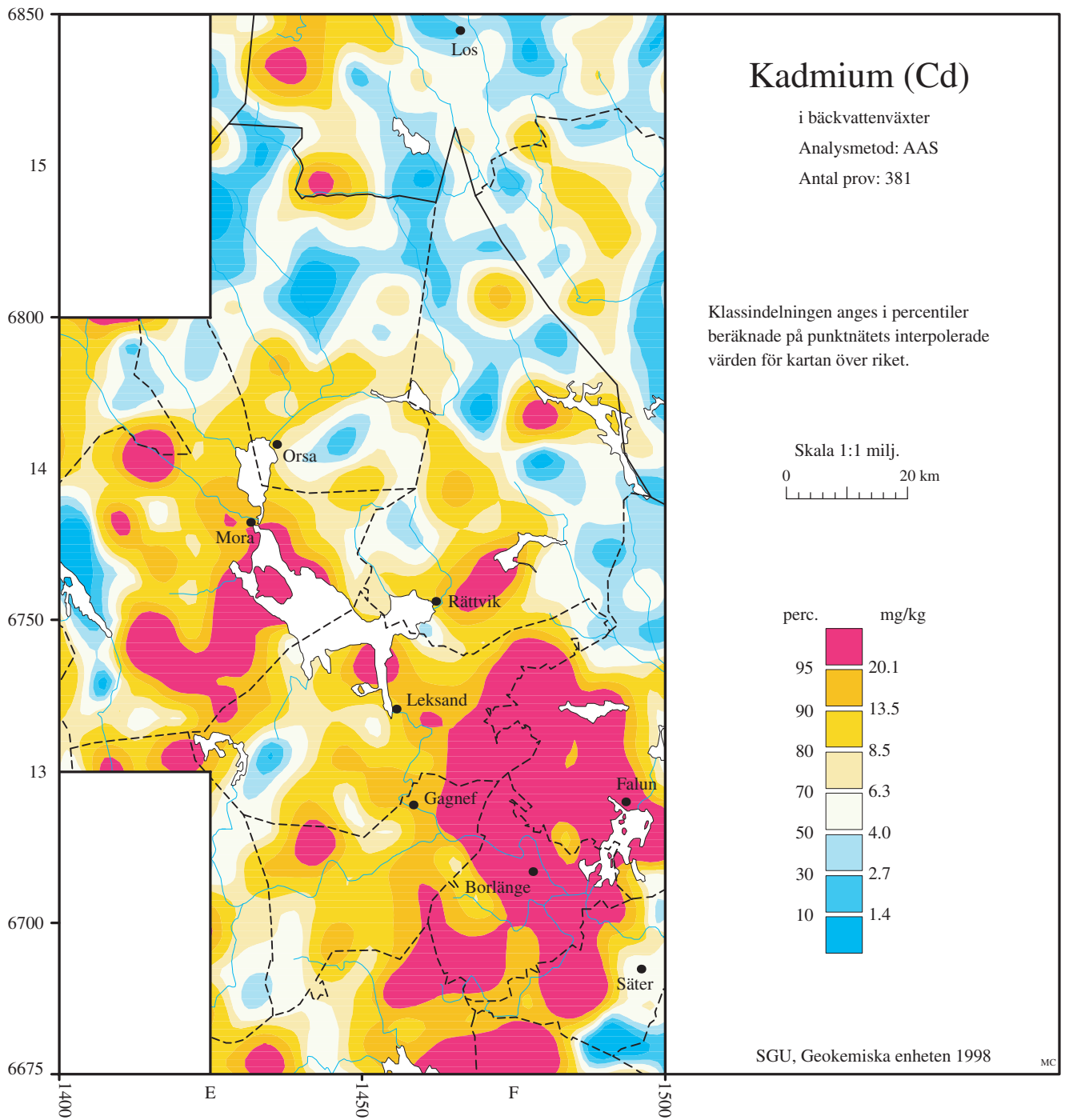
Skala 1:1 milj.

