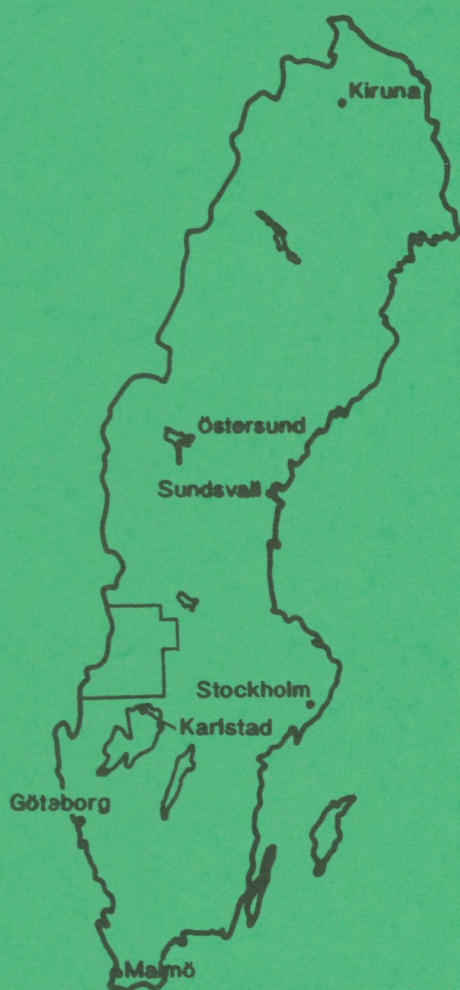


Biogeokemiska kartan

Tungmetaller i bäckvattenväxter

Norra Värmland och Sydvästra Dalarna



Biogeokemiska kartor i skala
1:1 miljon över områdena
11B Koppom, 11C Arvika,
11D Munkfors, 12C Torsby,
12D Uddeholm, 12E Vansbro SV/NV,
13E Dalby SV/SO, 13D Malung SV/SO

Arsenik	As	Molybden	Mo
Bly	Pb	Nickel	Ni
Kadmium	Cd	Selen	Se
Kobolt	Co	Uran	U
Koppar	Cu	Vanadin	V
Krom	Cr	Volfram	W
Kvicksilver	Hg	Zink	Zn

samt karta över pH

Jonas Holmberg och Harald Ressar

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning

Uppsala 1997

Rapporter och meddelanden nr 90

Biogeokemiska kartan

Tungmetaller i bäckvattenväxter

Norra Värmland och Sydvästra Dalarna

Jonas Holmberg och Harald Ressar

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning

Uppsala 1997

ISSN 0349-2176
ISBN 91-7158-592-3

© Sveriges Geologiska Undersökning

Tryck: TK i Uppsala AB, 1997

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 11–13, B–D, 1:1 miljon	13
pH-karta	27
Berggrundsgeologi	28
Kvartär utveckling och jordartsgeologi	29
Topografi och morfologi	31
Antropogen aktivitet inom karteringsområdet	31
Statistisk behandling av analysvärden	31
Kontroll av analyskvalitet	32
Korrelation mellan de kemiska elementen	32
Faktoranalys	33
pH-mätningar av bäckvatten	35
Elementassociationer	36
Summary	40
Referenser	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 metallupptagningen i växtrötter och vattenlevande mossor i mindre bäckar och som återspeglar den genomsnittliga kemiska sammansättningen hos vattnet. Utgivningsplan över dessa biogeokemiska kartor visas på sidan 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 spårelementanalyser av dominerande bergarter.

Tre fjärdedelar av landets yta beräknas med nuvarande resurser vara biogeokemiskt karterad om ca 20 år.

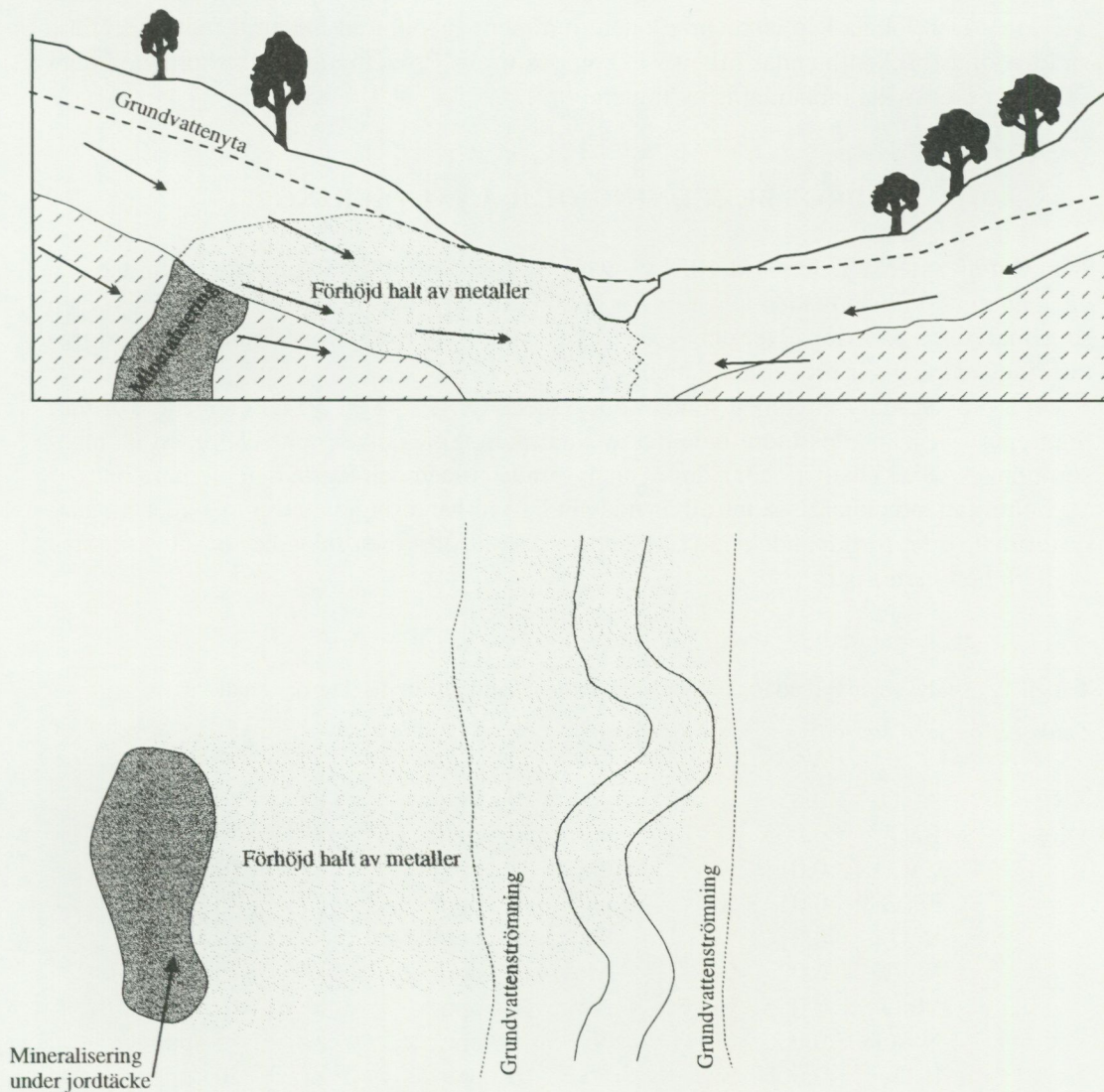
PROVMATERIALET BÄCKVATTENVÄXTER

Biogeokemiska provtagningar av organiskt material i mindre vattendrag påbörjades i slutet av 1960-talet. Man startade 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 så 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 stor 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. Metallhalten i varje prov representerar härigenom vattendragets genomsnittliga metallhalt och kan avspegla 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 växtmaterial. 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 måste hänsyn tas till den organiska halten för att man skall få en acceptabel jämförelse mellan proverna.



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.

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 km². 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 homogeneringsmalning 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 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 ₂ O ₃	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 ₂ O ₃	0.01	%	Cr	5	ppm	U	5	ppm
	K ₂ 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 ₂ O	0.03	%	Ni	5	ppm	Zn	5	ppm
	P ₂ O ₅	0.005	%	Pb	10	ppm	Zr	20	ppm
	SiO ₂	0.05	%						
	TiO ₂	0.005	%						
AAS –	Cd	0.2	ppm	Hg	0.025	ppm	Se	0.05	ppm

DATABEARBETNING OCH KARTFRAMSTÄLLNING

Sedan analyser, organiska halter och lägeskoordinater för proverna lagrats i databanker vidtar en omfattande databehandling. Varje prov ger en anseelig 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 haltkartor av cirkelmodell i skala 1:250 000 och färgkartor i skala 1:1 miljon för 14 element.

Cirkelkartorna visar provpunkternas geografiska läge med angiven halt intill i ppm. På dessa kartor har de 40% högsta analysvärdena enligt percentilberäkning 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 UNIRAS-relaterat dataprogram, som räknar om de geografiskt oregelbundet placerade provpunkternas analysvärden till ett regelbundet punktnät med interpolerade värden. Färgklassernas 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 den redovisade kartan har 2269 prov tagits vilket ger en provtäthet på ca 1 prov per 7 km². Vart femte prov har analyserats på elementen kadmium, kvicksilver och selen.

BIOGEOKEMISKA KARTPRODUKTER

De biogeochemiska färgkartorna i denna rapport i skala 1:1 miljon omfattar 14 spårelement (sid. 13–26). De geokemiska mönstren visas för elementen 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 (sid. 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, för andra element eller elementkombinationer (t.ex. kvoter) till självkostnadspris.

pH-kartan på sid. 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 miljöförstöring som t.ex. tungmetallutsläpp och försurning. Dessa parametrars samverkan påverkar de olika ämnenas förekomst och spridning vilket återges i de biogeochemiska kartorna. Kartorna kan därför utgöra basinformation för ett flertal 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. Det är i sammanhanget viktigt att ha de geologiska och geokemiska förhållandena klargjorda i kommande miljövårdsdiskussioner. De biogeochemiska kartorna och undersökningarna ger information om dessa förhållanden.

Denna rapport ger endast en övergripande förklaring till de olika ämnenas spridningsmönster. För en detaljerad tolkning erfordras oftast 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).

Elem- ent	Om- råde	Antal analyser	Percentiler										
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99
As	Rapport	2269	<10	10	15	18	22	25	30	38	53	71	140
	Riket	25201	<10	14	19	23	29	37	47	63	99	166	498
Cd		404	<0.20	1.5	2.3	3.1	4.1	5.4	7.5	9.8	15	19	39
		4391	<0.20	1.1	1.8	2.3	2.7	3.3	4.3	6.1	13	22	59
Co		2269	24	38	44	49	53	60	75	102	193	330	673
		25201	26	41	49	55	61	71	87	121	207	325	643
Cr		2269	19	24	27	30	32	35	38	42	48	54	73
		25201	24	29	34	38	42	47	53	60	71	85	123
Cu		2269	13	18	22	25	29	33	39	47	62	82	126
		25201	29	36	41	47	53	62	76	94	128	166	299
Hg		405	<0.025	<0.025	.032	.041	.048	.056	.069	.078	.104	.126	.214
		4397	<0.025	<0.025	.031	.039	.048	.057	.067	.083	.106	.128	.184
Mo		2269	<5	5	6	8	8	10	12	15	23	32	64
		25201	<5	5	6	7	8	11	14	19	30	43	88
Ni		2269	<5	8	12	15	17	20	24	30	42	61	103
		25201	16	22	26	30	36	43	52	69	114	181	515
Pb		2269	<10	27	45	64	85	111	153	214	328	476	846
		25201	17	34	46	56	66	78	95	129	211	322	709
Se		405	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.31	0.35	0.41	0.47	0.62	0.84
		4397	0.18	0.24	0.29	0.33	0.39	0.46	0.56	0.70	0.96	1.35	2.83
U		2269	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6	8	13	20	49
		25201	<5	<5	<5	7	9	13	20	30	52	79	186
V		2269	68	86	99	112	128	144	167	210	278	359	567
		25201	65	79	90	99	108	119	131	147	179	224	385
W		2269	<5	<5	<5	5	6	8	9	11	15	19	29
		25201	<5	<5	<5	5	6	7	9	12	16	20	40
Zn		2269	60	150	204	239	281	335	410	539	823	1183	2499
		25201	98	176	224	260	299	360	458	624	959	1480	3649

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	
Skiffrar	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, skiffrar 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.

Andra mänskliga aktiviteter som orsakar förhöjda tungmetallhalter är huvudsakligen 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.

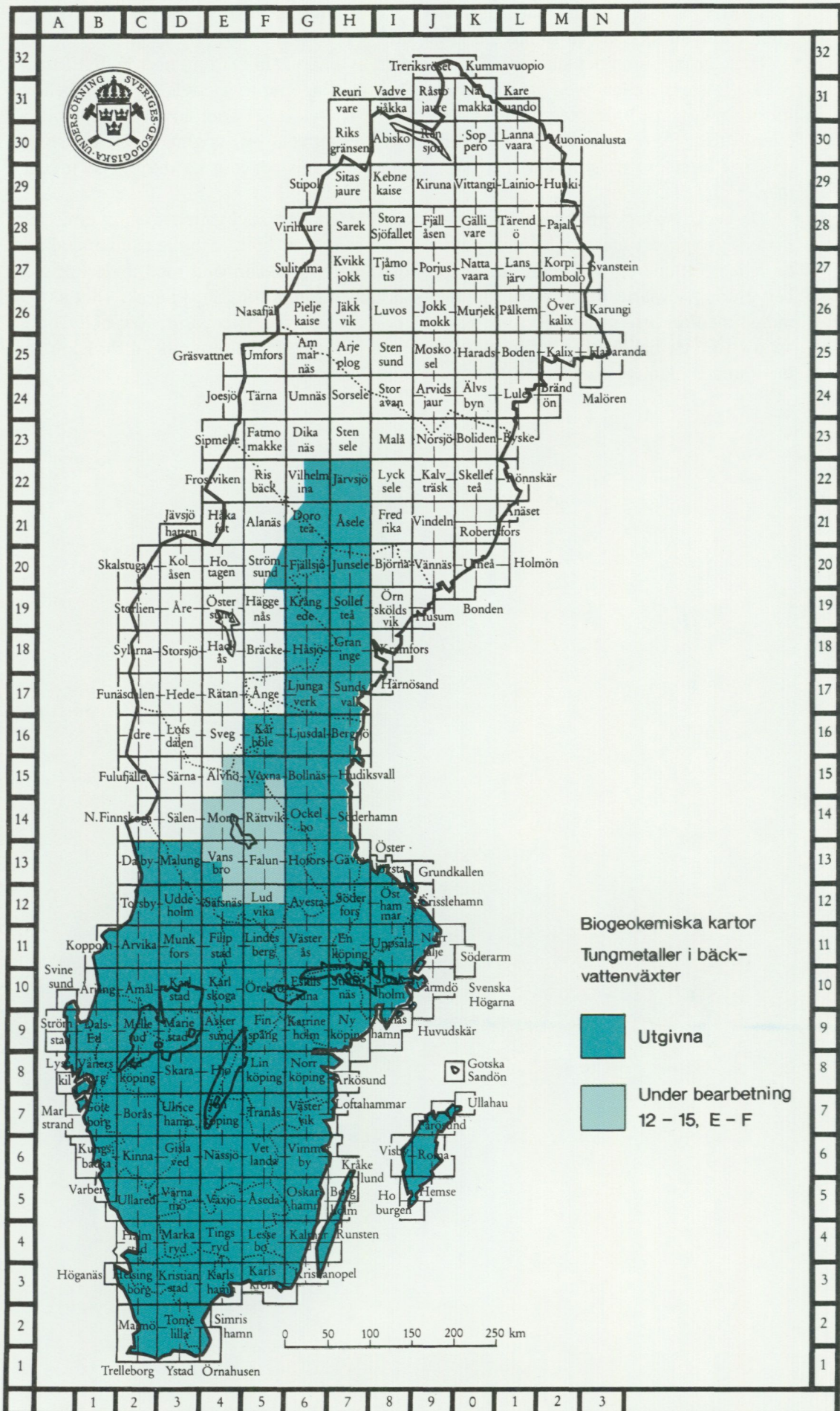
Andra faktorer att ta hänsyn till vid tolkningen är förhållanden som berör topografi, grundvatten och dränering. För vissa län finns översiktliga hydrogeologiska kartor över grundvattenförhållandena.

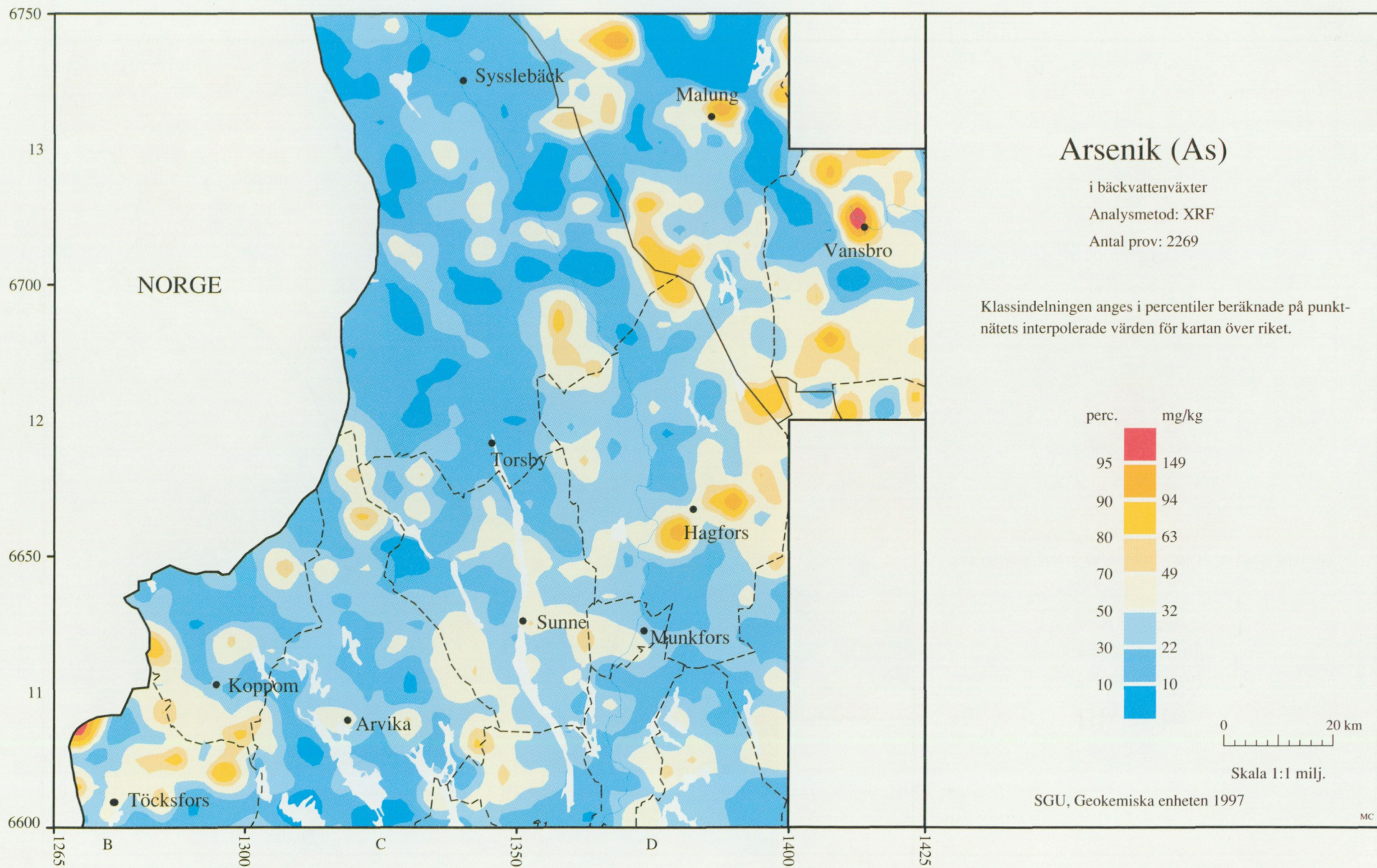
Tungmetaller som på olika sätt frigjorts ur jord och berg eller tillförts marken genom t.ex. vittring, utsläpp eller nedfall kommer att cirkulera mellan luft, vatten, mark och berggrund i ett evigt kretslopp. Utmärkande för tungmetaller är att de till skillnad från organiska miljögifter aldrig kan brytas ned eller förstöras. Det betyder att de tungmetaller

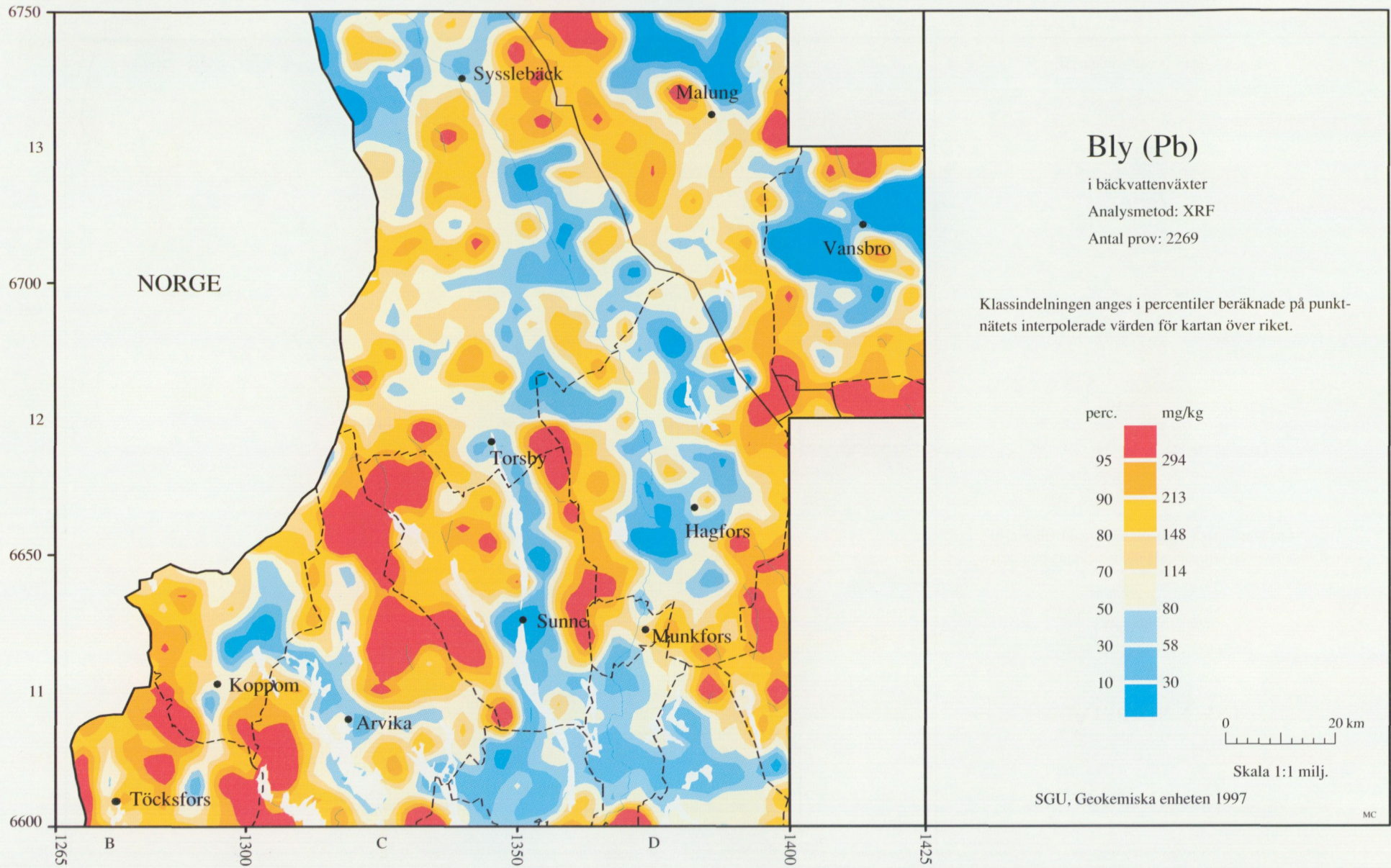
som tillförs miljön i princip har evigt liv och när de en gång inlett sina kretslopp i naturen kommer de att fortsätta att finnas där i evig tid.