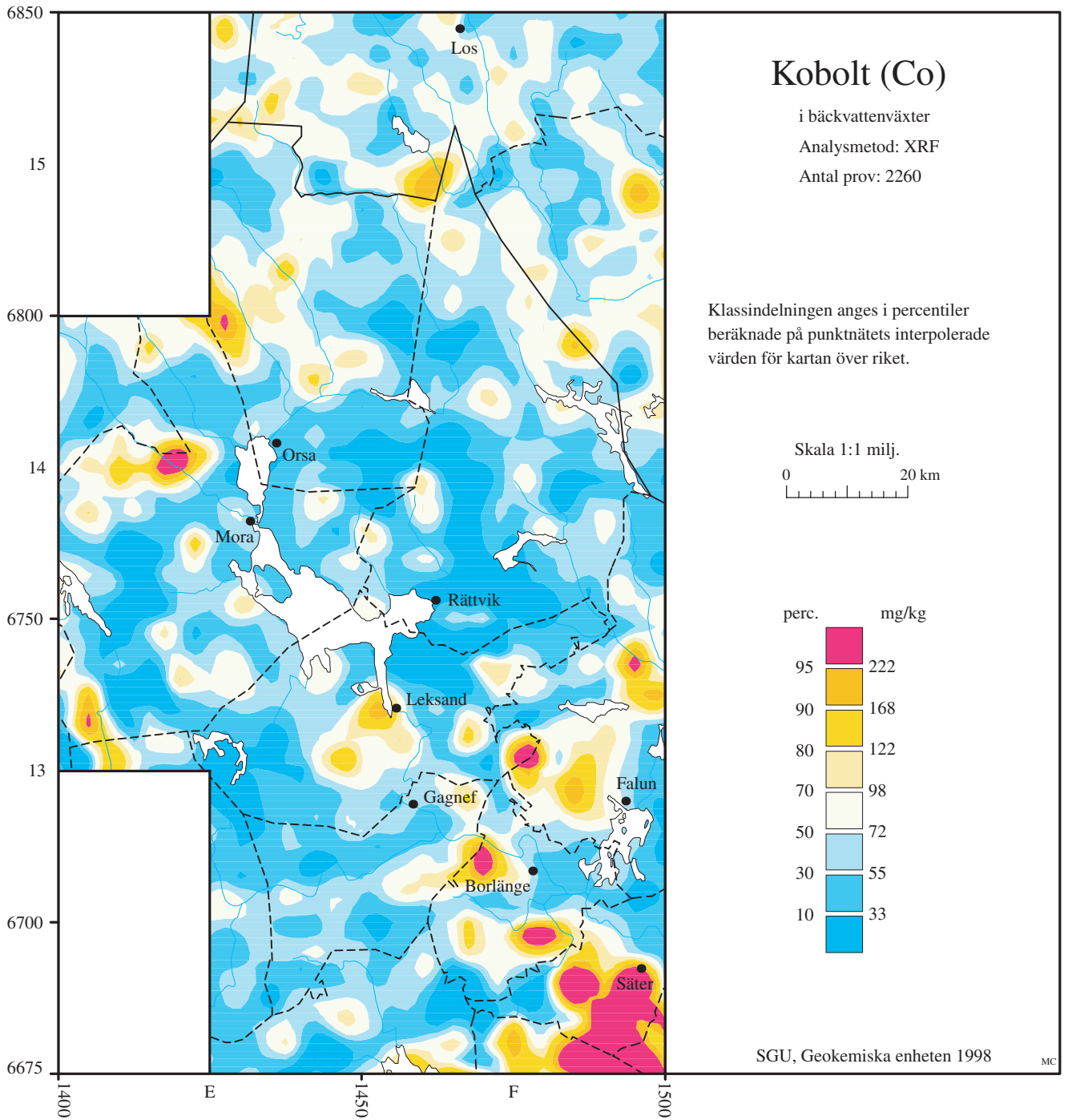


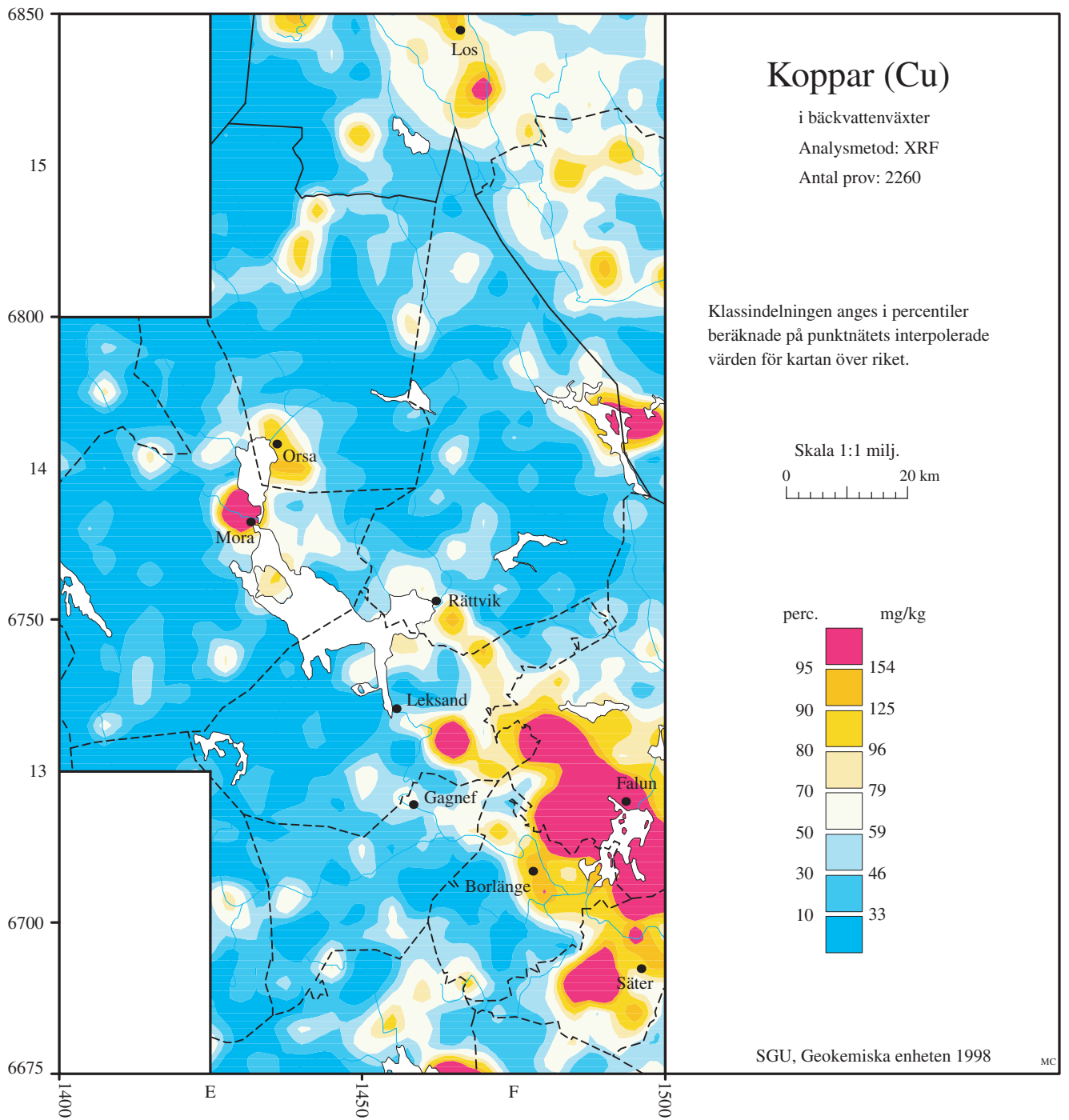
SGU, Geokemiska enheten 1998

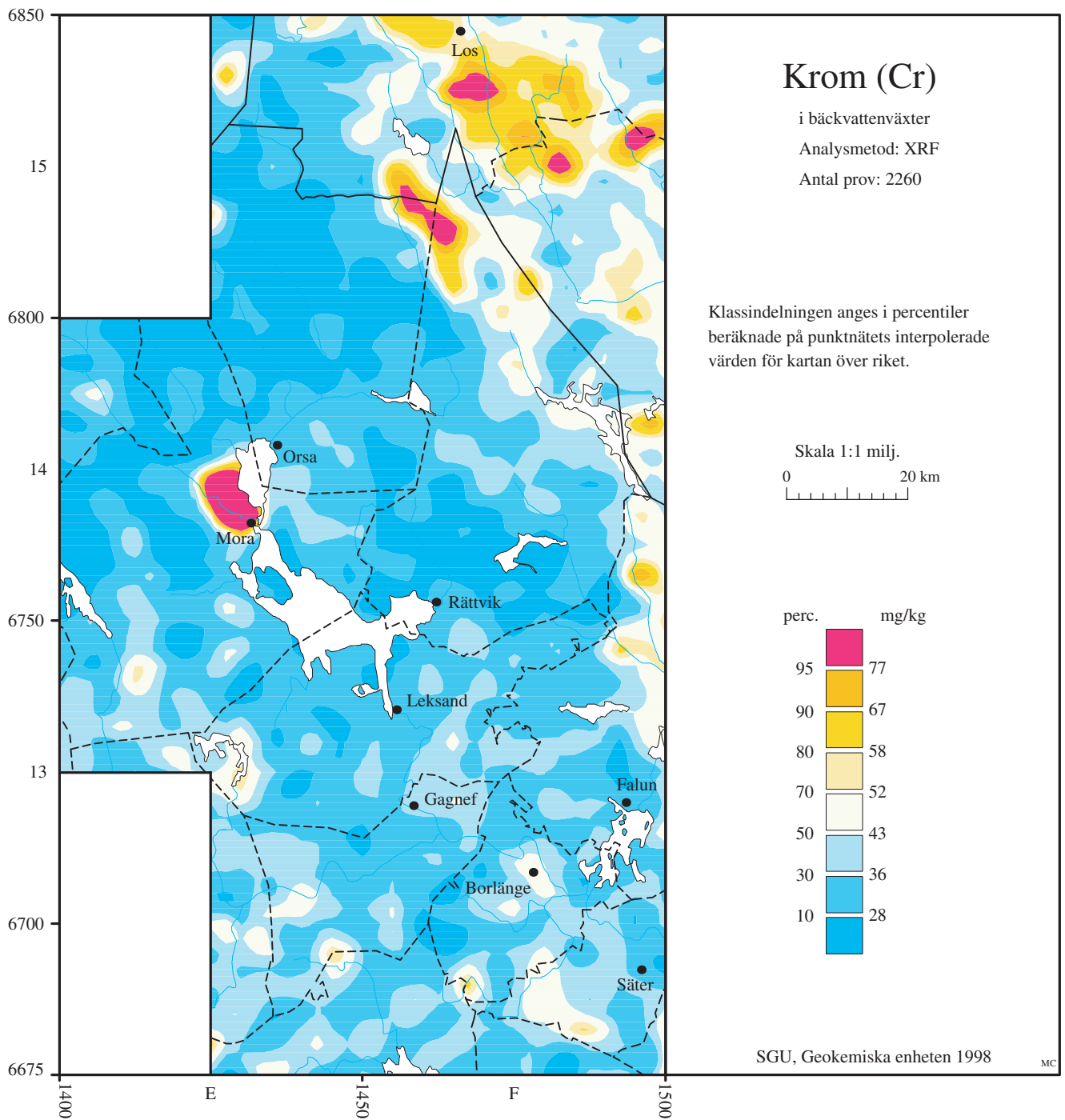
MC

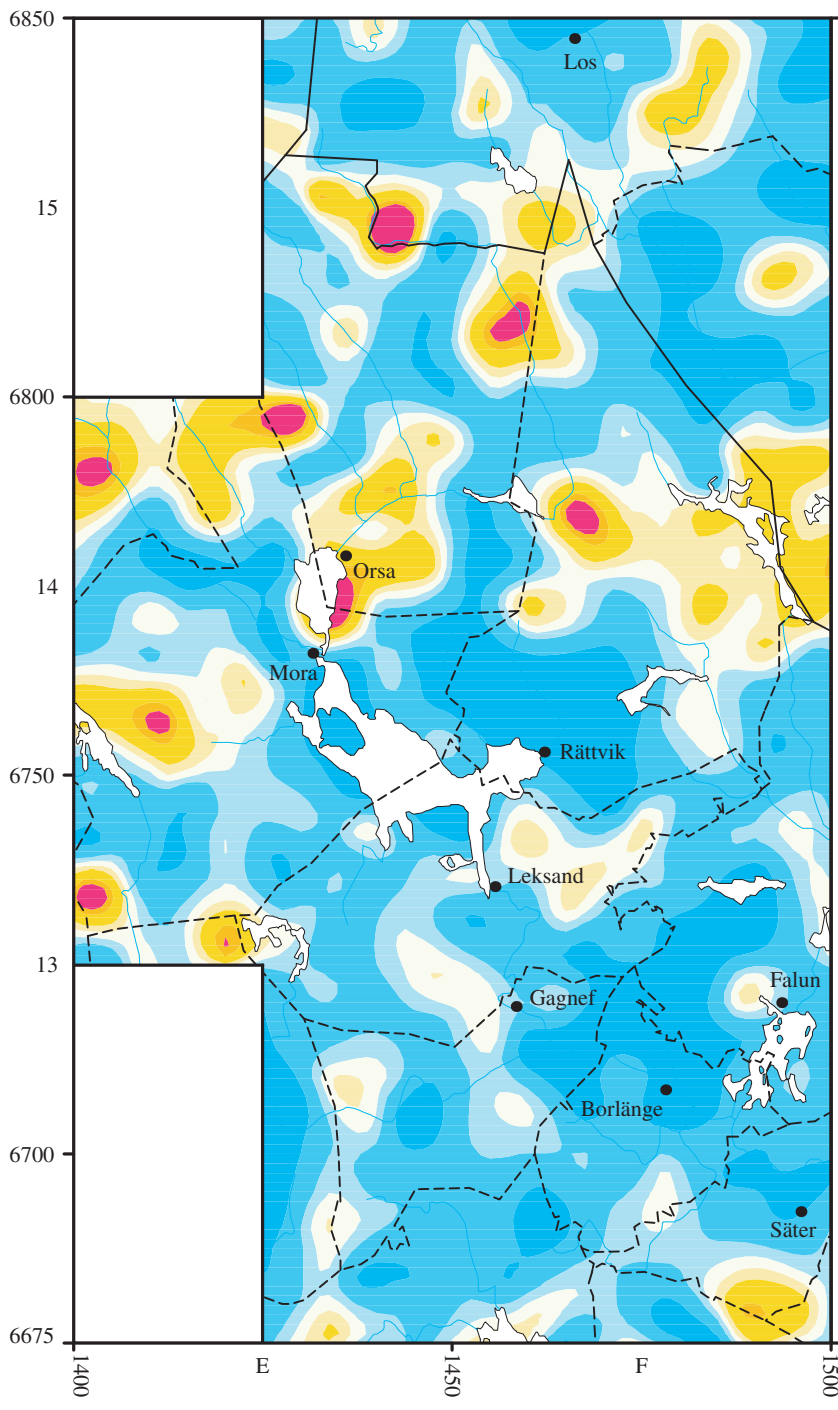










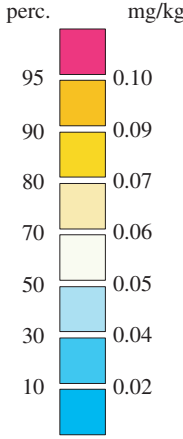


# Kvicksilver (Hg)

i bäckvattenväxter  
 Analysmetod: AAS  
 Antal prov: 381

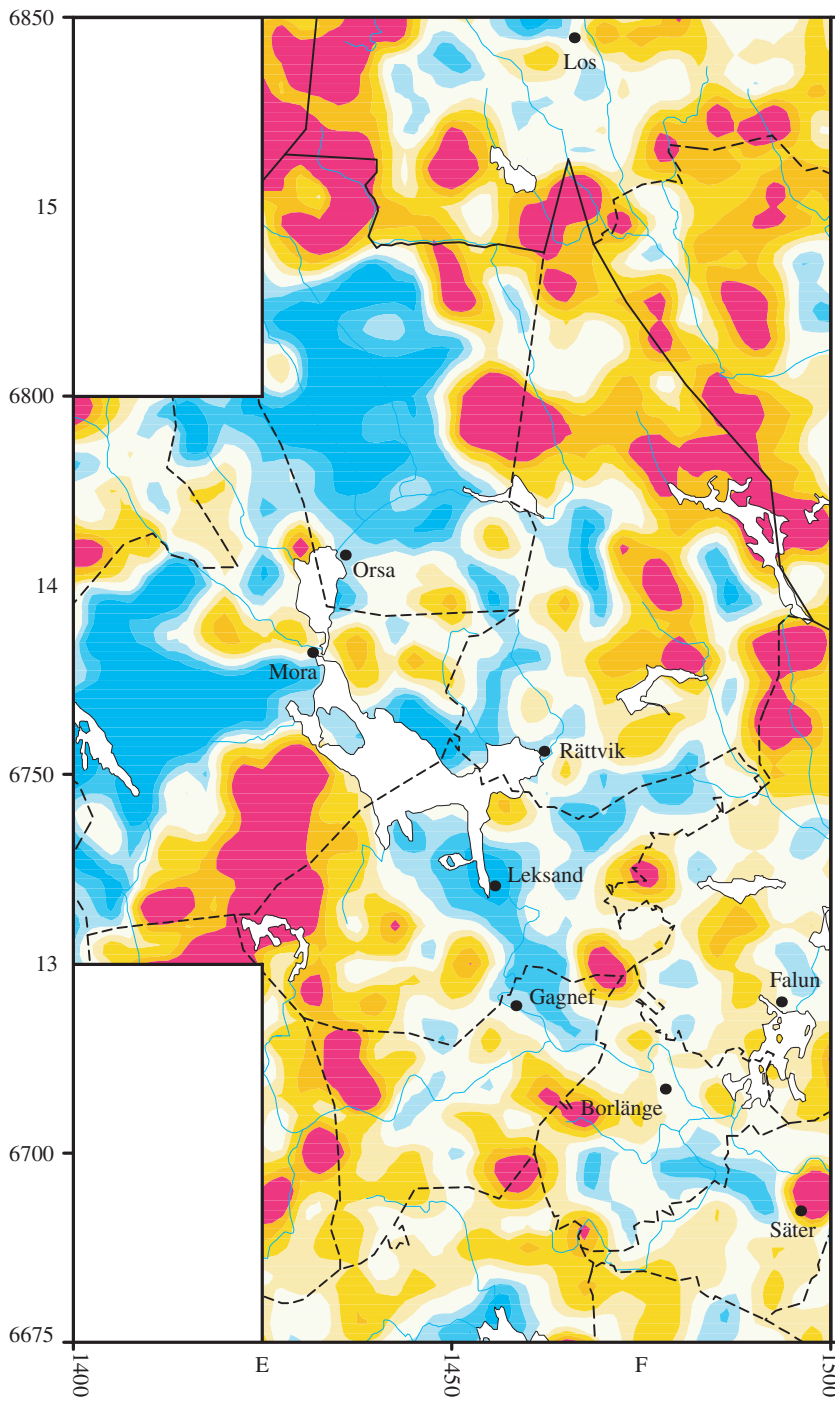
Klassindelningen anges i percentiler  