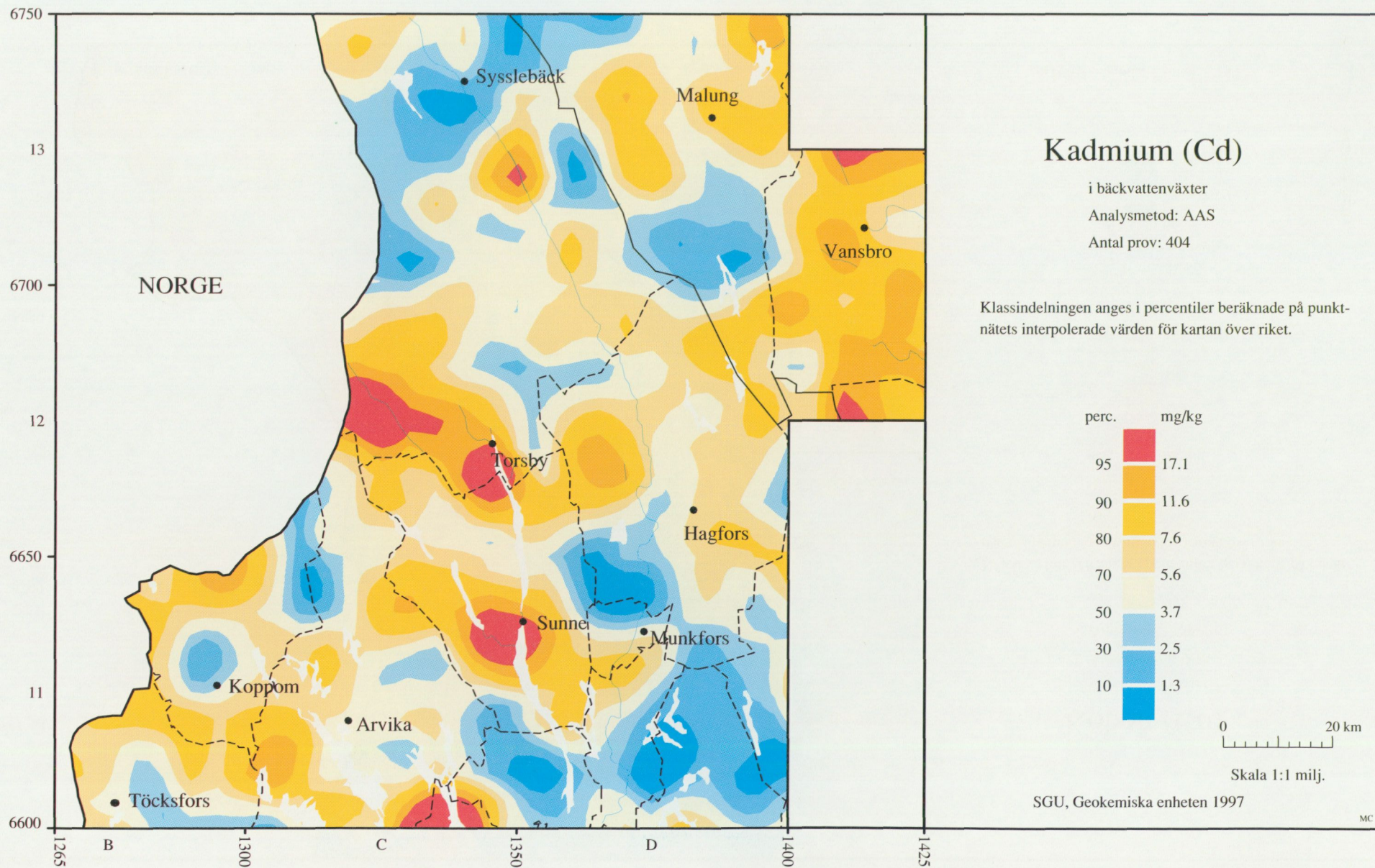
Detta är inte, som det kanske kan låta, enbart av ondo utan tvärtom nödvändigt för allt liv. De flesta metaller, även tungmetaller, är essentiella, eller livsnödvändiga, och behövs för att biologiska processer skall fungera. Det är i höga doser som ämnena blir toxiska, eller giftiga, för organismerna. Därför är det viktigt att veta var tungmetallförekomsterna är störst eftersom naturen där med sina levande organismer kanske inte tål så mycket mer.

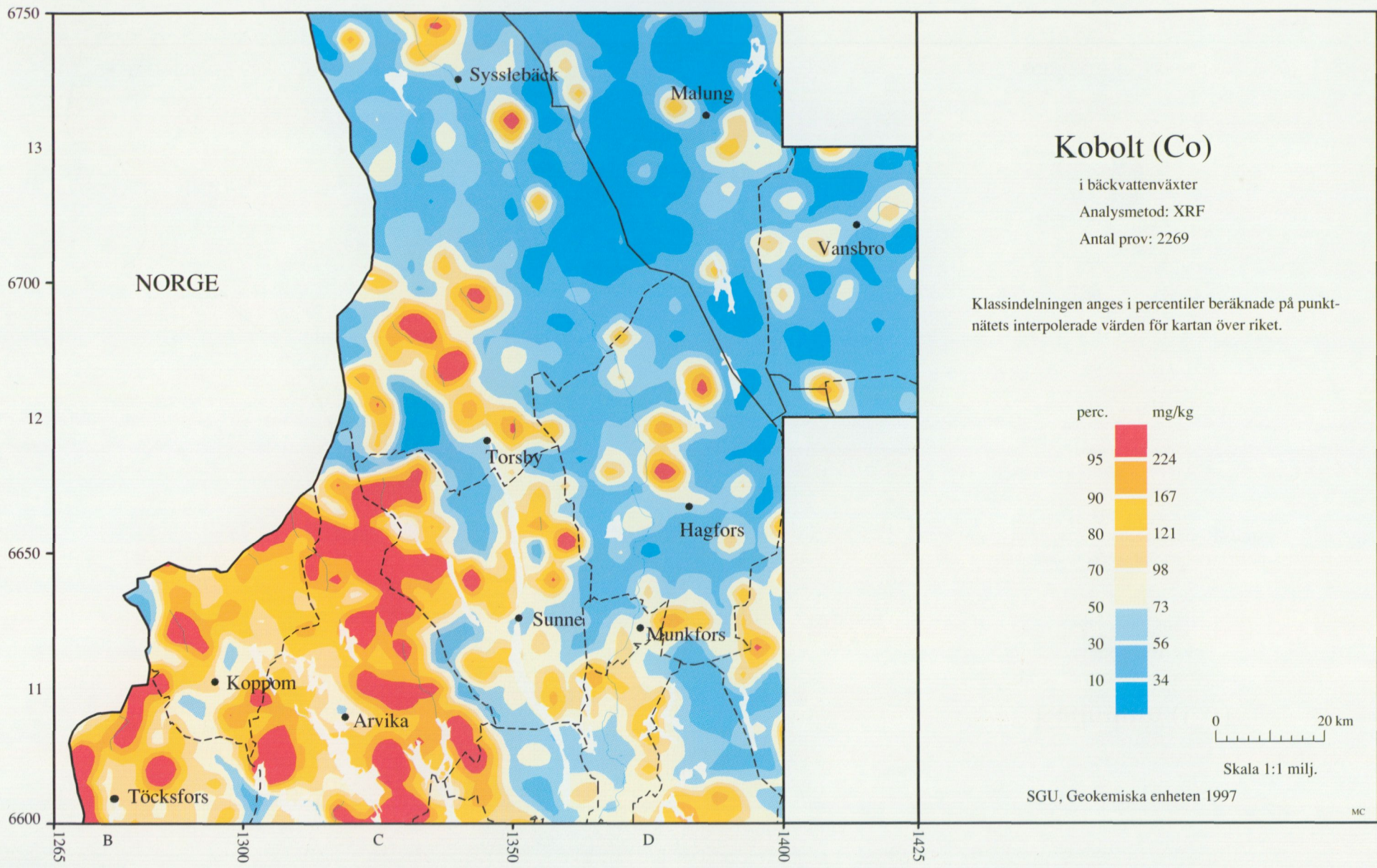
De redovisade korrigerade kemiska analysvärdena av bäckvattenväxtproverna från karteringsområdet återspeglar de relativa haltnivåerna av biotillgängliga tungmetaller i områdets vattendrag. Då denna kemi till största delen har samband med underliggande berggrund, jordarter och jormån, men också kan relateras 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 (sid. 28).