 beräknade på punktnätets interpolerade  
 värden för kartan över riket.

Skala 1:1 milj.  
 0 20 km



SGU, Geokemiska enheten 1998

MC

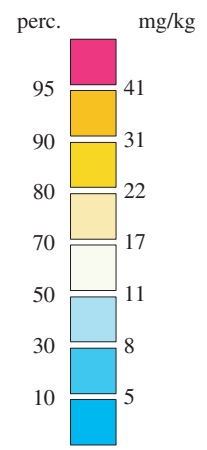


## Molybden (Mo)

i bäckvattenväxter  
 Analysmetod: XRF  
 Antal prov: 2260

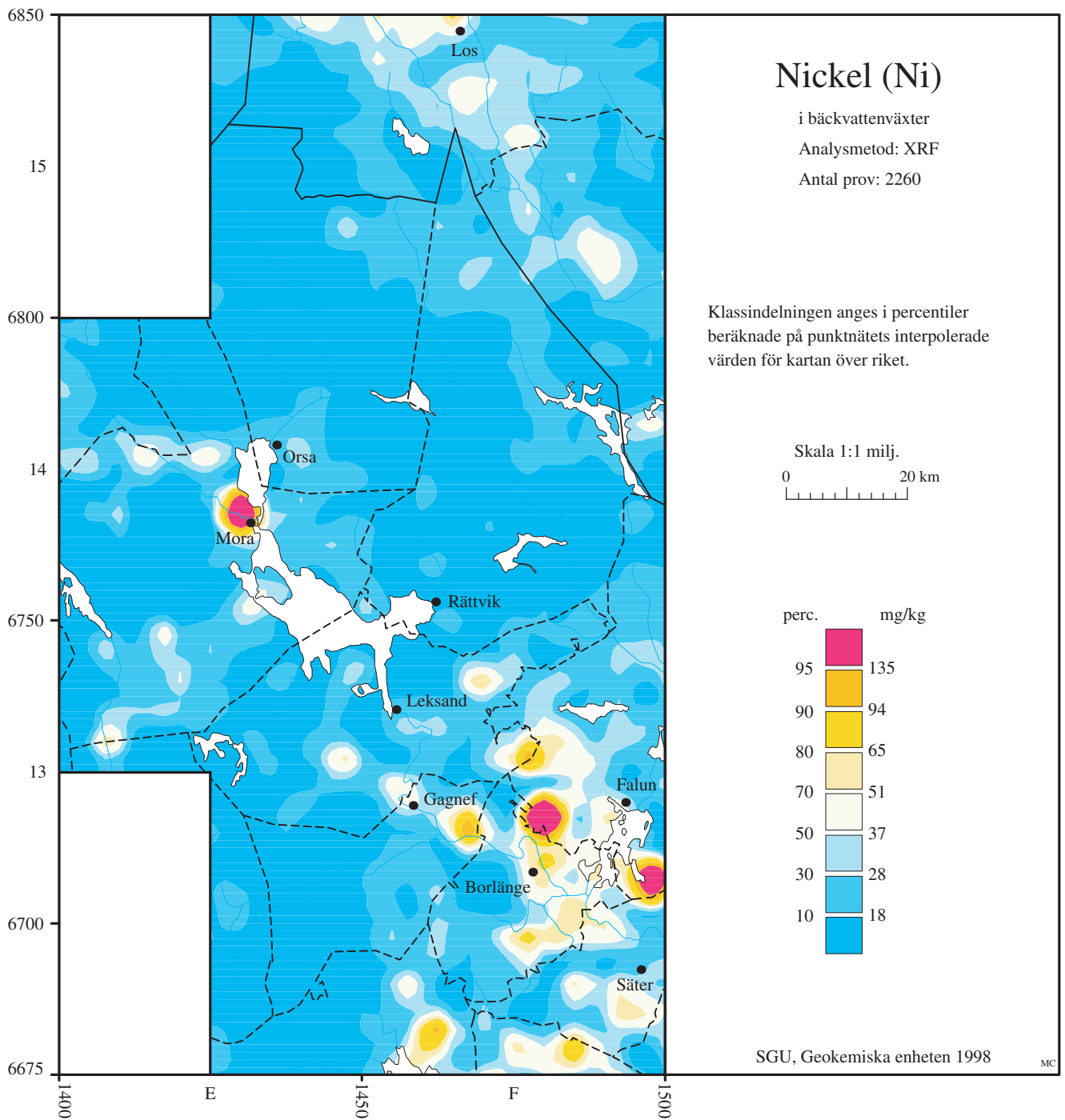
Klassindelningen anges i percentiler  
 beräknade på punktnätets interpolerade  
 värden för kartan över riket.