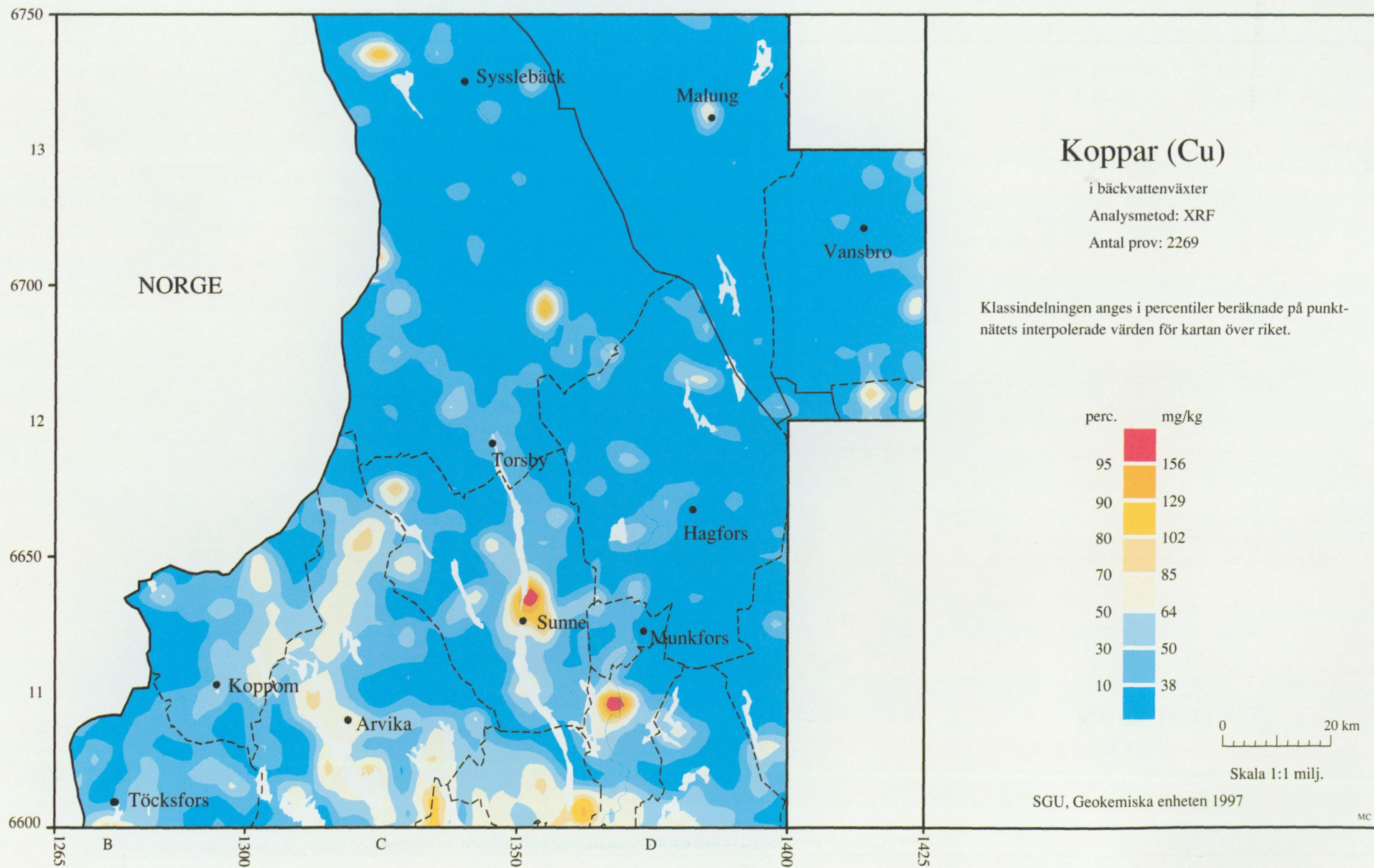


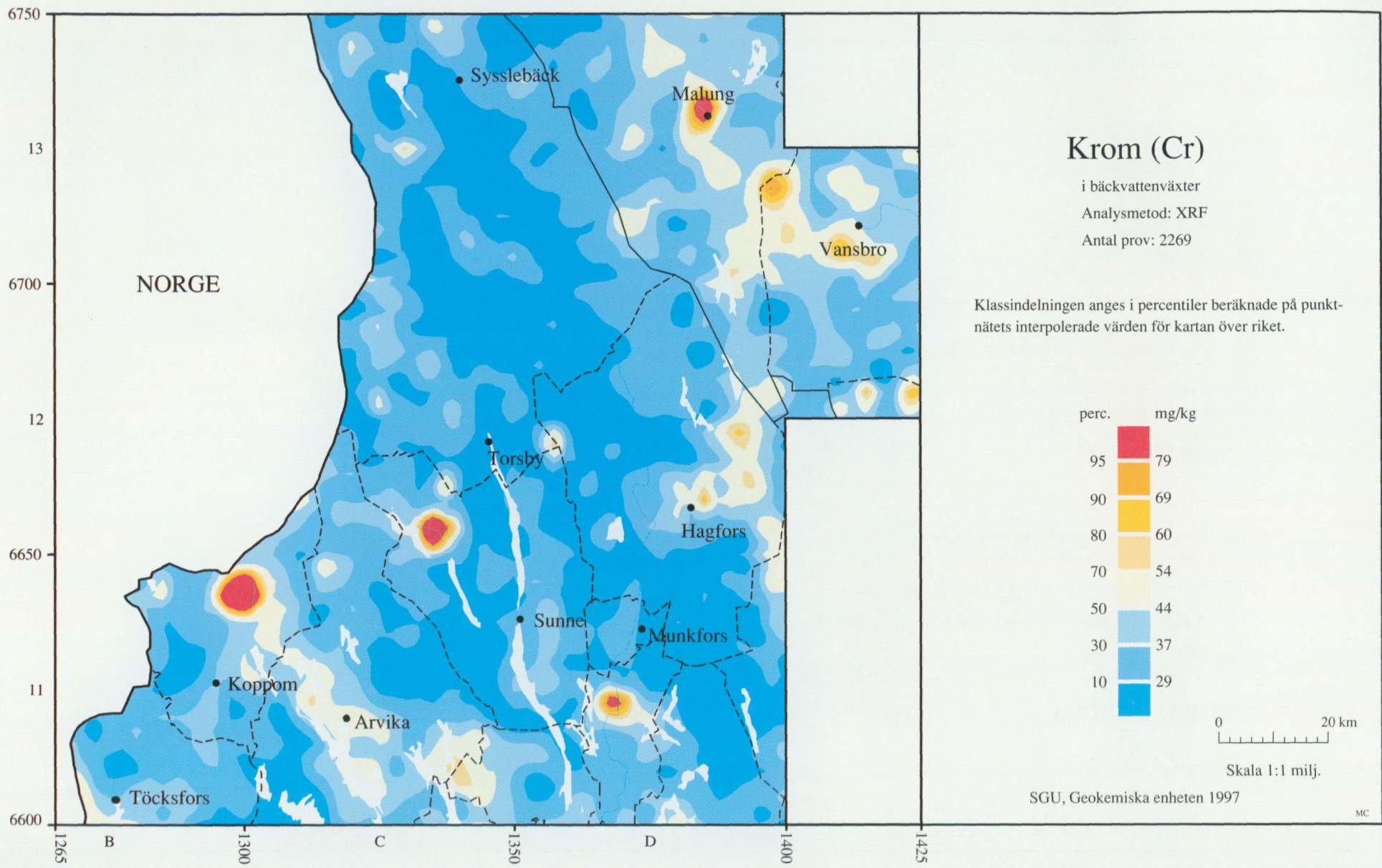


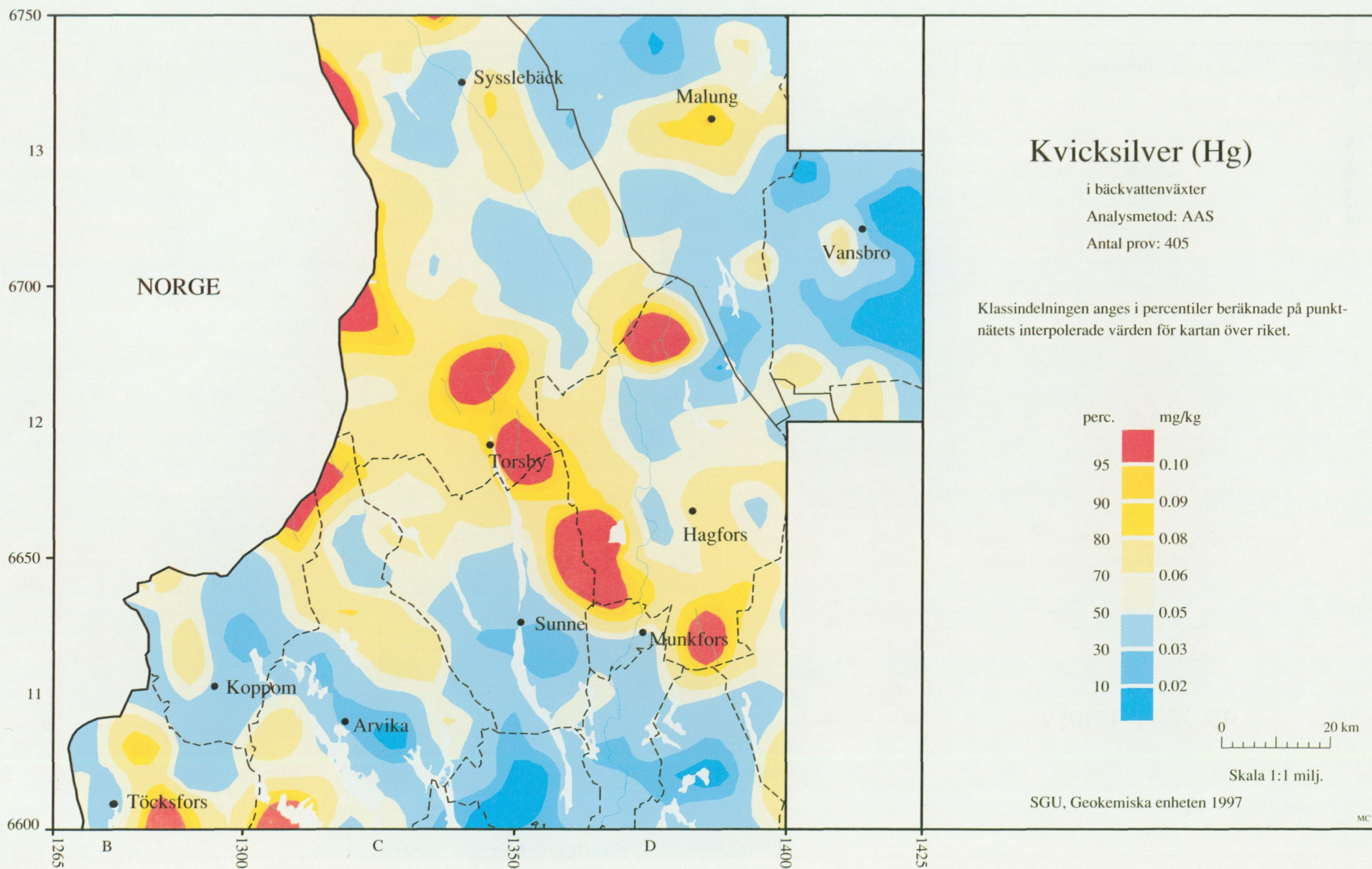


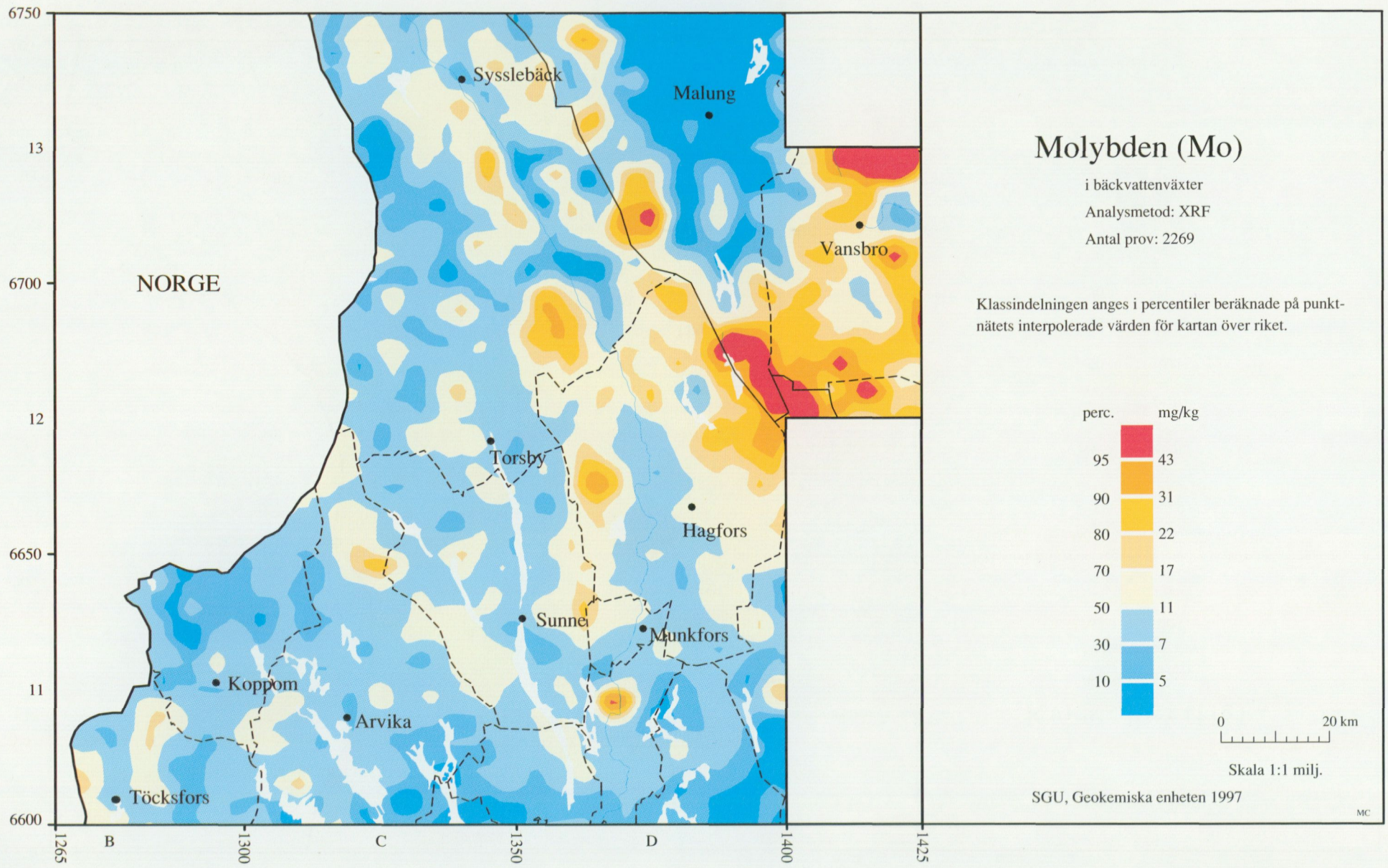


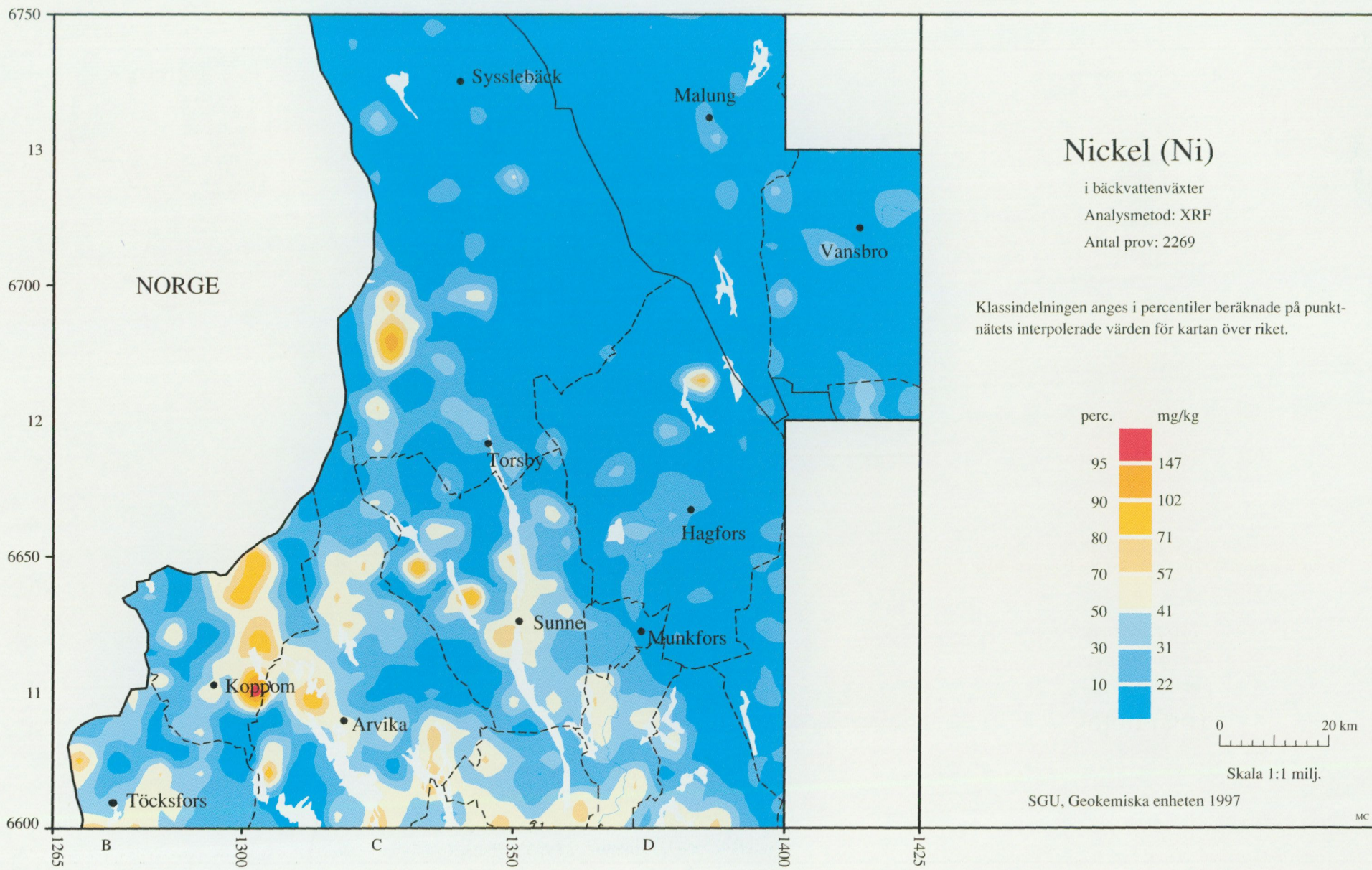


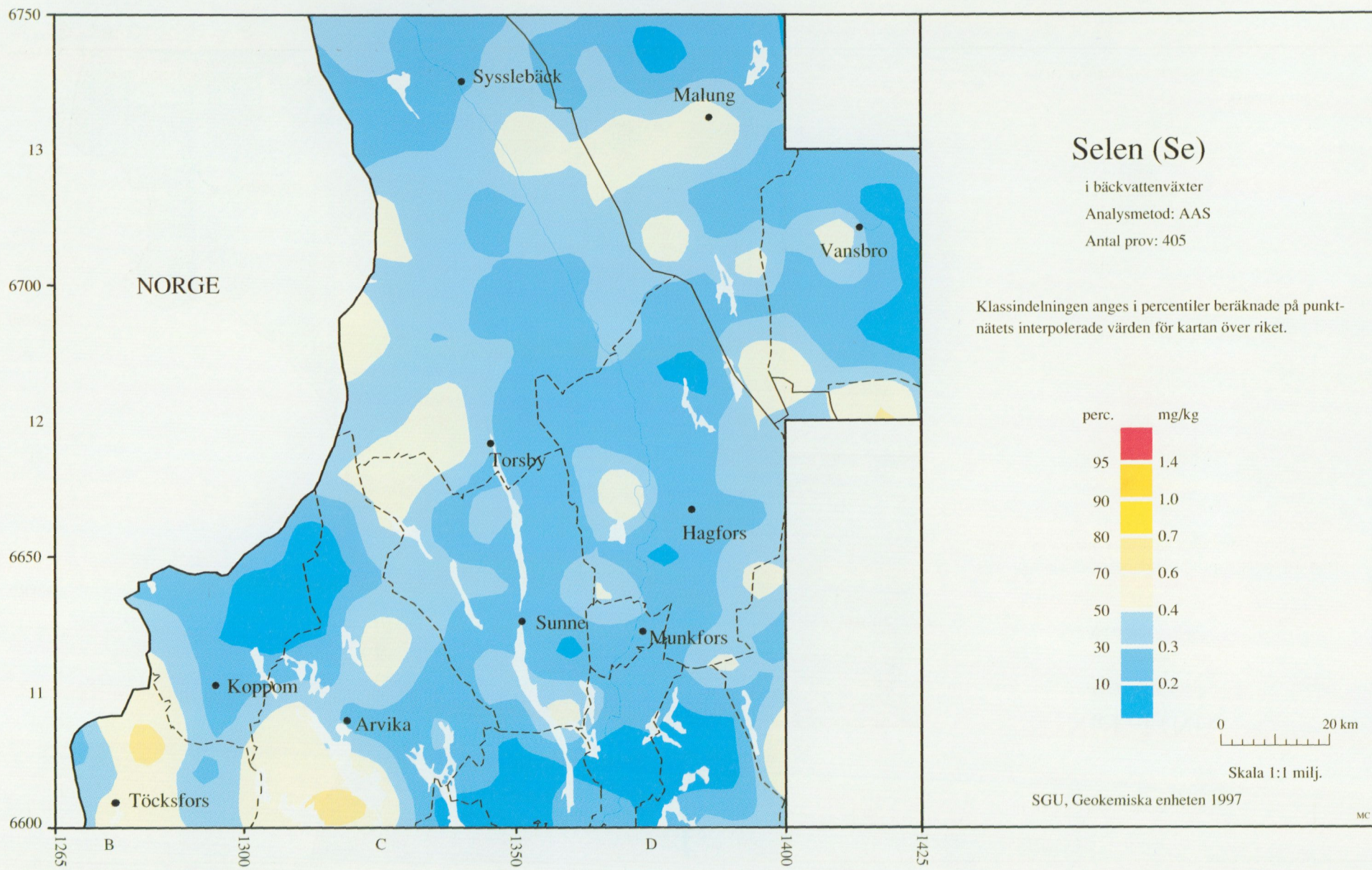


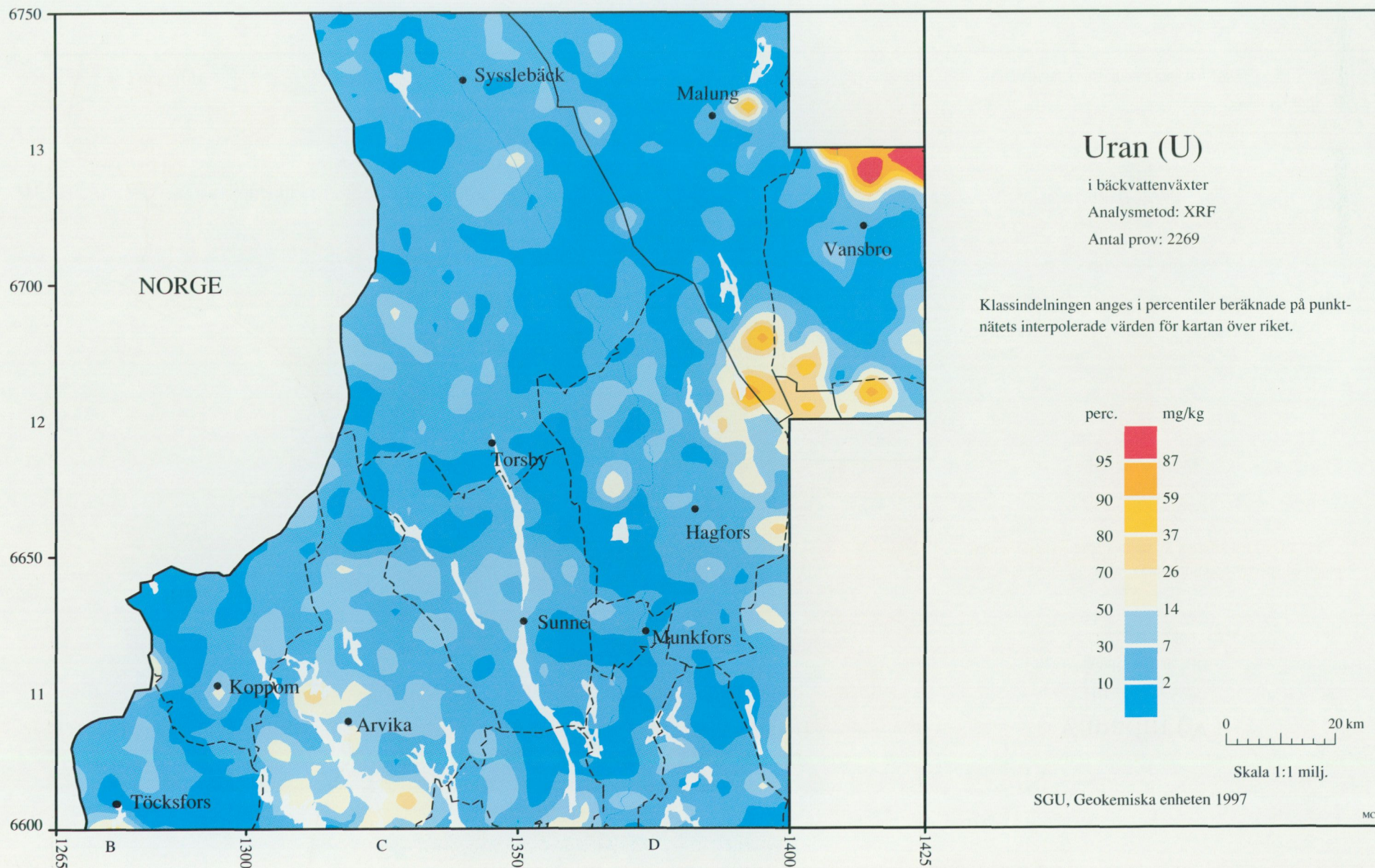


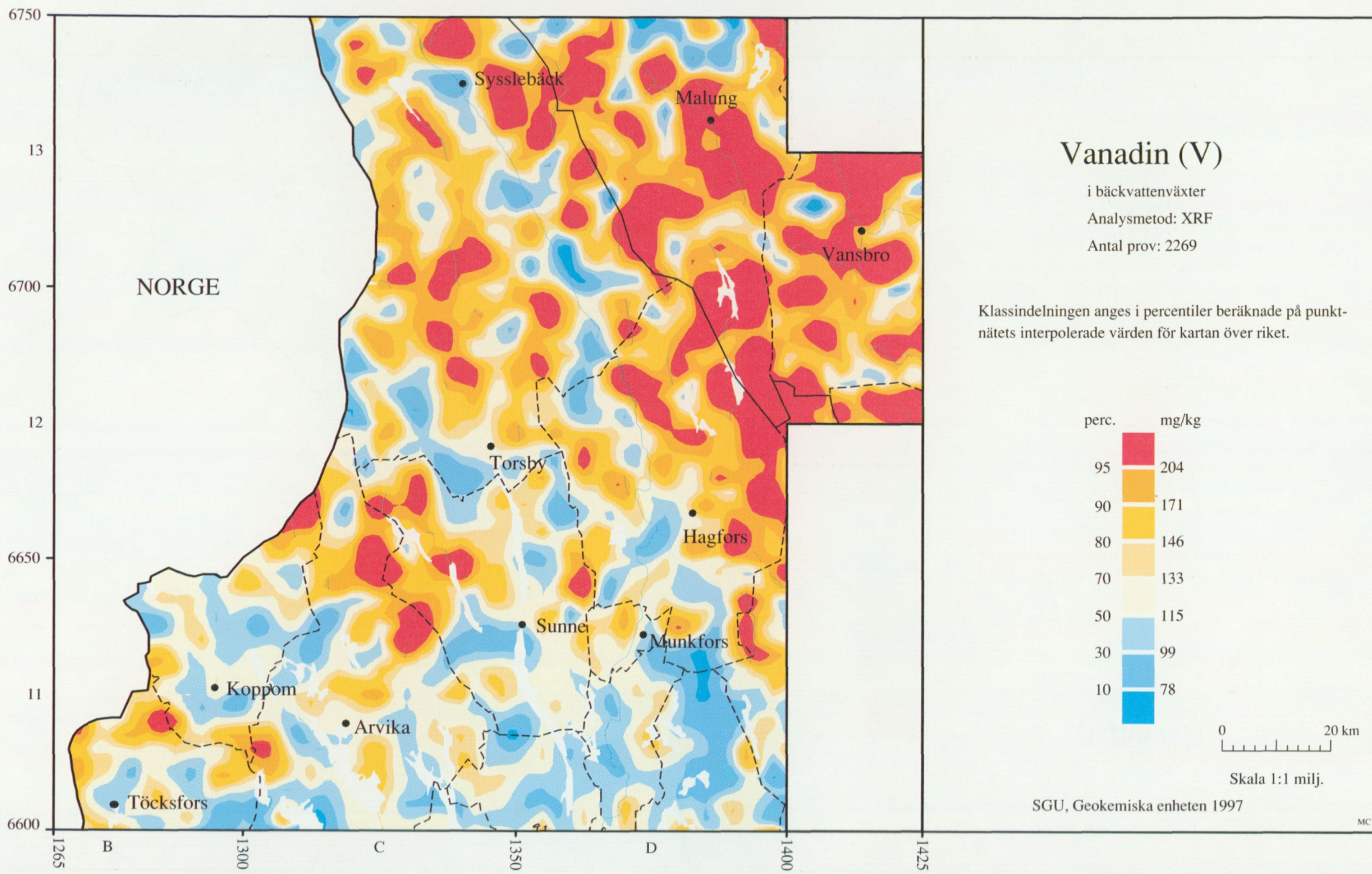


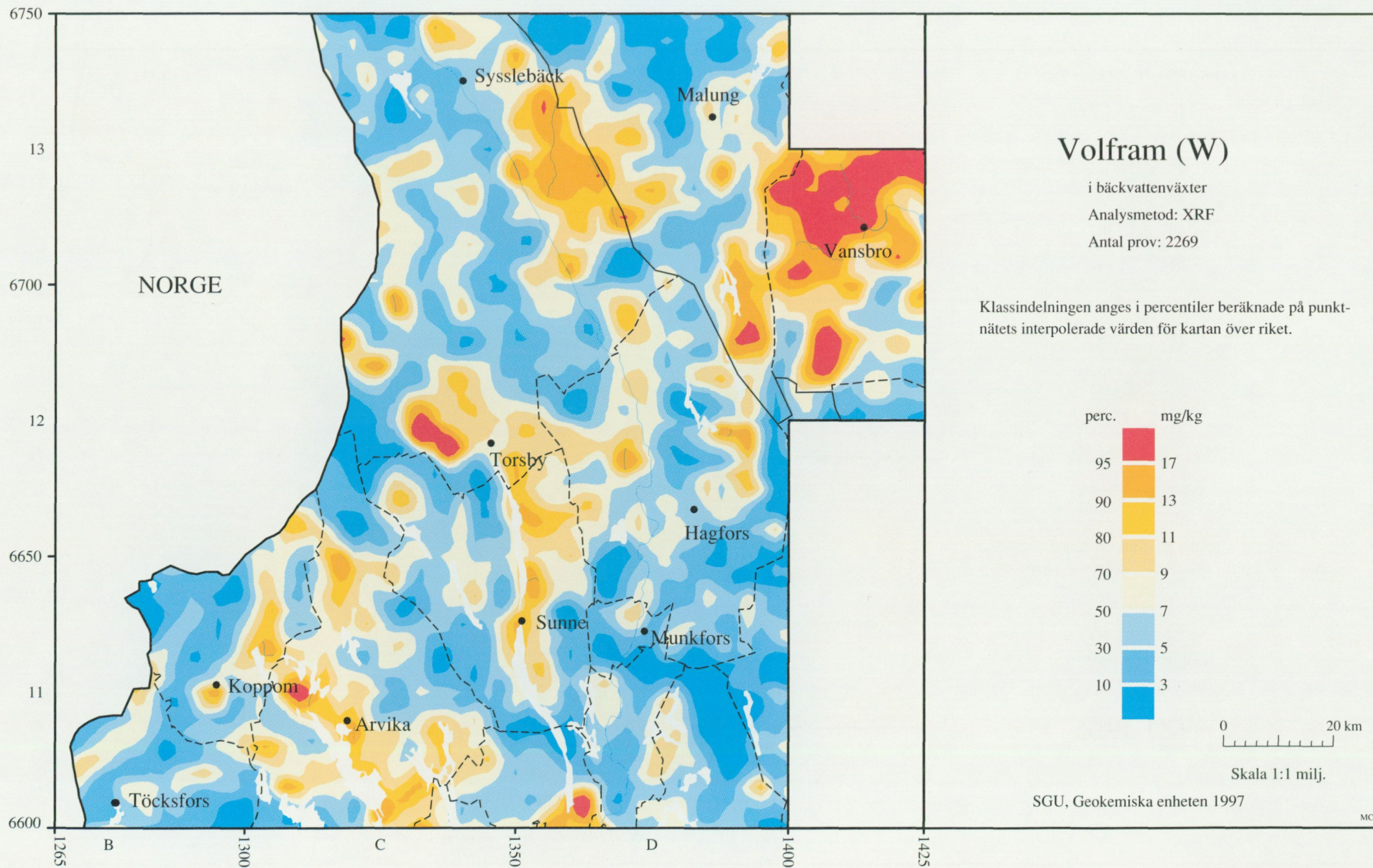


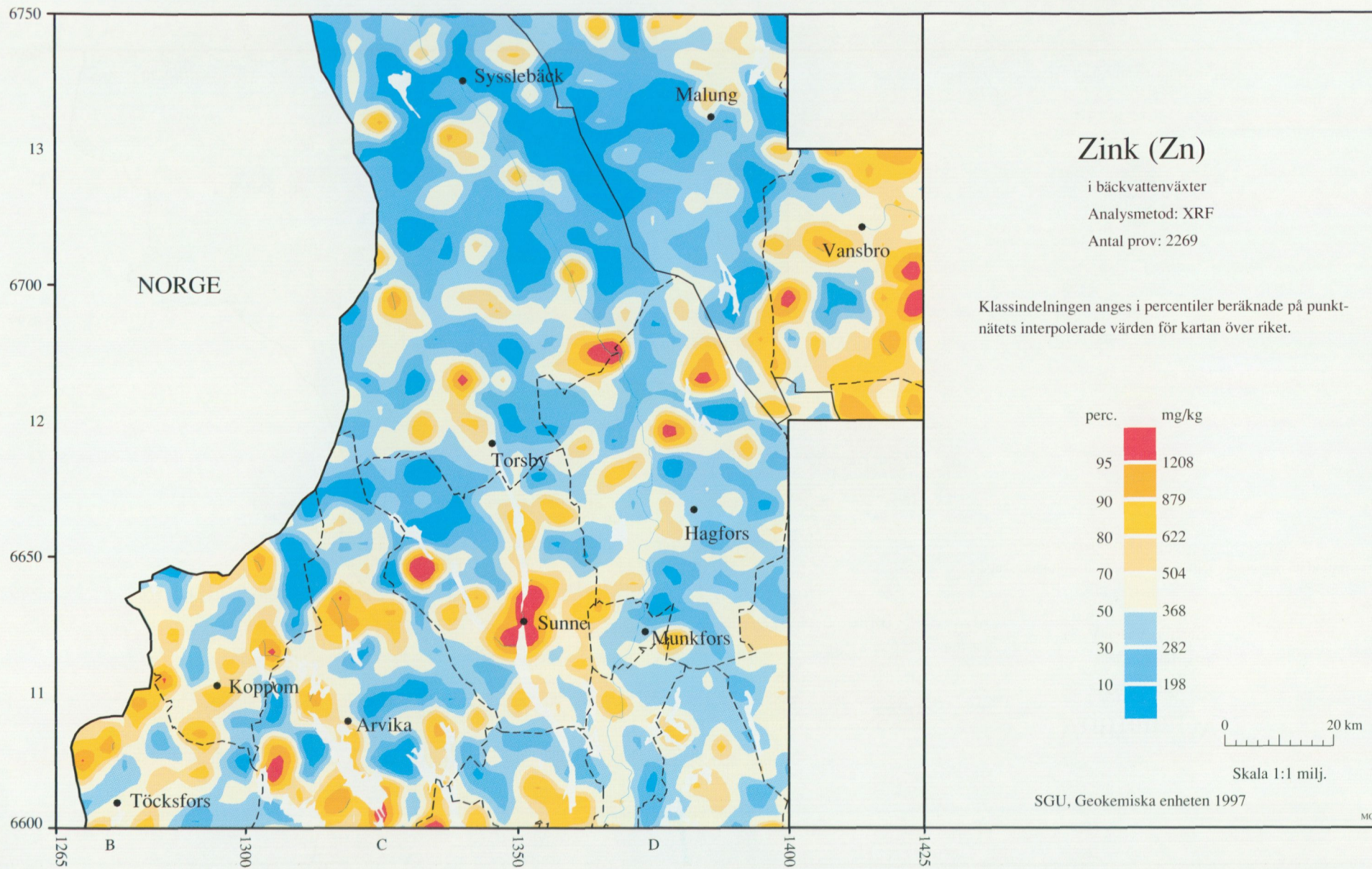


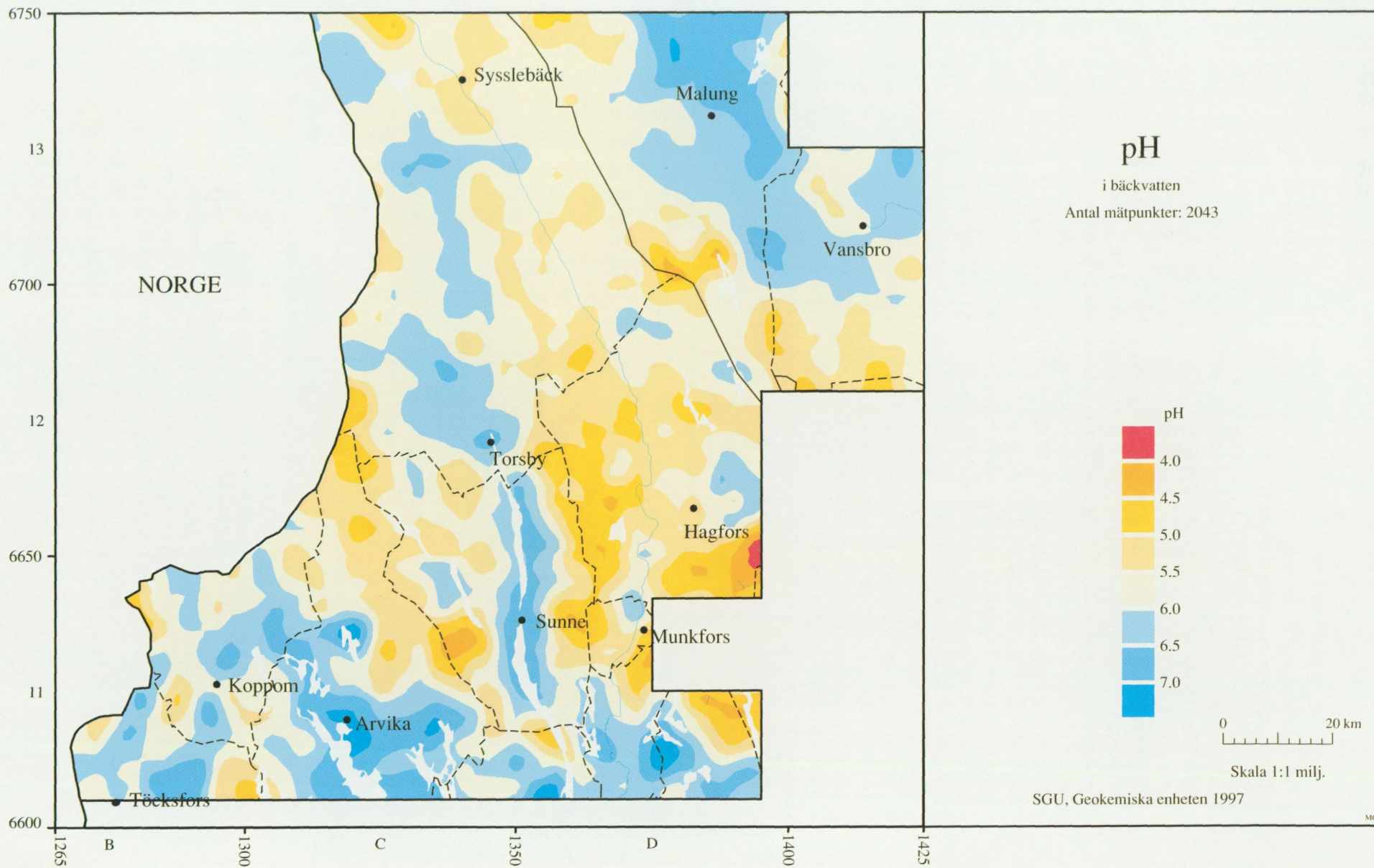












BERGGRUNDSGEOLOGI

Undersökningsområdet omfattar norra delen av Värmlands län samt sydvästligaste delen av Dalarnas län (tidigare Kopparbergs län). Områdets areal är ca 15 700 km².

Berggrunden i området kan enligt Hjelmqvist (1966), Gaál & Gorbatshev (1987) och Lundegårdh m.fl. (1995) delas in i tre huvuddelar (Figur 2). De västra och mellersta delarna består mest av gnejser och