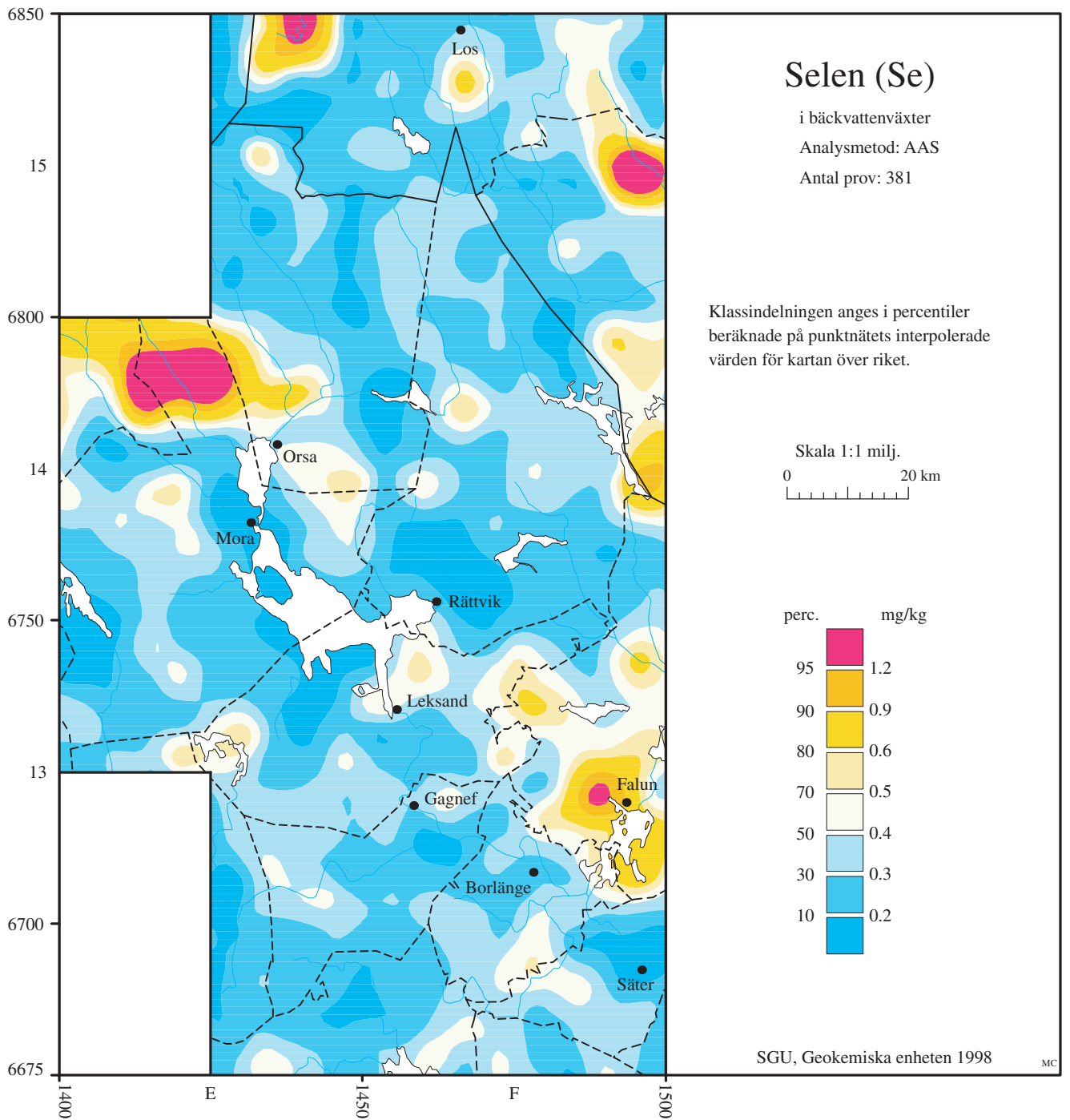
Skala 1:1 milj.  
 0 20 km

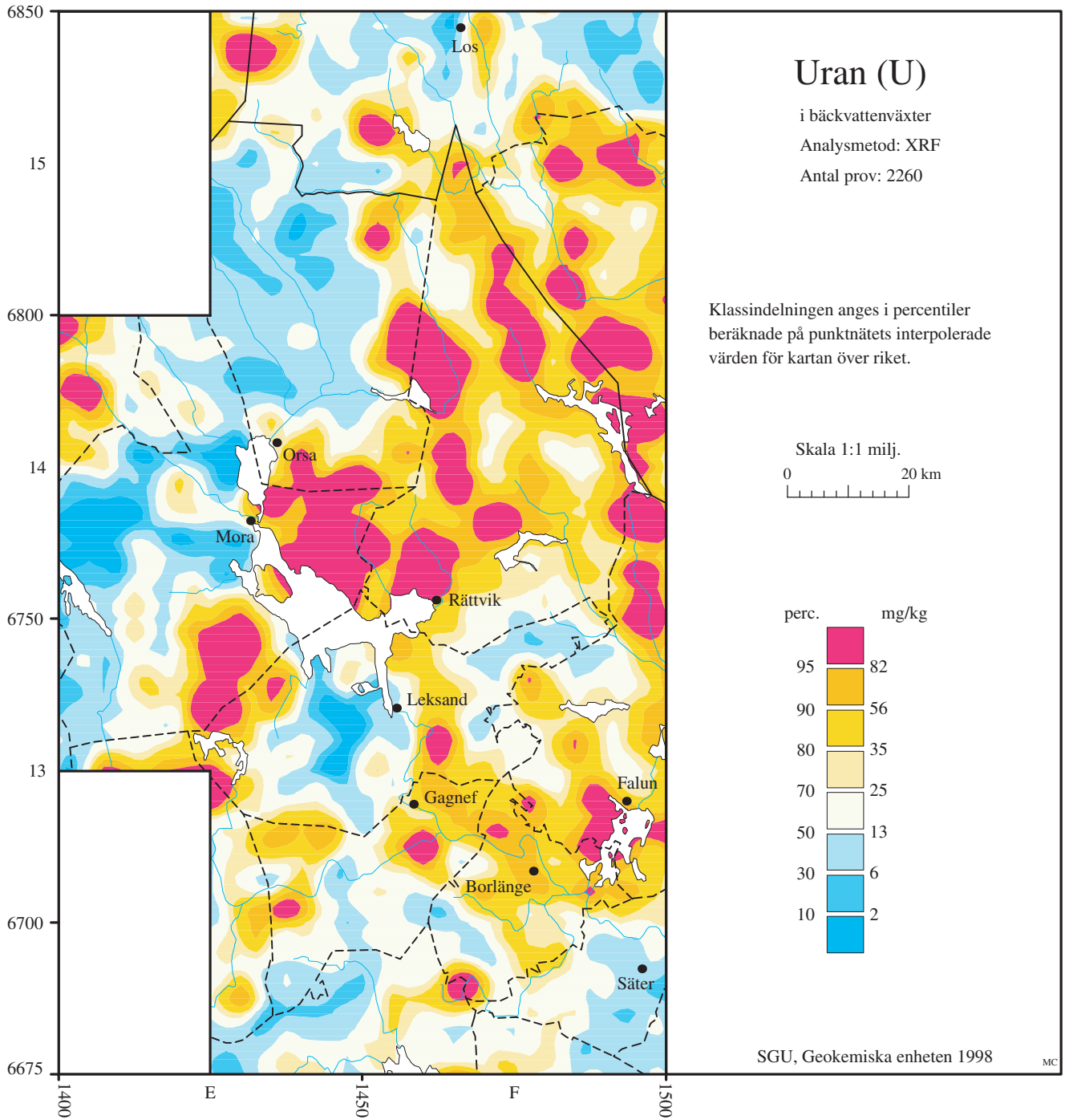


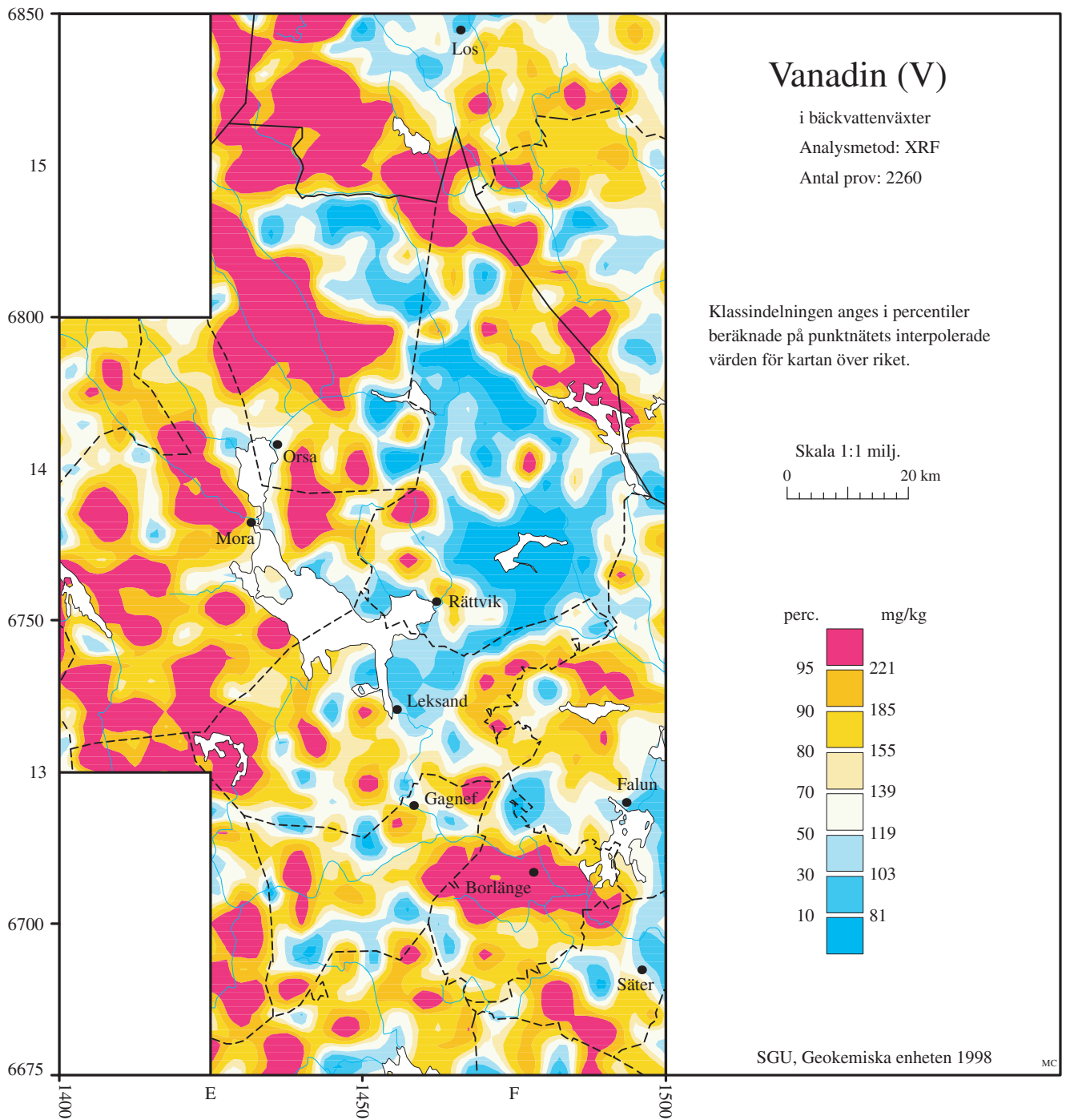
SGU, Geokemiska enheten 1998

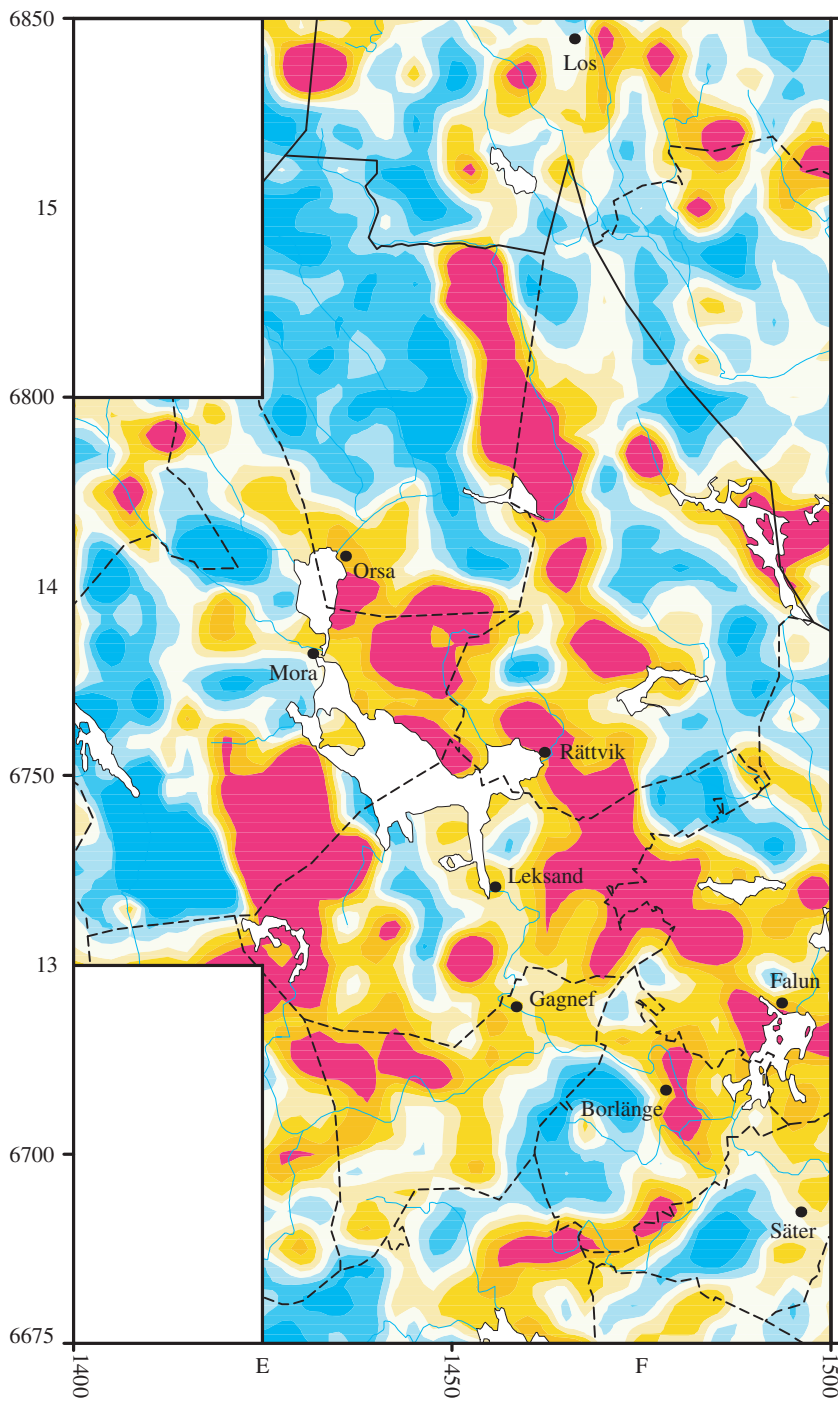
MC









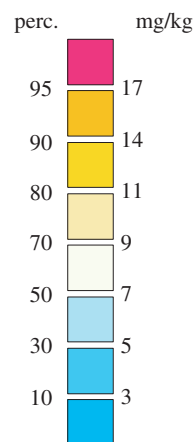


## Volfram (W)

i bäckvattenväxter  
 Analysmetod: XRF  
 Antal prov: 2260

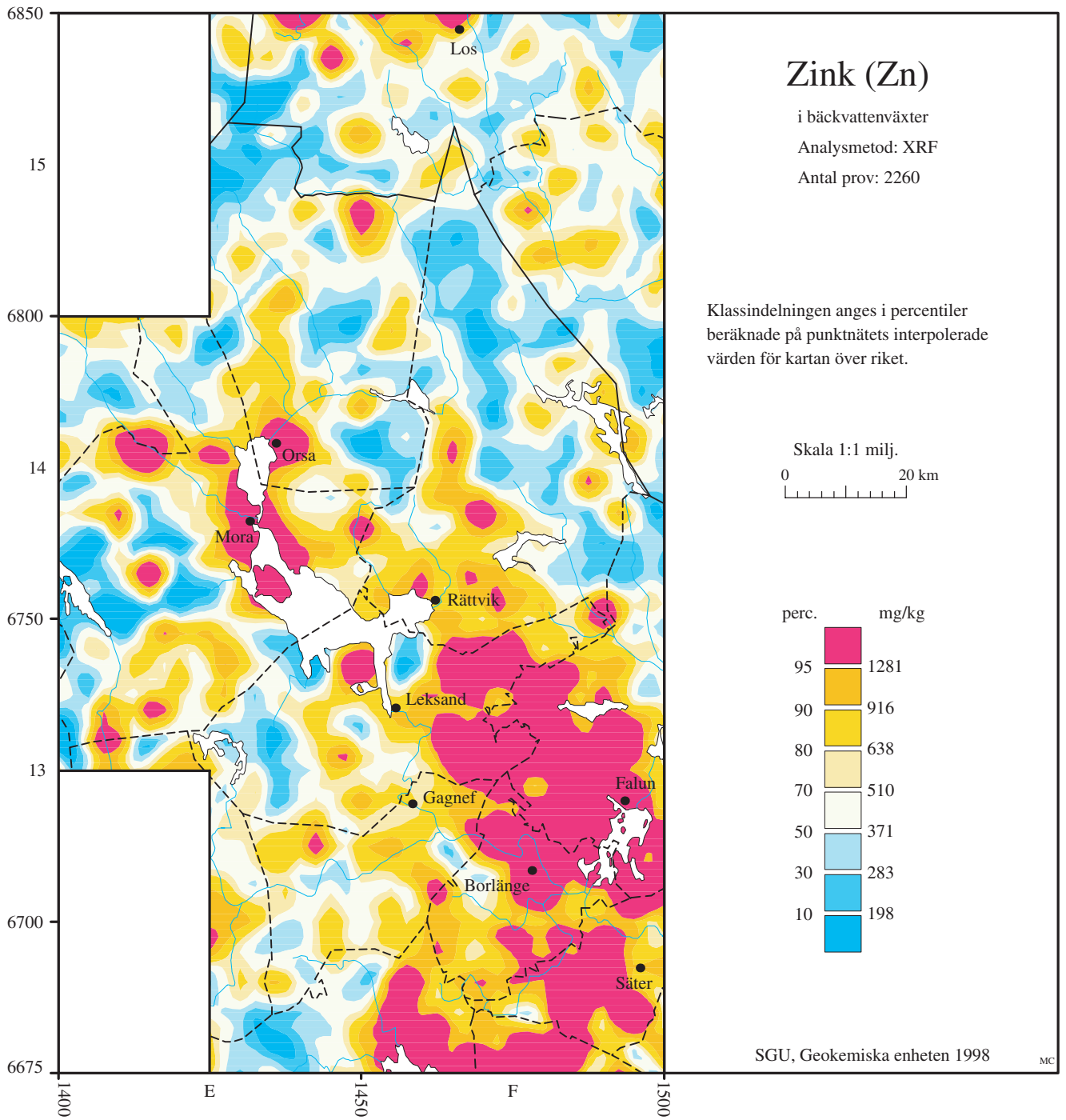
Klassindelningen anges i percentiler  
 beräknade på punktnätets interpolerade  
 värden för kartan över riket.

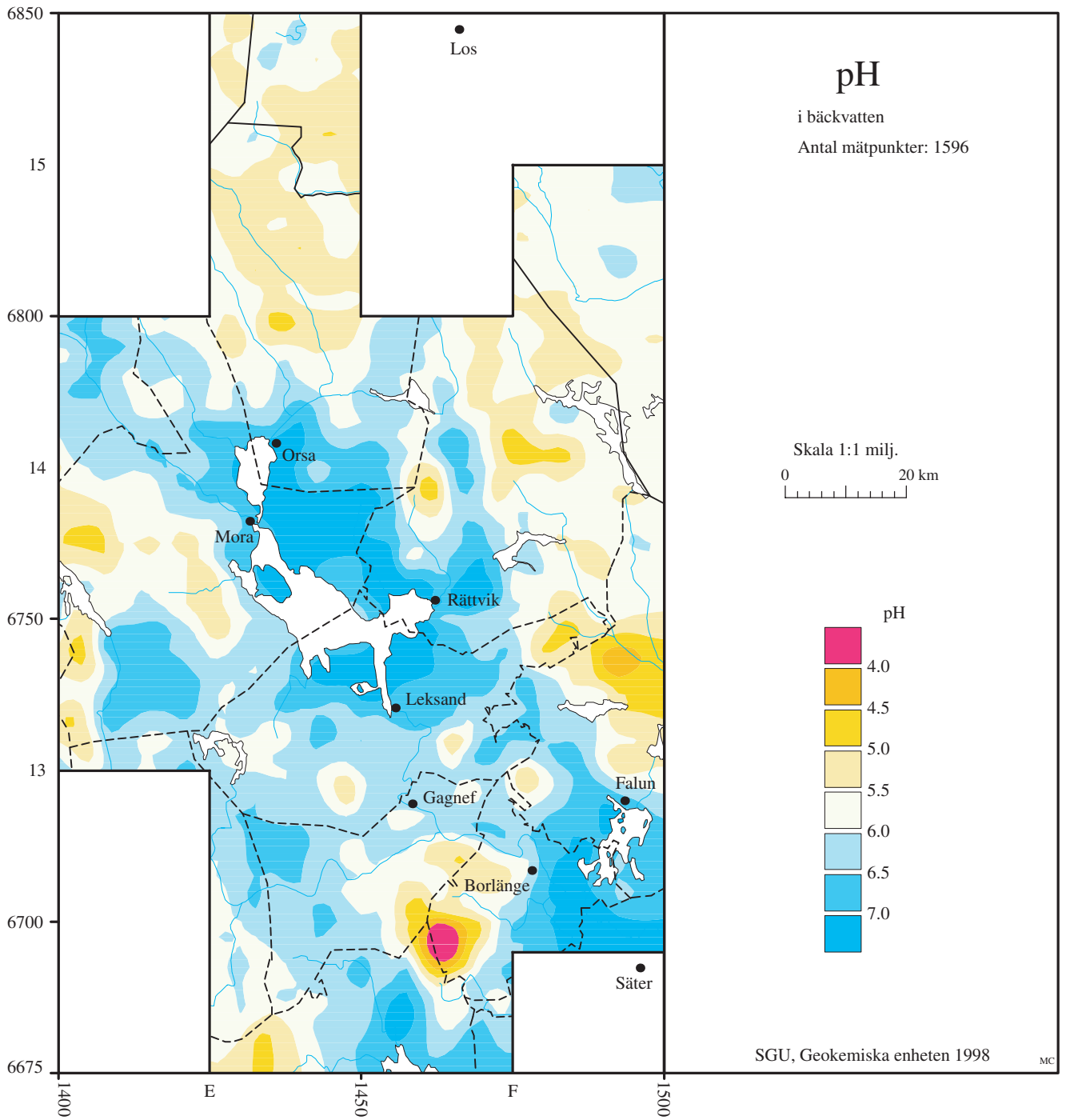
Skala 1:1 milj.  
 0 20 km


















SGU, Geokemiska enheten 1998

MC

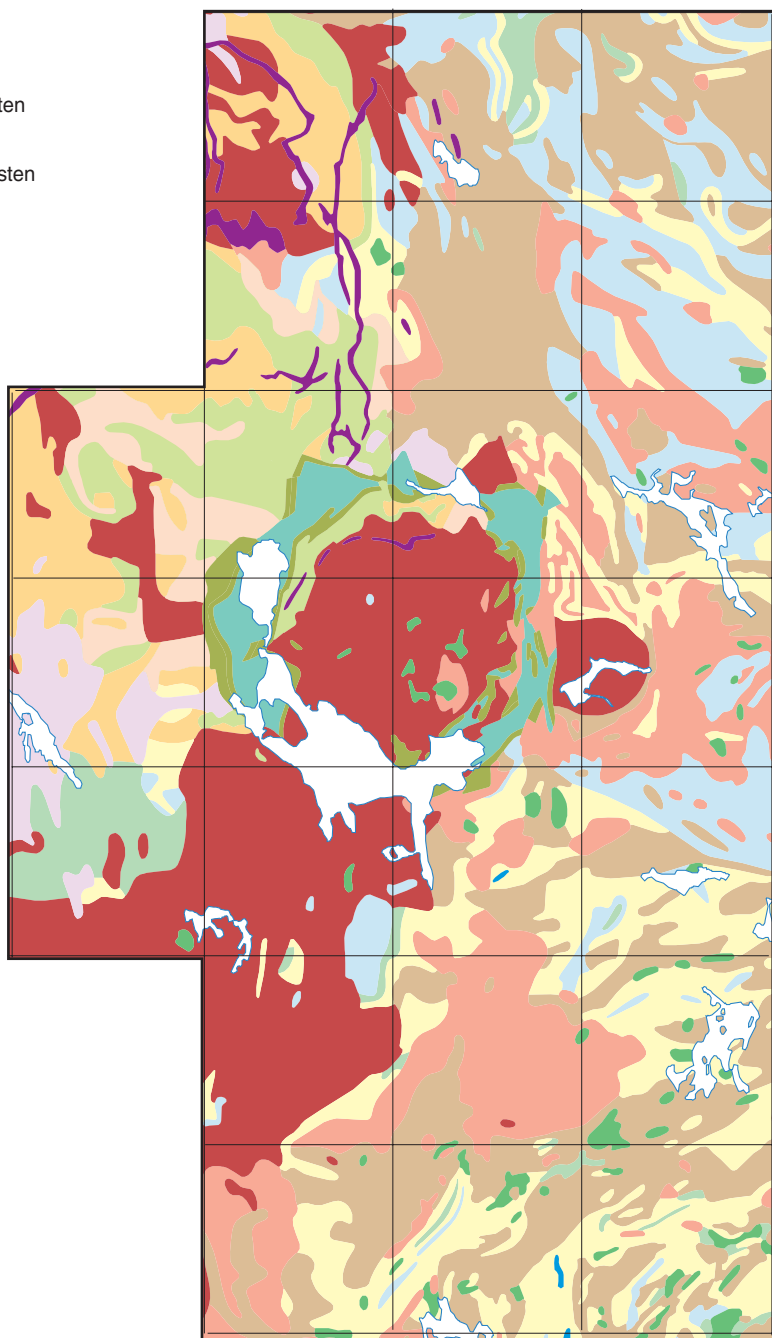




Berggrundskarta  
Bedrock map

-  Silurisk berggrund, mest sandsten
-  Ordovicisk berggrund, mest kalksten
-  Diabas
-  Dalasandsten
-  Dalagranit (inkl. Järngranit och Rätangranit)
-  Konglomerat/sandsten i Dalavulkaniter
-  Dalaporfyr
-  Dalaporfyr
-  Granit/pegmatit
-  Gnejsgranit
-  Gabbro
-  Kalksten och dolomit (urkalksten)
-  Metasediment (glimmerskiffer, kvartsit, migmatit m.m.)
-  Metavulkanit, basisk, och äldre porfyr
-  Metavulkanit, sur (leptit) och äldre porfyr

25 km

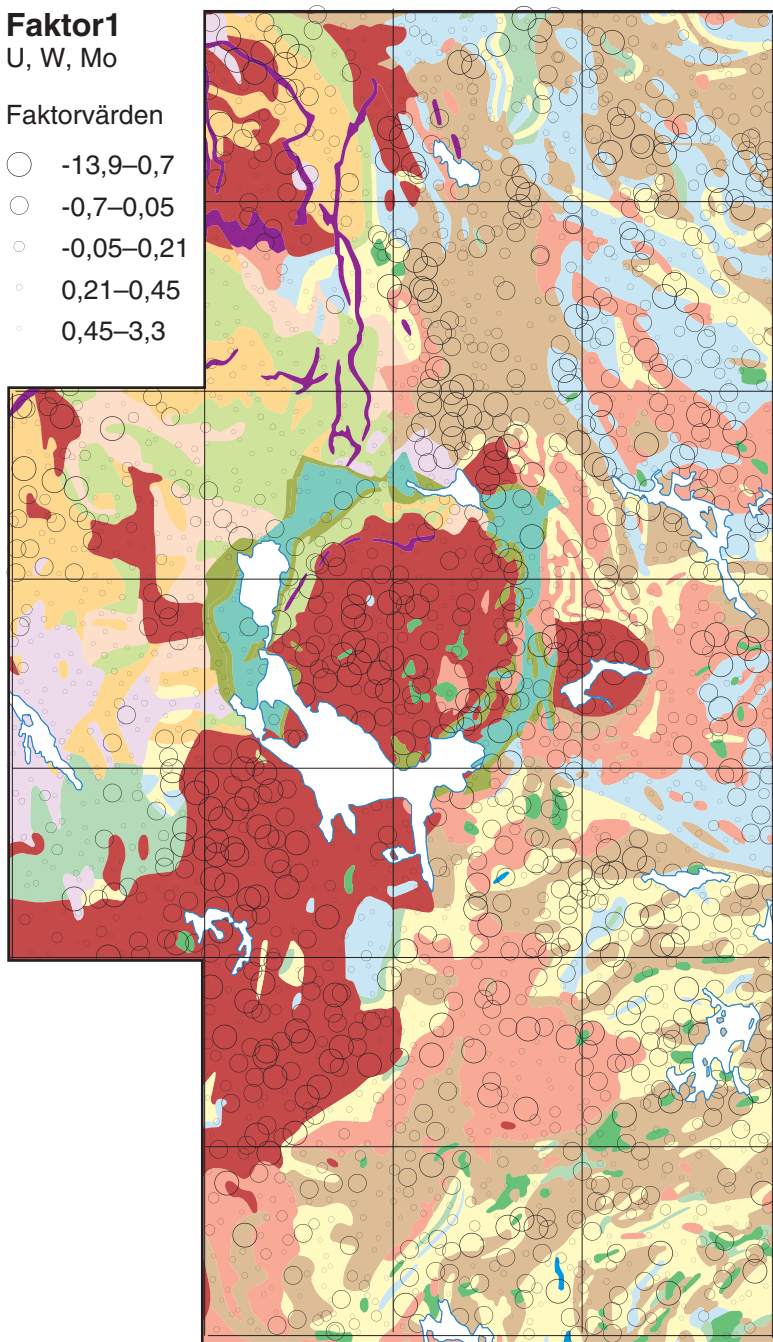


### Faktor1

U, W, Mo

Faktorvärden

- -13,9–0,7
- -0,7–0,05
- -0,05–0,21
- 0,21–0,45
- 0,45–3,3



## BERGGRUNDSGEOLOGI

Karteringsområdet utgörs främst av östra och mellersta Dalarnas län, men också delar av nordvästra Gävleborgs län och en mindre del av sydligaste Jämtlands län. Dess yta är ca 15 000 km<sup>2</sup>. Områdets berggrund är uppbyggd av olika enheter som representerar ca 1,5 miljarder år av geologisk utveckling. De östra delarna, vilka är äldst, hör till den s.k. svekofenniska provinsen och består av omvandlade sura vulkaniter, sedimentbergarter och graniter, medan de västra tillhör vad som kallats det transskandinaviska magmatiska bältet som domineras av graniter och porfyrer.

De sydöstra delarna av området utgörs av Bergslagens malmförande, svekofenniska berggrund, till stor del bestående av sura vulkaniska bergarter (leptiter), karbonatstenar och sedimentbergarter som glimmerskiffer och kvartsit. Dessa s.k. ytbergarter (avlagrade på jordens yta) innehåller stora massiv av äldre, gnejsiga, och yngre, massformiga graniter. Ett visst inslag av omvandlade grönstenar (amfibolit, gabbro) finns också. De nämnda bergarterna bildades i samband med den s.k. svekokarelska bergskedjebildningen (orogesen) och kan idag ses i de nederoderade rötterna av denna bergskedja.

Bergslagens malmer och mineraliseringar innehåller främst sulfider av koppar, zink, bly och järn samt oxider av järn. Järnmalmerna kan indelas i tre olika typer: kvartsbandade järnmalmer, skarnjärnmalmer och apatitjärnmalmer. De kvartsbandade malmerna består av band av hematit, magnetit och kvarts, och anses vara bildade genom kemiska utfällningar och sedimentation i vulkaniskt aktiv miljö. Skarnjärnmalmerna består av skarnsilikat (silikat med Ca, Mg och Fe) och magnetit, medan apatitjärnmalmerna, vilka varit de ekonomiskt viktigaste, består av magnetit, något hematit, apatit och små mängder av bl.a. kvarts. Skarnjärnmalmerna har troligtvis ett liknande ursprung som de kvartsbandade järnmalmerna, medan apatitjärnmalmerna kan ha bildats genom intrusioner i leptiterna (Lindström et al. 1991).

Sulfidmalmerna förekommer i samband med de sura vulkaniterna och anses bildade genom hydrotermal aktivitet orsakad av vulkanismen. Olika typer av mineraliseringar förekommer. De innehåller främst kopparkis, zinkblände, blyglans samt svavel- och magnetkis. Spår av metaller som Mo, As, Se, Au, Bi, Hg och Sb kan ingå (Lindström et al. 1991). Malmerna och mineraliseringarna utgörs av ådror eller mer kompakta kroppar, men också av impregnationer i sidoberget (Hjelmqvist 1966).

I Bergslagen förekommer också mineraliseringar av bl.a. Mo och W (SIND 1983). De är knutna till granitintrusioner i de vulkaniska bergarterna.

De centrala och västliga delarna av undersökningsområdet utgörs till stora delar av vulkaniska och sedimentära bergarter samt graniter med åldrar kring 1700 och 1800 miljoner år. Dessa bergarter tillhör det transskandinaviska magmatiska bältet och har bildats efter den svekokarelska bergskedjebildningen (SIND 1983). Vulkaniterna kan indelas i två kemiskt skilda huvudgrupper, dels sura (porfyrer) och dels basiska till intermediära (porfyriter). Merparten av de förra är ca 1700 miljoner år gamla och benämns Dalaporfyrer. De är till sammansättningen ryoliter eller kvartstrakyter och utgörs mest av s.k. ignimbriter, uppkomna ur glödande askmoln. De basiska till intermediära vulkaniterna, Dalaporfyriterna, uppvisar oftast en basaltisk till andesitisk sammansättning och bildades ursprungligen som lavar, tuffer, breccior och agglomerat. I växellagring med Dalaporfyrer och -porfyriter uppträder sandstenar och konglomerat, benämnda Digerbergsbildningar efter Digerberget i Orsa.

I nära sammanhang med Dalaporfyterna står vissa graniter, benämnda Dalagraniter. Hit hör främst Siljans- och Garbergsgraniterna. Tidigare räknades också Järngraniten hit (se kartan), men åldersbestämningar har visat att den är ca 100 miljoner år äldre än de båda nämnda graniterna.

På porfyreterna och de besläktade graniterna (Dalagraniterna, främst Siljans- och Garbergsgraniterna) vilar längst i väster den jotniska sandstenen (Dalasandstenen). Den

har avsatts i floddeltan och insjöar men även i form av sanddyner någon gång mellan 1250 och 1700 miljoner år tillbaka i tiden. Sandstenen uppvisar en största mäktighet av 800 m och innehåller ställvis skikt av konglomerat och lerskiffer. I sandstenen finns relativt mäktiga vulkaniska lager av basalt, den s.k. Öjebasalten.

Dalasanstenen är liksom den äldre berggrunden genomdragen av diabasgångar vilka i huvudsak tillhör två olika generationer. Större mängder av diabas förekommer främst i den norra delen av kartområdet. Bergarten uppträder här mest som flackliggande intrusioner och benämns då Åsby- och Särnadiabas. Dessa diabaser har åldern 1250 miljoner år. Bergarten förekommer även som en svärm av smala (vanligen <100 m), branta gångar med NNV-lig rikning. Dessa gångar, med en ålder av ca 950 miljoner år, är en del av ett större diabasstråk, som via Bergslagen går ända ned till Blekinge och Bornholm.

Den yngsta berggrunden i Dalarna finns i Siljansringen och består av ordoviciska och siluriska kalkstenar, skiffrar och sandstenar. Siljansringen har fått sin ringformade struktur genom ett meteoritnedslag under senare delen av devonperioden (Lindström et al. 1991, Sveriges Nationalatlas 1994, Berg och jord). Vid nedslaget krossades berggrunden och de ordovicisk-siluriska sedimentbergarterna brantställdes delvis.

## **KVARTÄR UTVECKLING OCH JORDARTSGEOLOGI**

Södra Dalarna hör till nordvästra Svealands moränområde medan de norra delarna hör till södra och mellersta Norrlands morän- och myrområde (Sveriges Nationalatlas 1994, Berg och jord).

Inlandsisens tillbakadragande inom undersökningsområdet påbörjades för ca 9900 år sedan och pågick till ca 9500 år sedan, m.a.o. i ungefär 400 år. Den huvudsakliga isrörelseriktningen inom området var nordvästlig–sydostlig.

I södra delen av undersökningsområdet, tillhörande nordvästra Svealands moränområde, domineras jordarterna av morän. Så gott som hela området ligger över HK förutom Dalälvens dalgång vilken sträcker sig från Borlänge i nordvästlig riktning upp mot Siljan. Moränen domineras främst av den lokala bergartssammansättningen, vilket gör att den i de södra delarna är urbergsdominerad och i de västra delarna sandstens- och porfyrdominerad.

De norra delarna av undersökningsområdet som hör till södra och mellersta Norrlands morän- och myrområde har hela tiden legat över HK. (Sveriges Nationalatlas 1994, Berg och Jord).

Jordarterna i Dalälvens dalgång domineras av finsediment och sand. I området runt Siljan samt i älvdalarna i norra Dalarna är isälvsediment det vanligaste sedimentet, medan sand, grus och lera är av underordnad betydelse.

## **TOPOGRAFI OCH MORFOLOGI**

Undersökningsområdet tillhör den s.k. Norrlandsterrängen. Terrängtypen inom undersökningsområdet kan betraktas som bergkullterräng med oregelbundna dalstråk. Dessa är utsträckta i NV–SO-lig riktning.