migmatiter som tillhör den sydvästskandinaviska provinsen. Dessa båda delar är något olika utbildade, och skiljs åt av den s.k. Mylonitzonen, som är en bred deformationszon med nordvästlig till nord-sydlig strykning. Den östra delen består mest av graniter och vulkaniter med inslag av sandsten, och ingår i det transskandinaviska magmatiska bältet (tidigare kallat transskandinaviska granit-porfyrbältet). Övergången mellan det transskandinaviska magmatiska bältets graniter och gnejserna i väster är inte skarp utan sker gradvis genom en mot väster tilltagande deformation. Detta sker inom en i ungefär nord-sydligt strykande zon, som sträcker sig från Norge över Värmland och Småland till Skåne. Denna zon kallas traditionellt Protoginizonen.

Det transskandinaviska magmatiska bältet sträcker sig i nord-sydlig riktning från Blekinge i söder via Småland, Östergötland, Värmland, Dalarna och Härjedalen till fjällranden i Jämtland. Längre mot norr täcks det av Kaledoniderna. Bergarterna i detta bälte är främst graniter med åldrar mellan ca 1650 och 1850 miljoner år, samt vulkaniska bergarter (porfyryr och porfyriter) och underordnade sedimentära bergarter, med åldrar kring 1700 resp. 1800 miljoner år. De vulkaniter inom det undersökta området som har åldern 1700 miljoner år benämns Dalaporfyryr och Dalaporfyriter. Förutom nämnda bergarter förekommer också basiska djupbergarter, främst gabbro. Graniter och porfyryr överlagras i Dalarna av den röda, jotniska Dalasandstenen, som har inlagringar av basalt (Öjebasalt). Graniter, porfyryr och sandsten genomslås av två generationer diabas: 1250–1200 resp. 1000–900 miljoner år gamla, benämnda Åsby- och Särnadiabaser resp. Blekinge-Daladiabaser (Lindström m.fl., 1991).

I Värmland benämns det transskandinaviska magmatiska bältets graniter Värmlandsgraniter. Två huvudtyper finns: dels den mikroklinporfyrisk Filipstadsgraniten, dels den gråröda, jämnkorniga Hagforsgraniten (Lundegårdh, 1995).

Den mellersta delen av undersökningsområdet domineras av gnejser av granitisk sammansättning. I mycket stor utsträckning utgörs de av förgnejsade graniter tillhörande det transskandinaviska magmatiska bältet. I gnejserna förekommer ett rikligt inslag av hyperit, en diabasbergart bestående av plagioklas, ortopyroxen, klinopyroxen och olivin. Hyperiterna har, särskilt i kantzoner, omvandlats till amfiboliter, som ofta är granatförande. Omvandlingen, som skett i samband med deformation, är knuten till den svekonorvegiska orogenesisen för ca 1100–950 miljoner år sedan. Hyperiterna har låga kromhalter. De har bildats genom en anorogen magmatism för ca 1650 miljoner år sedan (Lundegårdh, 1995, Wahlgren m.fl. 1996). Ett mer underordnat inslag av gabbro och förgnejsade vulkaniska och sedimentära bergarter finns också i gnejserna i mellersta Värmland.

Västra Värmlands berggrund begränsas österut av Mylonitzonen, som kan följas från norska gränsen via Värmlandsnäs östra strand genom Västergötland till kusten i Halland. Zonen, som visar varierande stupningar, innehåller starkt skjuvade delar av både västra och mellersta Värmlands berggrund. Den har huvudsakligen bildats under den svekonorvegiska orogenesisen. Berggrunden väster om Mylonitzonen utgörs i stor utsträckning av granitiska, granodioritiska och tonalitiska gnejser (ortognejser) med åldrar från ca 1650 till 1200 miljoner år. De yngsta förgnejsade graniterna (med åldrar i intervallet ca 1300–1200 miljoner år) är i många fall mindre starkt deformerade än de äldre. Till skillnad från gnejserna i mellersta Värmland kan något kemiskt-mineralogiskt samband med det transskandinaviska magmatiska bältets graniter inte påvisas, och åldern är dessutom lägre än för nämnda gnejser. Ett underordnat inslag av gabbror, dioriter och ultrabasiter samt av gnejser av vulkaniskt eller sedimentärt ursprung kan också noteras (Lundegårdh m.fl.,

1992, Lindström m.fl., 1991). Den ofta starka deformationen i kombination med migmatitbildning gör dock ursprunget i många fall svårtolkat. Yngre än de regionala deformationerna, som liksom i mellersta Värmland är svekonorvegiska, är den drygt 900 miljoner år gamla Blomskogsgniten med dess pegmatiter. Den förekommer alldeles i sydvästra kartkanten.

Malmer och mineraliseringar förekommer främst i områdets sydvästra och nordöstra delar (Figur 3). De innehåller till största delen sulfider, främst av Cu, Zn, Fe, och Pb, med inslag av små mängder av bl.a. Au, Ag, Te, Bi, Se och Ba (SIND PM, 1983 och Lundegårdh, 1995). Sulfidmineralen är lättvittrade, vilket har betydelse för grundämnenas löslighet och rörlighet i vattendragen. Därmed påverkas även bäckvattenväxternas upptagande av grundämnena från mineraliseringarna.

Faktaruta

Migmatit = Granituppblandad och kraftigt förgnejsad bergart

Orogenes = Aktiv geologisk period med bergartsbildning, bergskedjeveckning och metamorfos (omvandling), ofta i kombination med granitbildning m.m.

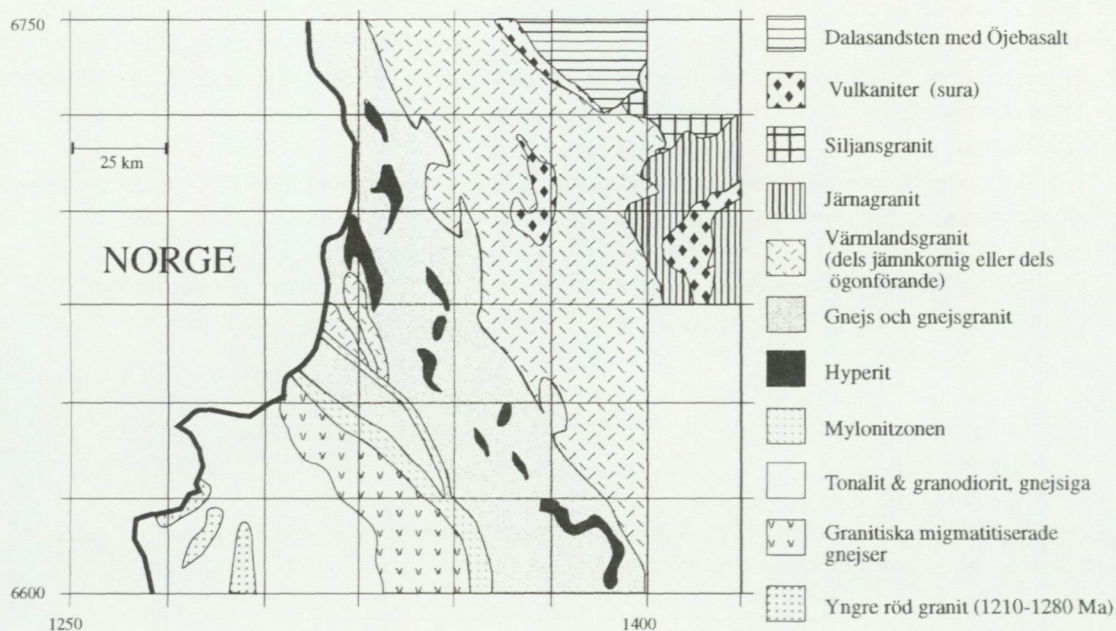
KVARTÄR UTVECKLING OCH JORDARTSGEOLOGI

Inlandsisen drog sig tillbaka för ca 10 000 år sedan i undersökningsområdet. Isrörelseriktningen var i stort sett nord-sydlig. Vid avsmältningen (9800–8500 år sedan) bildades en stor sötvattensjö kallad Ancylussjön. Då avsattes sediment tillhörande Ancylussjön vilka täckte hela Vänern med omkringliggande lågland och sprickdalar.

Enligt en grov indelning av Sverige i jordartsgeologiska områden tillhör undersökningsområdet nordvästra Svealands moränområde (Sveriges Nationalatlas, 1994: Berg och jord).

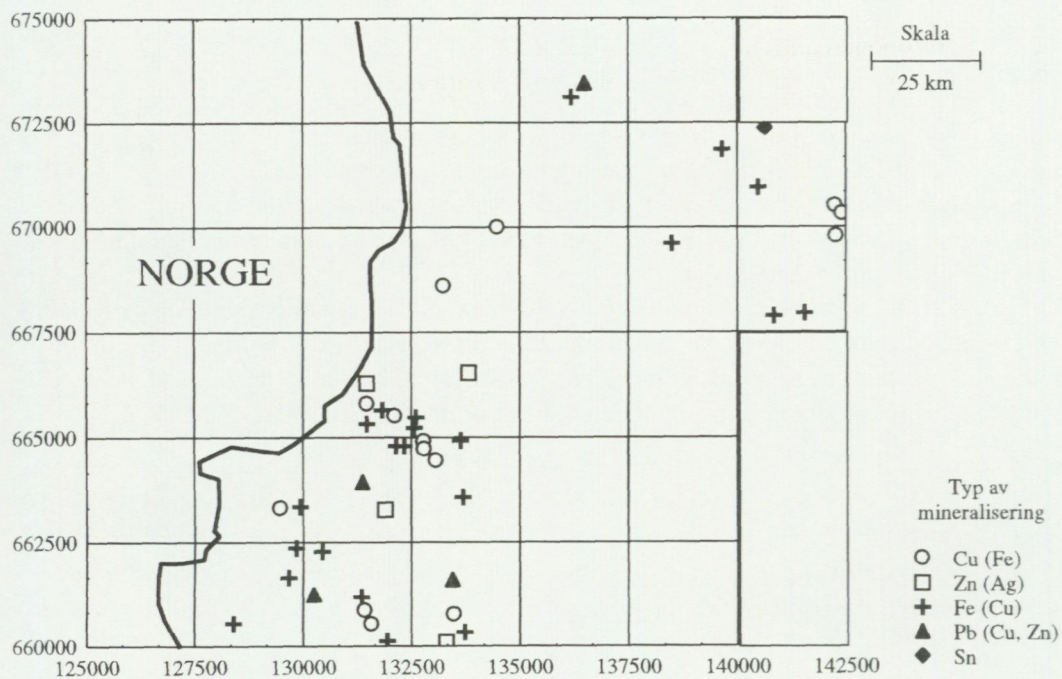
Morän är den dominerande jordarten medan isälvssediment, leror och torv är underordnade. Moränen är främst urbergsmorän och är finsandig-sandig och grusig med hög blockhalt samt finsandig-sandig morän med normal blockhalt, med den senare som den dominerande moräntypen. Även block med ursprung i de Kaledonska fjällbergarterna förekommer sporadiskt i karteringsområdet, vilket tyder på att moränerna också är påverkade av fjällbergarter (Lundqvist, 1958).

Endast en liten yta av de lägst belägna områdena har legat under den Högsta Kustlinjen i sprickdalarna och blivit täckta av glacifluviala och alluviala sediment. De dominerande sedimenten består av grus, sand, både glacifluvial och alluvial finsand samt postglaciala leror i de södra delarna av undersökningsområdet (Lundqvist, 1958).



Figur 2. Förenklad berggrundskarta över undersökningsområdet (förenklad efter Hjelmqvist, 1966 och Lundegårdh, 1995)

Figure 2. Simplified geological map over the study area (after Hjelmqvist, 1966 and Lundegårdh, 1995)



Figur 3. Malmer och mineraliseringar inom undersökningsområdet (sammanställt efter SIND PM 1983:7, 1983:8 och Lundegårdh, 1995).

Figure 3. Ores and mineralizations in the study area (compiled from SIND PM 1983:7, 1983:8 and Lundegårdh, 1995).

TOPOGRAFI OCH MORFOLOGI

Största delen av undersökningsområdet tillhör den s.k. Norrlandsterrängen. Terrängtypen i Värmlands och Kopparbergs län är till största delen bergkullterräng med oregelbundna sprickdalar. Inom undersökningsområdet är skogsmark den dominerande landskapstypen, medan jordbruksområden endast förekommer i liten skala. Sprickdalarna kan dock uppvisa avvikande elementhalter p.g.a. den snabbare erosionen och transporten längs branterna ner i dalgångarna.

Denna typ av terräng med dominerande morän och skogsmarker ger upphov till en naturlig utveckling av sura jordar och vatten. Jordmånstypen är i huvudsak podsol.

ANTROPOGEN AKTIVITET INOM KARTERINGSOMRÅDET

Större städer och större tungt trafikerade motorvägar och trafikleder saknas inom undersökningsområdet. De orter och vägar som kan inverka på bäckvattengeokemin förekommer främst i älvdalgångarna och sammanfaller således med sedimentområden med lera, sand och isälvsediment. Jordbruksområdena i undersökningsområdet är relativt små och koncentrerade till sprickdalgångarna och till de södra delarna av området.

Större industrier inom området är främst skogsindustrier med massafabriker, metallindustrier, verkstadsindustrier, samt nedlagda gruvor och brott. Även städerna och tätorterna, fastän de är små till befolkningens mängd, bidrar med utsläpp.

Enligt en klassificering i Sveriges Nationalatlas: Miljön (1991) förekommer ett antal miljöfarliga anläggningar inom karteringsområdet. Dessa är metallverken i Charlottenberg, skogsindustrier i Åmotfors och i Rottneros, större verkstadsindustrier i Arvika och i Munkfors. I Torsby och Hagfors finns flygplatser. I Hagfors finns ett järn/ferrolegeringsverk.

Äldre antropogen aktivitet som ännu idag kan tänkas påverka den geokemiska kartbilden är främst skinnindustrin i Malungstrakten, i västra Dalarna (Herz 1976).

Ett stort antal sjöar och vattendrag har kalkats inom området. Den mest försurade av de större sjöarna är Övre Fryken som även efter kalkning anses som påtagligt försurad.

STATISTISK BEHANDLING AV ANALYSVÄRDEN

Olika statistiska metoder används i geologiska och speciellt i geokemiska tolkningsarbeten för att påvisa samband och trender mellan de olika variablerna (kemiska elementen). Vid statistisk bearbetning och vid kartframställning av biogeokemiska analysdata på SGU används residualvärden, vilka är korrigerade analysvärden. Korrigeringen utförs med stegvis regression och varje elementhalt (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, Se, V, W, Zn) korrigeras mot halten av Fe, Mn och organiskt material. Om råvärden skulle användas vid kartframställningen skulle dessa kartor visa en variation som till största delen beror på halten av Fe, Mn och organiskt material istället för de geologiskt betingade och de antropogent påverkade haltvariationerna. Detta skulle försvåra tolkningsarbetet avsevärt.