Topografiskt stiger landskapet från SO till NV vilket ger en hög korrelation med åldersförhållanden hos bergarterna. Hårda bergarter såsom diabas och gabbro sticker upp över den flacka sandstenen i de nordvästra delarna av undersökningsområdet medan den äldre berggrunden i sydväst är mer nederoderad.

## ANTROPOGEN AKTIVITET INOM KARTERINGSOMRÅDET

Den antropogena aktiviteten är som störst i områdets sydöstra del med tätorter som Falun och Borlänge. De orter och vägar som kan inverka på bäckvattengeokemin är främst belägna i älvdalgångarna och sammanfaller således med sedimentområden med ler, sand och isälvssediment. Jordbruksområdena är relativt små och i huvudsak koncentrerade till dalgångarna i sydöst och i Siljansringen.

Ett antal miljöfarliga anläggningar, klassificerade enligt Sveriges Nationalatlas: Miljön (1991), är belägna inom karteringsområdet. Hit räknas järn/ferrolegeringsverket i Borlänge, skogsindustrier i Grycksbo och Borlänge samt större verkstadsindustrier i Falun. I Mora och utanför Borlänge finns flygplatser.

Äldre antropogen verksamhet som ännu idag kan tänkas påverka den geokemiska kartbildningen är gruvdriften och tillhörande kringverksamhet i Faluområdet, exempelvis framställningen av svavelsyra, rödfärg och kulsinter. Hyttverksamhet har även funnits i andra delar av provtagningsområdet, bl.a. runt Siljan. Annan antropogen verksamhet som ger förhöjda metallhalter, bl.a. Cr, är skinnberedning som exempelvis förekommit i Malungstrakten ända från 1600-talet (Rydberg 1992).

Inom undersökningsområdet har ett mindre antal sjöar och vattendrag kalkats. Ett fåtal små sjöar har befunnits påtagligt försurade även efter kalkningen.

## STATISTISK BEHANDLING AV ANALYSVÄRDEN

Statistiska metoder och analyser används vid tolkning av geokemiska analysdata. Detta för att underlätta tolkningen och för att kunna påvisa signifikanta trender och samband mellan de kemiska elementen.

Vid statistisk bearbetning och vid framställning av kartor används residualvärden av de biogeokemiska analyserna. Analysvärdena är korrigerade med stegvis regressionsanalys mot halten av Fe, Mn och organiskt material. För varje element (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, U, V, W, Zn) görs en individuell korrigerings gentemot ovan nämnda element och organiskt material. Ifall kartframställningen skulle baseras på analytiska råvärden skulle kartorna visa elementvariationer som till en del skulle vara betingat av Fe, Mn och organiskt material istället för geologiska och antropogena faktorer. Detta skulle försvåra tolkningen av haltvariationen för de olika elementen avsevärt.

## KVALITETSKONTROLL

Analyskvaliteten kontrollerades med hjälp av duplikat- och replikatprov inbakade i de ordinarie analyserna. Ordinarieprovet är uppdelat i tre delar som analyseras vid olika tidpunkter. Ordinarieprovet analyseras enligt sitt provnummer, medan det andra provet analyseras sist i varje hundratalsserie (duplikat) och det tredje provet analyseras sist i hela analysgången (replikat).

Genom en jämförelse mellan duplikat- och replikatprovet erhålls ett mått på analyskvaliteten. Dessa jämförelser görs bäst med hjälp av korrelationsplotter eller -beräkningar. Ifall spridningen (mellan x- och y-variablerna) är stor är korrelationen låg vilket ger en korrelationskoefficient nära 0, medan en hög korrelation sammanfaller med linjen  $x = y$  i diagrammet och ger en korrelationskoefficient nära 1 (tabell 4).

**Tabell 4.** Korrelationskoefficienter (Spearman) för ordinarieprov, duplikat och replikatprov i bäckvattenväxter. Or=ordinarieprov, Dupl.=duplikatprov och Repl.=replikatprov;  $r_s > 0,45$  är signifikant på 95% konfidensnivå.  $n=21$ .

*Table 4. Spearman rank correlations for original, duplicate and replicate analyses, Or=original sample, Dupl.=duplicate sample and Repl=replicate sample;  $r_s > 0,45$  are significant at the 95% level of confidence.  $n=21$ .*

Element	Or-Dupl.	Or-Repl.
<b>As</b>	0,97	0,91
<b>Pb</b>	0,98	0,98
<b>Co</b>	1,00	1,00
<b>Cu</b>	0,98	0,98
<b>Cr</b>	0,94	0,96
<b>Mo</b>	0,97	0,98
<b>Ni</b>	0,93	0,97
<b>U</b>	0,86	0,94
<b>V</b>	0,99	1,00
<b>W</b>	0,29	0,88
<b>Zn</b>	1,00	0,99

## KORRELATIONSANALYS

Korrelationen mellan elementhalterna samt korrelationen mellan duplikat-, replikat- och originalprov undersöktes med Spearman rang-korrelation. Spearman-metoden baserar sig på en rangordning av variablerna istället för enbart en undersökning av linearitet som Pearson-metoden använder. Då Pearson-metoden enbart mäter lineära korrelationer är en normalfördelad datamängd ett måste. Spearman-korrelationen mäter alla slag av systematiska samband mellan variabelparen. Eftersom analysvärdena inte är normalfördelade och innehåller ett antal outliers användes Spearman-metoden som inte kräver normalfördelade data och inte är lika känslig för anomala värden. Spearmans rangkorrelation lämpar sig bättre för korrelationsberäkningar i geokemiska undersökningar p.g.a. att man är intresserad av alla samband och inte enbart av lineära samband (Garrett 1993).

Korrelationskoefficienter som är högre än  $\pm 0,2$  kan anses som signifikanta på 5% risknivå och är markerade med fet stil, medan korrelationskoefficienter större än  $\pm 0,35$  är signifikanta på 1% risknivå (tabell 5) (Reeves & Brooks 1978).

**Tabell 5.** Korrelationsmatris (Spearman) på elementens residualvärden inom karteringsområdet. Korrelationskoefficienter  $> + 0,20$  och  $< -0,20$  är signifikanta på 95% konfidensnivå,  $n = 291$ .

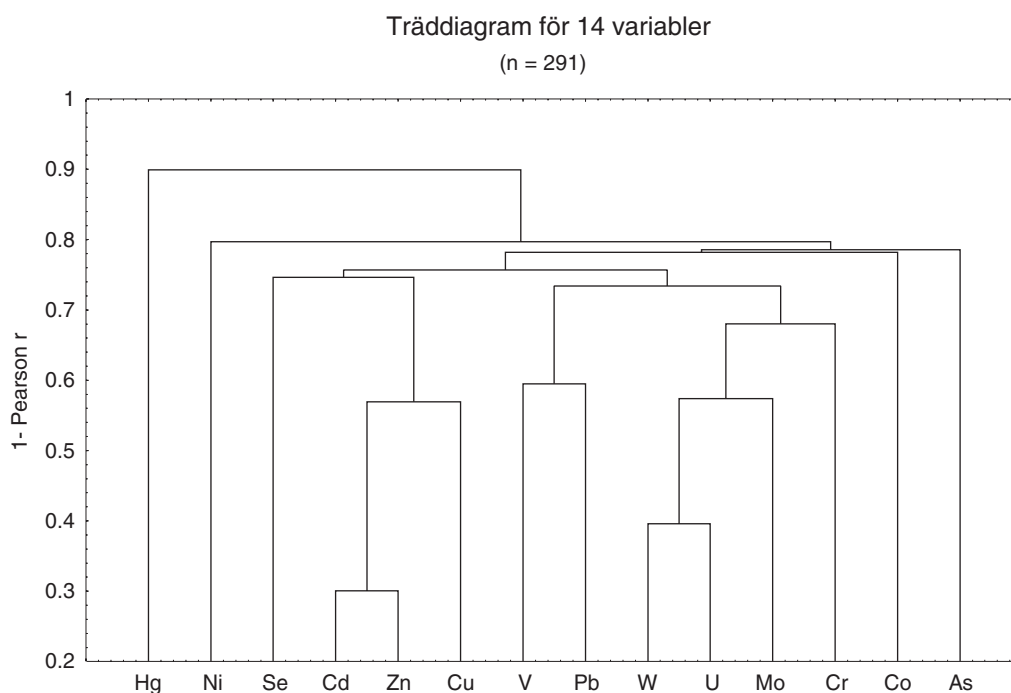
*Table 5. Spearman rank correlation matrix for corrected analytical values of the chemical elements for maps presented in this report. Coefficients  $> + .20$  and  $< -.20$  are significant at 95% level of confidence,  $n = 291$ .*

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	U	V	W	Zn
As	1													
Cd	0,19	1												
Co	-0,08	0,10	1											
Cr	0,22	0,23	0,14	1										
Cu	0,15	0,46	0,10	0,38	1									
Hg	-0,20	0,03	0,07	-0,09	0,01	1								
Mo	0,16	0,13	0,12	0,43	0,04	-0,13	1							
Ni	0,17	0,54	0,32	0,36	0,45	-0,07	0,16	1						
Pb	0,18	0,09	0,22	0,01	0,08	0,13	0,16	-0,03	1					
Se	-0,12	0,15	0,22	0,03	0,19	0,31	0,03	0,16	0,44	1				
U	-0,01	0,28	-0,03	0,38	0,33	-0,07	0,50	0,27	-0,09	0,14	1			
V	0,23	0,06	0,28	0,23	0,12	0,10	0,13	0,10	0,46	0,27	-0,02	1		
W	-0,01	0,33	-0,06	0,33	0,39	0,03	0,25	0,21	0,06	0,22	0,57	0,02	1	
Zn	0,11	0,78	0,06	0,12	0,48	0,08	0,05	0,52	0,09	0,21	0,27	0,09	0,36	1

## KLUSTERANALYS

Klusteranalys kan beskrivas som ett sätt att visualisera höga korrelationer mellan enstaka variabler, men också korrelationer mellan kluster (grupper) av variabler. Ur klusteranalysplotten framgår även alla variabelers förhållande till varandra i ett s.k. hierarkiskt träd. Detta hierarkiska träd innehåller grupperingar (kluster) som i sin tur är hoplänkade med ett annat kluster o.s.v. Till sist är alla variabler hoplänkade med varandra på olika avstånd. Avståndet på vilket variablerna eller klustren är länkade med varandra visar hur nära ”besläktade” de är med varandra.

I klusteranalysen användes samma variabler som för korrelationsmatrisen, dvs. alla karteringselement (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, U, V, W och Zn). Avståndet som elementförhållandena mäts i är  $1 - \text{Pearson } r$  (1 minus Pearsons korrelationskoefficient) (fig. 2).



**Figur 2.** Klusteranalysplott i form av ett träddiagram för biogeokemiska residualvärden inom karteringsområdet. n=291.

*Figure 2. Cluster analysis in a hierarchical tree diagram plotted for corrected analytical biogeochemical values within the study area. n = 291.*

## FAKTORANALYS

Faktoranalysen baseras på korrelationsanalysen. Den är en statistisk metod, där en komplex datamängd förenklas, genom att variablerna indelas i faktorer och där varje faktor representerar ett kluster av nära relaterade variabler (Davies & Wixson 1987). Metoden är användbar för att få ett statistiskt underlag för olika elementassociationer och för att reda ut hur stor inverkan de enskilda elementens fördelning har på varandra.

Faktoranalysen beräknades på analysvärden av 2407 analyser. Statistikprogrammet Statistica av StatSoft, användes för faktorberäkningarna. Inställningarna i faktorberäkningarna ställdes in på "varimax raw"-rotation med minimum "eigenvalue" på 1,0. Minsta "eigenvalue" valdes efter en "scree"-plott vilket är ett grafiskt hjälpmedel för att bedöma förhållandet mellan minsta "eigenvalue" och faktorernas antal samt när faktorernas antal endast bidrar försumbart till totalvariationen.

Ju närmare värdet 1,0 ett faktorvärde för en variabel ligger desto större inverkan har den variabeln på den specifika faktorn som variabeln ingår i. Negativa faktorvärden betyder att dessa variabler har en antagonistisk (motverkande) inverkan på variabler med positivt förtecken inom faktorn ifråga. Faktorvärden som är  $< 0,1$  och  $> -0,1$  är markerade med  $<$  och kan anses som icke signifikanta. Med faktormodellen nedan kan 73,1 % av den total variationen för variablerna beskrivas (tabell 6).

**Tabell 6.** Faktorvärden för residualvärden på bäckvattenväxtanalyser. Loadings mellan 0,10 och -0,10 och är markerade med <. n = 2407.

*Table 6. Factorloadings for corrected analytical biogeochemical values within the study area. Loadings between .10 and -.10 are marked with <. n = 2407.*

Variabel	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6
As	<	<	<	<	0,986	<
Co	<	<	<	<	<	-0,839
Cr	<	0,813	0,225	0,156	<	0,158
Cu	<	0,256	<	0,814	<	0,187
Mo	-0,619	<	0,438	<	<	<
Ni	<	0,785	-0,212	<	0,115	-0,276
Pb	<	-0,133	0,349	0,373	<	-0,571
U	-0,822	<	<	<	<	<
V	<	<	0,841	<	<	-0,134
W	-0,822	<	<	<	<	<
Zn	<	<	-0,184	0,782	<	-0,306
Förkl. %	16,0	12,5	10,6	13,2	9,2	11,6

**Faktor 1:** Granitelement med negativ laddning antigranitfaktor; låga faktorscores har hög korrelation med graniter. Förklaringsprocent 16%.

**Faktor 2:** Cr, Ni, Cu, Förklaringsprocent 12,5%.

**Faktor 3:** V, Mo, Pb, Förklaringsprocent 10,6%.

**Faktor 4:** Cu, Zn, Pb. Malmmetallerna för Bergslagen. Faktorn sammanfaller väl med de malmförande leptiterna i de sydöstra delarna av undersökningsområdet. Förklaringsprocent; 13,2%.

**Faktor 5:** As + Ni. Faktorn styrs helt av As. Förklaringsprocent 9,2%.

**Faktor 6:** Co, Pb, Zn, Ni negativa + låga scores på Cu, Cr (positiva). Förklaringsprocent 11,6%.

## PH-MÄTNINGAR AV BÄCKVATTEN

I samband med bäckvattenväxtprovtagningen mäts också pH i bäckvattnet. Mätningarna ger ett riktvärde på vattnets pH-värde i respektive bäck vid provtagningstillfället. Vid mätningarna används s.k. ”pH-pennor”, vilka är små vattentäta pH-mätare. Varje bäck mäts med två pH-mätare och medelvärdet används vid framställningen av pH-kartan (s. 27). Mätarna kalibreras mot två standardlösningar (pH=7,0 och pH=4,0) i början av varje provtagningsdag samt även vid behov under dagen.

Låga pH-värden (pH <5,5) förekommer i allmänhet främst i skogsmarker där tillgången på humusämnen är rik, medan älvdalsterräng och slättland med tillhörande jordbruk och mindre mängd humussyror uppvisar pH-värden nära det neutrala (pH 6– 7). Kalkberggrunden kring Siljan och urbergskalken inom leptitområdena ger högre pH-värden inom kartans område.

## ELEMENTASSOCIATIONER

### Uran (U), volfram (W) och molybden (Mo)

Faktor nr 1 är den starkaste faktorn inom undersökningsområdet med en förklaringsprocent på 16 % av totalvariationen (tabell 6 och faktorkartan på s. 29). Även i angränsande områden framträder denna elementassociation med U, W och Mo som en stark faktor (Nilsson & Ressar, 1995 och Holmberg & Ressar 1997). En förklaring är att denna grupp av metaller härstammar från granitiska bergarter vilka är allmänt förekommande i

den svenska berggrunden. Inom undersökningsområdet är det framförallt Siljansgraniten som tydligt framträder i kartbildens centrala delar.

Uran och volfram tillhör gruppen litofila element, vilket innebär att de i första hand förekommer i silikatmineral ( $\text{SiO}_2$ ). Molybden tillhör både den litofila och siderofila gruppen och har alltså släktskap både med silikater och med järn. Jonradien hos  $\text{W}^{6+}$  och  $\text{Mo}^{6+}$  är nästan identiskt lika vilket medför att de enkelt kan substituera för varandra i olika mineralgitter. I praktiken innebär detta att de tre elementen kan förekomma i flertalet allmänt förekommande mineral i den svenska berggrunden.

Medelhalter i mg/kg för respektive element i vissa bergarter.

	U	W	Mo
Graniter	5–40	0,5–1,5	1–2
Alunskiffrar	72–300	170–260	30–200

I kartan på s. 29 som visar fördelningen av faktorladdningar i varje punkt framträder ett högområde som väl sammanfaller med Siljansgranitens utbredning. Även övriga graniter inom kartbilden sammanfaller väl med höga faktorvärden för faktor nr 1. I undersökningsområdets nordvästra delar framträder en allmän trend med låga faktorvärden vilket sammanfaller med utbredningen av Dalaporfyrer och Dalasandsten.

Nordost om Säter framträder en lokal W-Mo-anomali över en känd mineralisering, nämligen Bispsbergsfältet. I anslutning till den järnmalmsförande leptiten i området har en ovanligt mineralrik granitkropp trängt fram och utbildat ett isolerat massiv, Bispsbergs-klacksgniten. Inom denna något ovanliga granitformation påträffas mineral som scheelit och molybdenglans, vilka sannolikt är den bidragande källan till den lokala anomalin för W och Mo.

## Krom (Cr), nickel (Ni) och koppar (Cu)

Denna elementkombination härrör i första hand från mörka kiselsyrafattiga bergarter, dvs. basiska bergarter som gabbro, diabas och diorit. Metallerna kan dels förekomma som sulfidmineral i dessa bergarter och dels som spårelement i bergarternas mörka mineral som amfibol och biotit.

Faktoranalysen visar att det är främst krom och nickel som har ett starkt geokemiskt samband. På singlelementkartorna framträder detta som en tydlig trend med förhöjda halter i anslutning till basiska bergarter. I jämförelse med övriga riket innehåller bäckvattenväxterna inom Dalarnas län allmänt låga halter av både krom och nickel.

Koppar har en underordnad betydelse i kombination med basiska bergarter. Däremot förekommer koppar som en stark parameter i faktor nr 4 tillsammans med bly och zink, de s.k. malmmetallerna.

Mora framträder med förhöjda halter av Cr, Ni och Cu. Någon geologisk förklaring går inte att finna till de förhöjda halterna. Anomalimönstret visar att det är en relativt lokal påverkan som överensstämmer väl med tätortens utbredning, vilket stärker misstankar om antropogent ursprung.

## Vanadin (V), molybden (Mo) och bly (Pb)

Denna faktor domineras av vanadin, medan molybden och bly intar en mer underordnad roll. Viktigt att notera är att Spearman-korrelationen (tabell 5) indikerar låg signifi-

kans mellan vanadin och molybden medan bly, kobolt, selen, krom och arsenik har en tydlig signifikans till vanadin. En bidragande orsak till dessa skillnader är olikheter i den statistiska behandlingen. Faktoranalysen försöker finna linjära samband utifrån en normalfördelad datamängd, enligt Pearson-metoden. Korrelationsanalysen enligt Spearman-metoden beräknar däremot alla slag av systematiska samband i en datamängd, där de ingående variablerna inte behöver vara normalfördelade. Pearson-metoden uppvisar brister när datamängden består av många olika kemiska populationer och/eller av extremvärden (Drake 1981). Att vanadin har en komplex spridning i berggrunden försvårar naturligtvis den statistiska bearbetningen som försöker mäta de matematiska sambanden.

Vanadin bildar inga egna mineral utan ingår i ett 60-tal vanadinförande mineral. En bidragande orsak till att vanadin ingår i flertalet mineral är dess förmåga att substituera för Fe, Ti och Al i kristallgitter hos mineral som magnetit, ilemenit, biotit och hornblände. Denna förmåga innebär i praktiken att vanadin får en allmän spridning i berggrunden. En geokemisk trend kan skönjas, nämligen att vanadinhalten sjunker med stigande halter av kisel (SiO<sub>2</sub>).

Bly karakteriseras i första hand som ett kalkofilt element, alltså släktskap med svavel. Det vanligaste blymineralet är blyglans (PbS) vilket kan uppträda i sedimentära bergarter, i hydrotermala gångar och i pegmatiter. Bly kan även substituera för K, Ba, Sr och Ca och får därmed en ökad spridning via värdmineral vilka kan ingå i olika bergartstyper.

Generellt över landet framträder en trend med relativt lägre blyhalter i bäckvattenväxter inom kvartära sedimentområden under högsta kustlinjen (HK) jämfört med mera höglänta skogsområden. Inom skogsterrängen förekommer allmänt surare markförhållanden med lägre pH och ökad tillgänglighet av humus vilket ökar rörligheten av bly till grund- och ytvatten.

Eftersom vanadin inte bildar egna mineral är det värdmineralet som styr vittringsbenägenheten och därmed dess rörlighet i mark och vatten. Vid jämförelse av singelelementkartor är det främst mönstret för bly- och vanadinfördelningen som bäst överensstämmer med varandra. Samstämmiga mönster förekommer också mellan molybden och vanadin över ett nordvästligt stråk i gränstrakterna mellan Dalarna och Hälsingland och över Siljansgraniten strax sydväst om Siljan. Däremot intar molybden och vanadin ett antagonistiskt förhållande i undersökningsområdets västra delar. Det är Dalasandsten och Dalaporfyr som framträder med låga halter av molybden medan vanadin har förhöjda halter.

## **Koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb) och arsenik (As)**

Källan till denna grupp av metaller är Bergslagens sulfidmalmer. På faktorkartan är höga faktorvärden koncentrerade till det sydöstra hörnet av undersökningsområdet vilket överensstämmer väl med den gruvdrift som under lång tid har varit verksam i området.

Bearbetningar av undersökningsområdet vilka syftar till att få fram detaljerad kunskap om dolda malmkroppar är ett arbetsmoment som inte ingår i SGUs ordinarie verksamhet.

Enligt faktoranalysen bildar arsenik en egen grupp, nr 5. Sannolikt är det den kraftiga As-förhöjningen som sammanfaller med utbredningen av Losformationens bergarter som medfört att arseniken inte är starkare korrelerad till övriga element. Betraktar man resterande delar av undersökningsområdet finner man att de geokemiska mönstren för As överensstämmer väl med bl.a. zink och kadmium, dvs. malmmetall-

gruppen. Detta är ett naturligt släktskap då arsenik ingår som ett element bland de kalkofila elementen i s.k. sulfidmineral.

Kadmium visar en stark dragning till zink och förekommer ofta tillsammans i mineralet zinkblände. Stråk av mindre förekomster av sulfidmineraliseringar förekommer på spridda ställen runt Siljansringen. Vid Boda och Nittsjö, orter belägna strax norr om Rättvik och på Sollerön har det förekommit viss gruvverksamhet i anslutning till kända mineraliseringar. Lokalt kan dessa mineraliseringar ha en betydande inverkan på den kemiska statusen i mark och vatten (Mora Kommun 1997).

## **Kobolt (Co), bly (Pb) och zink (Zn)**

Kobolt dominerar denna faktor tillsammans med bly och zink vilket är en typisk kombination för sulfidmineral.

## **Kvicksilver (Hg) och selen (Se)**

Kvicksilver och selen är båda kalkofila element som kan ingå i ett flertal sulfidmineral. Vid närvaro av tillgängligt svavel kan kvicksilver bilda det egna mineralet cinnober (HgS). Generellt sett innehåller jordskorpan låga halter av Hg och Se, i medeltal 0,010–0,020 mg/kg respektive 0,050 mg/kg.

De geokemiska mönstren för Hg och Se överensstämmer relativt väl med varandra. Förhöjda halter som förekommer i södra och sydöstra delen av karteringsområdet kan sannolikt härledas till olika sulfidmineraliseringar. Förhöjningar inom övriga delar av kartbilden som sammanfaller med tätorter eller höjdområden är sannolikt ett resultat av antropogena källor. Biogeokemiska resultat från Västkusten visar att selen förekommer tillsammans med luftdeponerat svavel. Framförallt är det i höglänta skogsområden med riklig nederbörd som förhöjda selenhalter i bäckvattenväxter har uppmätts.

## **SUMMARY**

### **Methods**

#### **Sampling**

The biogeochemical sampling programme started in 1982 at the Geological Survey of Sweden. The programme is based on plant roots from the banks of small streams and the sample density is 15 samples / 100 square kilometres or approximately 1 sample / 6 square kilometres. The main objective of the programme is to quantify regional heavy metal variation in surfacewaters and groundwater of the country by plant uptake and to relate the results to geological (natural) or anthropogenic (man made) features. The bulk of the sample consists of living roots from sedges, mainly *Carex species*, *Filipendula ulmaria* and aquatic mosses, *Fontinalis species*, *Rhynchosstegium riparodiles* and *Hygrohypnum ochtacerum*. These species show a similar element uptake and are common in the whole country. The samples are collected as composite samples from both sides of the stream bank and are thoroughly washed in the stream water in order to remove minerogenic matter and dead plant material. The plant roots

and aquatic mosses have been proven to be better than conventional minerogenic stream sediments (Brundin & Nairis 1972, Nilsson & Ressar 1995). During sampling the pH of the stream water is measured by small portable pH-meters.

The samples of this study were collected during the summer seasons 1995 and 1996 as a part of the regular biogeochemical mapping programme carried out by the Geological Survey of Sweden. The total amount of samples from the study area is 2260.

## Sample treatment and analysis

The samples are dried at 105° C, weighed, ashed at 450° C and weighed again. The weight difference is used for calculation of the organic content of the sample. The ashed samples are ground prior to analysis. Analysis of the ash is carried out by X-ray fluorescence (XRF) at Analytica Laboratories, Stockholm, Sweden, which results in determination of the total content of about 30 elements. Elements being analysed for regular map production at the Geological Survey of Sweden (SGU) are: As, Pb, Co, Cu, Cr, Mo, Ni, U, V, W and Zn. Cadmium, Hg and Se are analysed by AAS for every 6th sample, resulting in a sampling density of 1 sample / 39 square kilometres. The samples that are analysed for Hg and Se are dried at room temperature.

The chemical analyses, organic content, pH and geographic co-ordinates are stored in a data base.

Before further treatment of the data (map production, statistical treatment etc.), the analytical values (raw values) are corrected with multiple stepwise regression for the content of Fe, Mn and organic matter. Iron, Mn and organic matter has a direct influence of the metal variation on the plant roots, therefore the correction.

The single element colour maps presented in this report are in the scale of 1:1 000 000. Single element black and white dot maps in the scale of 1:250 000 are also produced. For the colour maps a UNIRAS-based program is used for recalculation of the irregular distributed sample co-ordinates into a regular net with interpolated values.

## Statistical methods and analytical precision

The precision of the analyses is controlled with duplicate and replicate analyses, which means that one sample is split into three equal subsamples. One subsample (the original sample) is analysed in its ordinary place in the batch according to its number. The second subsample (the duplicate sample) is analysed at the end of the same batch and the third subsample (the replicate sample) is analysed last in the total analysis order. The duplicate- and replicate samples were correlated with the original sample with the Spearman rank correlation method. The correlation coefficients for all chemical elements are high ( $r_s = 0.7-1.0$ ) and the analytical precision can be considered as good (Table 4).

Correlation coefficients for element contents in the biogeochemical samples were also determined by the Spearman rank correlation method (Table 5). This correlation method has advantages over the Pearson method especially in geochemical interpretations because the Spearman method is not sensitive to outliers and log-transformation is not necessary. It also measures all kinds of relationships, not only linear relationships as the Pearson method does (Garrett, 1993).

Factor analysis was used for all elements, except for Cd, Hg and Se, in order to reduce the numbers of variables and in order to study element associations. Prior to

factor analysis all corrected analytical values were log transformed due to positive skewness. The settings were set at “varimax raw” rotation with minimum eigenvalue at 0.7 after a scree plot. These settings resulted in a five factor model, describing 73,1 % of the total variation of all the variables (Table 6).

## Description of the area

The study area is located in western Sweden, in the middle part of the county of Dalarna (former Kopparberg county). The study area covers about 15 700 km<sup>2</sup>. Topographically and morphologically the study area is a part of the so called Norrland terrain which is characterised by hilly bedrock terrain with deep fracture ridges.

Big cities and agricultural areas are scarce in the study area, as are big motor ways. The landscape consists mainly of forest terrain with small communities and villages including minor roads and minor agricultural areas. Larger industries that may affect the geochemistry in the area are situated in close vicinity of the cities and villages. These industries are mainly forest- and paper industries, metal industries, old glass factories, old leather factories and old mines and mining areas.

## Bedrock geology

The eastern parts of the presented area belong to the Svecofennian province. Granites from different orogenic events, approximately 1.9–1.6 Ga, are dominating. The western parts belong to the Transscandinavian Igneous Belt (former Transscandinavian Granite–Porphyry Belt), which is a N–S trending belt consisting predominantly of granitoid plutonic rocks and felsic volcanics.

The southeastern parts of the area consist of the ore-bearing, Svecofennian rocks of Bergslagen. The ores and mineralizations of Bergslagen are mainly sulphide ores with copper, zinc, lead, iron and iron oxides. The sulphide ores are associated with acid volcanic rocks and are considered to be formed by hydrothermal volcanic activity. The ores and mineralizations consist of more or less compact orebodies but also of impregnations in the wall rock.

The central and western parts of the presented area mostly consist of volcanic and sedimentary rock types and 1.7–1.8 Ga old granites. The volcanites can be divided into two chemically different main groups: acid (porphyries) and basic to intermediate (porphyritic andesites).

The Dala granites are closely related to the porphyrites. The Garberg and Siljan granites belong to this group. In the westernmost parts the Jotnian sandstone covers the porphyries and Dala granites. It was deposited sometimes between 1.2–1.7 Ga in flood deltas and lakes but also as sand dunes. Relatively large basalt layers can be found in the sandstones. Diabase dykes, of two different generations, penetrate the sandstone. Larger amounts of diabase, about 1.25 Ga old, are found in the northern parts of the study area.

The youngest bedrock in Dalarna is located in the Siljan Impact and consists of Ordovician and Silurian limestones, sandstones and shales. The Siljan Impact was formed as a meteorite impact during the later parts of Devonian. At the impact, the bedrock was crushed and the Ordovician–Silurian sedimentary rocks became partly steepened.

## Quaternary geology

During the Pleistocene, Sweden was covered several times by continental ice sheets. The retreat of the most recent glaciation in the study area took place 9900–9500 years BP and the main direction of the iceflow was NW–SE. Except for the valley of river Dalälven, almost the whole study area is situated above the highest post-glacial shoreline and is covered by till. The dominating tills are derived from local rocks. Sand and finer sediments dominate the soils in the valley of river Dalälven. In the area around Lake Siljan and the river valleys in the northern parts of Dalarna, most of the sediments are glacial. Peat is the most common organic deposit in the northern part of the study area.

## pH measurements in streams

pH-data was collected for the stream waters simultaneously with the biogeochemical sampling.

The pH-values for the stream waters in the mapping area are presented in the map on p. 27. pH is high (neutral or near neutral) in the river valleys where the agricultural areas are more frequent. In the river valleys both glacial and post-glacial clays with other glacial and alluvial sediments are the dominating soil components. The pH-values are low (acid) in the forest areas where till and peat are the dominating quaternary deposits and the transport of humic substances into the streams is more efficient.

## Biogeochemical maps and element associations

Factor analysis has been used in treating the data and in analysing the element associations.

The element association **U**, **W** and **Mo** has the strongest factor explaining 16% of the total variation of all variables. The factor is also strong in adjacent geographical regions. One explanation is that this element association has its main source in different types of granites, which are common in Swedish bedrock. In the study area this applies particularly to the Siljan granite which is located in the centre of the area. The local **W-Mo** anomaly north-east of the Bispbergsklack granite, could probably be explained by the granite formation called the Bispbergsklack granite which contains scheelite and molybdenite.

Basic rock types, e.g. gabbro, dolerite and diorite are the main sources for the element association **Cr-Ni-Cu**. A strong geochemical connection can be shown particularly for Cr and Ni. Compared with the rest of Sweden, the stream plants in the county of Dalarna contain generally low contents of both chromium and nickel. Together with the ore metals (Pb, Zn and Cd), copper occurs as a strong parameter in factor 4. A large Cr-Ni-Cu anomaly can be observed near Mora. No geological explanation can be found. The anomaly corresponds to the extension of the densely populated area of Mora, which makes it most likely that the anomaly has an anthropogenic origin.

The element association **V**, **Mo** and **Pb** is dominated by vanadium. Vanadium is included in a majority of minerals because of its ability to substitute Fe, Ti and Al in the lattices. Vanadium can therefore be found almost everywhere in the bedrock. Lead is mainly characterized as a chalcophile element. The most common lead mineral is galena (PbS) which can appear in sedimentary rocks, hydrothermal dykes and in pegmatite. It can also substitute K, Ba, Sr and Ca.

As a general trend in Sweden, the lead content in stream plants is relatively lower in areas with Quaternary sediments below the highest post-glacial shoreline compared with upland forested areas. In forest terrain it is more common with acid soil conditions and increased accessibility of humus, which increases the mobility of lead to ground- and surface water.

The sulphide ores of Bergslagen are the source of **Cu, Zn, Cd, Pb** and **As**. On the factor map high values are located in the south-eastern corner which most likely is due to former and ongoing mining operations in the area. According to the factor analysis arsenic forms a factor of its own, number 5. This is probably caused by the strong As-increase, coinciding with the rock types of the Los formation. In the rest of the study area, the geochemical patterns for Zn, Cd and As show great similarities. This is a natural relationship where arsenic is a chalcophile element, belonging to the sulphur minerals.

Cadmium is strongly connected to zinc and these elements are often found together in sphalerite. Sulphur mineralizations occur at scattered places around the Siljan impact and locally they might have a considerable effect on the chemical status in soil and water.

**Co-Pb-Zn** is a typical combination for sulphide minerals and together with lead and zinc, this factor is dominated by cobalt.

**Hg** and **Se** are chalcophile elements which can be included in several sulphide minerals. In presence with accessible sulphur, mercury can form cinnabar (HgS). The geochemical patterns for Hg and Se are relatively similar. The increased values that can be found in the southern and southeastern parts of the investigated area, can probably be derived to different sulphur mineralizations. Within the rest of the area, the increased values that coincide with densely populated or upland areas are most likely a result from anthropogenic sources.

## REFERENSER

- Davies, B.E. & Wixson, B.G., 1987: Use of factor analysis to differentiate pollutants from other trace metals in surface soils of the mineralized area of Madison County, Missouri, U.S.A. *Water, Air and Soil Pollution* 33, 339–348.
- Drake, K.-M., 1981: Geochemistry of tin, tungsten and molybdenum in Swedish Proterozoic granitoids: its potential use in regional mineral exploration. *Meddelande från Stockholms universitets geologiska institution, nr 249*.
- Garrett, R.G., 1993: Another cry from the hearth. *Explore* 81, 9–13.
- Hjelmqvist, S., 1966: Beskrivning till berggrundskarta över Kopparbergs län. Summary: Description to maps of the pre-quaternary rocks of the Kopparberg county, central Sweden. *Sveriges Geologiska undersökning Ca 40*. Stockholm.
- Holmberg, J. & Ressar, H., 1997: Biogeokemiska kartan. Norra Värmland och Sydvästra Dalarna. *Sveriges Geologiska Undersökning Rapporten och meddelanden nr 90*.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H., 1992: *Trace elements in soil and plants*, 2nd Edition. CRC press, USA. 365 s.
- Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, Th., 1991: *Sveriges Geologi från Urtid till Nutid*. Studentlitteratur, Lund. 398 s.
- Lundqvist, T., 1968: Precambrian geology of the Los-Hamra region central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 23*.
- Mora Kommun Miljökontoret, Rapport nr 4: 97.
- Nilsson, C.-A. & Ressar, H., 1995: Biogeokemiska kartan. *Sveriges Geologiska Undersökning Rapporten och meddelanden nr 78*.

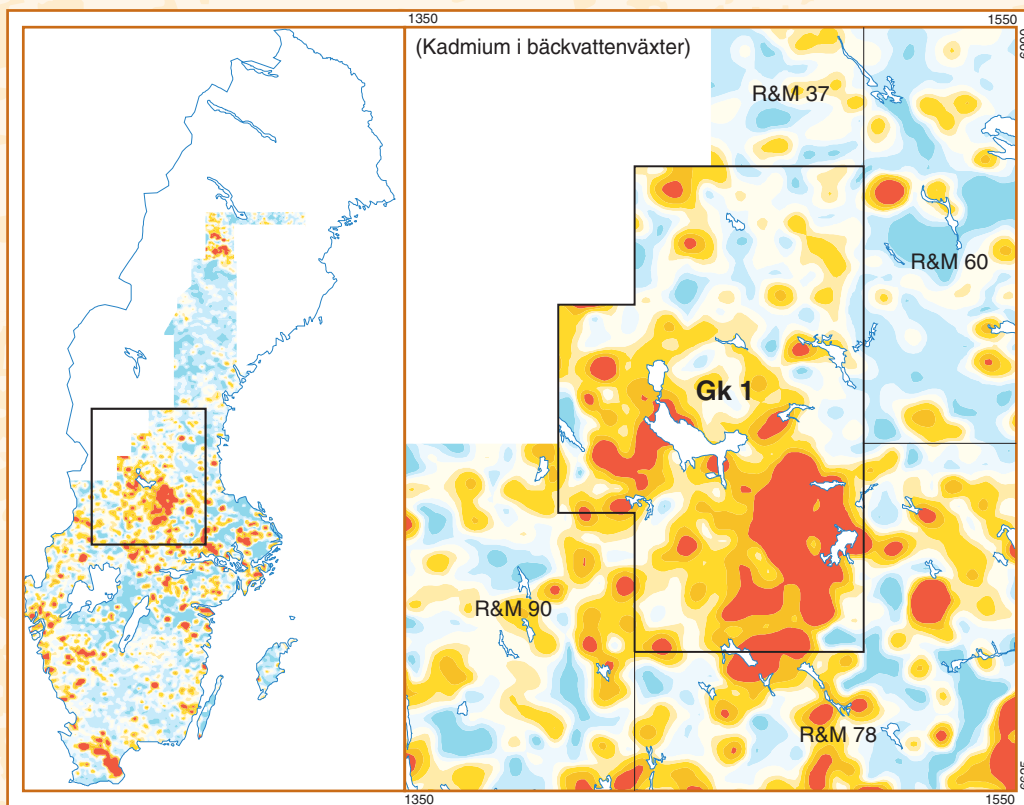
- Reeves, R.D. & Brooks, R.R., 1978: *Trace Element Analysis of Geological Materials*. John Wiley & Sons. 412 s.
- Rydberg, S., 1992: *Dalarnas industrihistoria, 1800–1980*. Dalarnas fornminnes och hembygdsförbund, Hedemora. 364 s.
- SIND PM, 1983: Berg och malm i Kopparbergs län. *Stockholm, nr. 7*.
- Sveriges Nationalatlas, 1994: Berg och jord. SNA. 208 s.
- Sveriges Nationalatlas, 1991: Miljön. SNA. 184 s.
- Tegengren, F.R. m. fl., 1924: Sveriges Ädlare Malmer och Bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca 17*.

## GEOKEMISKA PUBLIKATIONER SOM TIDIGARE PUBLICERATS I SGUS SERIE RAPPORTER OCH MEDDELANDEN:

Nr

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





**Sveriges Geologiska Undersökning**  
 Box 670  
 751 28 Uppsala  
 Tel: 018-17 90 00  
 Fax: 018-17 93 70  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

Uppsala 1999  
 ISSN 1404-3157  
 ISBN 91-7158-617-2