Logaritmerade värden bör användas vid statistisk behandling av analysvärden p.g.a. att dessa inte är normalfördelade. Genom logaritmering ($^{10}\log$) blir en positiv fördelning något mera normal och värdena blir statistiskt mera pålitliga. Logaritmerade värden behöver dock ej användas för korrelationsanalys när den utförs med Spearman-metoden (se nedan).

KONTROLL AV ANALYSKVALITET

För att säkerställa kartornas kvalitet måste analysvärdena vara av hög kvalitet och vara kontrollerade. Analyskvaliteten kontrolleras med duplikatanalyser. Detta betyder att ett prov är uppdelat i tre delar vilka analyseras vid olika tidpunkter. Det första analyseras på sin plats i analysordningen (i ordningsföljd enligt provnummer), det andra analyseras sist i respektive hundratalsserie (kallat duplikat i tabellen nedan) och det tredje analyseras sist i hela analysgången (kallat replikat i tabellen nedan).

Genom att plotta originalprovet mot respektive duplikatprov erhåller man en korrelationsplott för de olika elementen. Om 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 originalprov, duplikat- och replikatprov i bäckvattenväxter. Ur=ursprungligt prov, Dupl.= duplikatprov och Repl.= replikatprov; $r_s > 0.456$ är signifikanta på 5 % risknivå, $n = 17$.

Table 4. Spearman rank correlations for original, duplicate and replicate analyses. (Ur = original sample; Dupl. = duplicate sample and Repl. = replicate sample; $r_s > 0.456$ are significant at the 95% level of confidence) $n = 17$.

Element	Ur - Dupl.	Ur - Repl.
As	.974	.977
Cr	.970	.980
Co	.998	.998
Cu	.988	.975
Mo	.986	.994
Ni	.905	.918
Pb	.993	.999
U	.797	.747
V	.995	.997
W	.908	.928
Zn	.999	.999

KORRELATION MELLAN DE KEMISKA ELEMENTEN

Korrelationen mellan elementhalterna (residualvärdena) i bäckvattenväxterna samt korrelationen mellan duplikat, replikat och originalprov har undersökts med Spearman rangkorrelation. Spearman-metoden baserar sig på en rangordning av variablerna istället för enbart en undersökning av linearitet som Pearson-metoden använder. Eftersom Pearson-metoden enbart mäter lineära korrelationer är en normalfördelad datamängd nödvändig. Spearman-korrelationen mäter alla slag av systematiska samband mellan variabelparen. Eftersom analysvärdena inte är normalfördelade och innehåller ett antal extremvärden 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 +0.2 och lägre än -0.2 kan anses som signifikanta på 5% risknivå medan korrelationskoefficienter större än +0.25 och mindre än -0.25 är signifikanta på 1 % risknivå (Reeves & Brooks, 1978).

Tabell 5. Korrelationsmatris (Spearman) på residualvärden inom karteringsområdet. Korrelationskoefficienter $> +.20$ och $< -.20$ är signifikanta på 5 % risknivå. Alla element, $n=400$.

Table 5. Spearman rank correlation matrix for corrected analytical values of the chemical elements presented on maps in this report. Coefficients $> +.20$ and $< -.20$ are significant at the 95 % level of confidence; $n=400$.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	U	V	W	Zn
As	1.00													
Cd	.16	1.00												
Co	-.14	.16	1.00											
Cr	.18	.23	.01	1.00										
Cu	.01	.16	.46	.27	1.00									
Hg	-.24	-.14	.17	-.09	.15	1.00								
Mo	.42	.19	-.08	.17	.04	-.02	1.00							
Ni	.07	.41	.47	.20	.52	.01	-.05	1.00						
Pb	.15	.08	.28	-.04	.18	.43	.24	.01	1.00					
Se	-.12	.08	.17	.07	.15	.63	.07	-.01	.57	1.00				
U	.18	.17	.18	.21	.34	.09	.35	.27	-.01	.08	1.00			
V	.16	.09	.20	.28	.10	.25	.26	-.08	.47	.38	.13	1.00		
W	.12	.22	.27	.39	.46	.02	.27	.20	.22	.22	.34	.33	1.00	
Zn	.16	.59	.15	.06	.27	-.12	.05	.51	.07	.11	.23	.06	.31	1.00

FAKTORANALYS

Faktoranalys kan förenklat förklaras som en fortsättning av korrelationsanalysen. Den är en statistisk metod där en komplex datamängd förenklas, genom att variablerna delas in i faktorer och där varje faktor representerar ett kluster av nära relaterade variabler (Davies & Wixson, 1987). Metoden är användbar för att man skall få ett statistiskt underlag för olika elementassociationer och för hur stor inverkan de enskilda elementen har på varandra.

Faktoranalysen kördes med logaritmerade residualvärden som variabler. Statistikprogrammet Statistica av StatSoft, användes för faktorberäkningarna. Inställningarna i faktorberäkningarna ställdes in på "varimax raw" rotation med minimum "eigenvalue" på 0,7. 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 inte längre påverkar totalvariationen.

Med en faktoranalysmodell enligt tabell 6 kan 69,4 % av totalvariationen för alla variabler (11 element, As, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, U, V, W, Zn) beskrivas. Dessutom har varje faktor en s.k. förklaringsprocent vilken anger hur stor inverkan den enskilda faktorn ifråga har på totalvariationen för alla variablerna (se tabell 6, sista raden (expl.var.)).

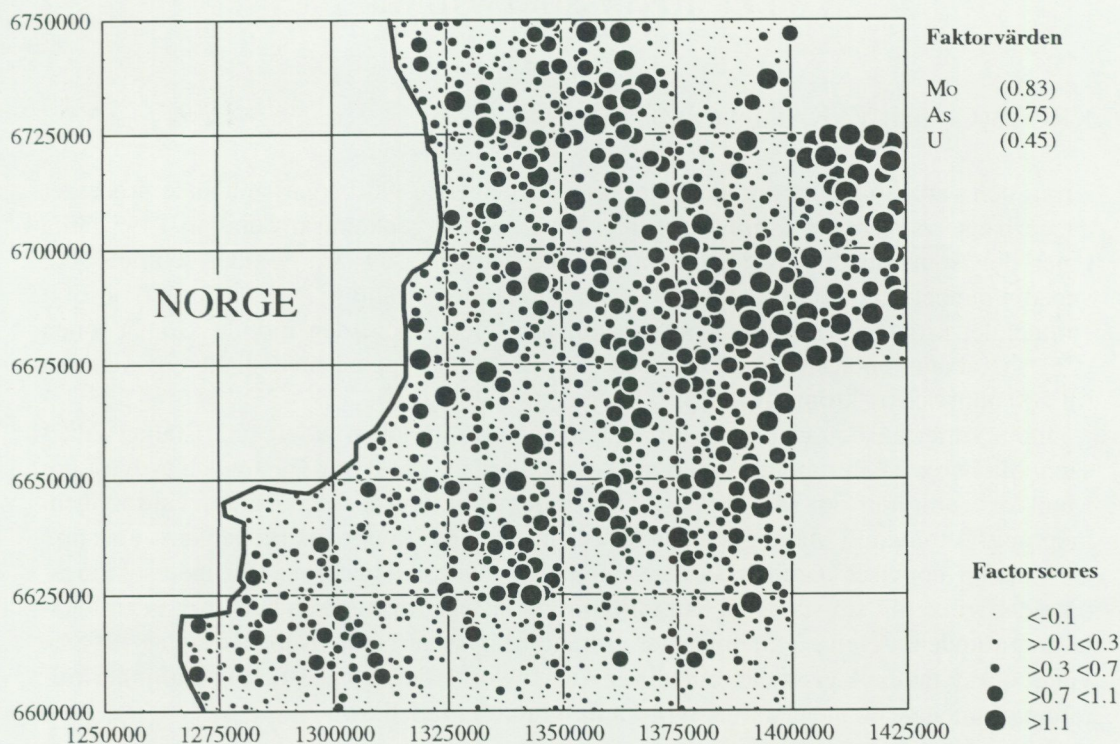
Ju närmare värdet 1.0 ett faktorvärde för en variabel är desto större inverkan har den variabeln på den specifika faktor som variabeln ingår i. Negativa faktorvärden betyder att dessa variabler har en motverkande inverkan på andra variabler inom faktorn ifråga. Faktorvärden lägre än +0.3 och högre än -0.3 är markerade med < och kan endast anses bidra med försumbar effekt på faktorn ifråga.

Tabell 6. Faktorvärden för logaritmerade residualvärden på bäckvattenväxtanalyser. Faktorvärden $< +0.300$ och > -0.300 är markerade med $<$.

Table 6. Factorloadings for log-transformed and corrected analytical values. Factorloadings $< +0.300$ and > -0.300 are marked with $<$.

Variabel	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
Co (log)	<	0.348	<	<	0.633
Ni (log)	<	0.864	<	<	<
Cu (log)	<	<	0.716	<	<
As (log)	<	<	<	0.719	<
Zn (log)	<	0.809	<	<	<
Cr (log)	-0.838	<	<	<	<
Mo (log)	<	<	<	0.838	<
Pb (log)	<	<	<	<	0.766
U (log)	<	<	0.469	0.535	<
V (log)	-0.616	<	<	0.325	0.476
W (log)	<	<	0.770	<	<
Expl.var. (%)	11,2%	15,3%	13,5%	16,0%	13,4%

Faktor 4 med starka inslag av Mo, As och U kan anses vara beroende av den granitiska berggrunden inom karteringsområdet. Graniterna varierar dock i mineralsammansättning och då också i elementinnehåll. De graniter som framträder bäst är de som innehåller de högsta halterna av ovannämnda element. Även vulkaniterna kan bidra till förhöjningar av dessa element då främst p.g.a. att As förekommer som sulfider i vulkaniterna. De lägsta halterna av dessa element förekommer i områden med bergarter som t.ex. Dalasandstenen (Figur 2). Denna sandstensformation framgår tydligt av figurerna 2 och 4 som ett enhetligt område med låga faktorscores i nordöstra delen av karteringsområdet.



Figur 4. Faktorvärden för faktor 4 inom undersökningsområdet.

Figure 4. Factorscores for factor 4 within the study area.

pH-MÄTNINGAR AV BÄCKVATTEN

I samband med bäckvattenväxtprovtagningen mäts också pH i bäckvattnet. Mätningarna har utförts i samband med provtagningen och ger ett riktvärde på vattnets pH-värde i respektive bäck vid provtagningstillfället. Vid mätningarna används s.k. "pH-pennor", som är små vattentäta pH-mätare. Varje bäck mäts med två pH-mätare och medelvärdet används vid framställningen av pH-kartan. 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 främst i skogsmarker där tillgången på humusämnen är rik, medan älvdalterrängen och slättlandet med tillhörande jordbruk och mindre mängd humussyror uppvisar pH-värden nära det neutrala (pH 6–7).

ELEMENTASSOCIATIONER

KROM (Cr) och VANADIN (V)

Krom och vanadin har ett liknande geokemiskt beteende vid bergartsbildande processer då de båda ersätter järn i mineralgittret. Vanadin kan geokemiskt delas in i två olika typer, dels som vanadin i resistent mineral där det har ersatt järn i oxider och dels som vanadin bundet till organiskt material. Krom förekommer vanligtvis i svårslöslig oxidform i mineralet kromit men under kraftig oxidation bildar krom den mobila kromat jonen (Cr^{6+}) (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). I jordskorpan uppgår medelhalten av vanadin till 100 ppm och av krom till 70 ppm (Koljonen, 1992).

Inom karteringsområdet förekommer högre halter av krom på ett fåtal ställen vilket sannolikt beror på antropogen inverkan. Anomalierna sydväst om Torsby och sydväst om Munkfors samt norr om Koppom i Charlottenbergstrakten kan antas vara av antropogen ursprung. Anomalin i Malungstrakten beror sannolikt på skinnindustrin och dess utsläpp.

Vanadin uppvisar däremot större sammanhängande anomalier inom undersökningsområdet, vilket till största delen kan förklaras av inslaget av mafiska bergarter i den lokala berggrunden. Även i granitoider är V-halterna ganska höga (Kabata-Pendias, 1984), vilket också faktor 4 visar där vanadin har ett faktorvärde på < 0.3 och förekommer tillsammans med de element som är typiska för graniter (Tabell 6).

Generellt uppvisar både Cr och V en regional förhöjning nordost om linjen Syssele-bäck och Hagfors. Denna gräns sammanfaller med Protoginzonen, vilken kan vara både en geokemisk och en berggrundsgeologisk gräns.

Elementassociationen krom och vanadin bidrar med en förklaringsprocent på 11,2 % av totalvariationen för samtliga variabler.

ZINK (Zn), NICKEL (Ni) och KOBOLT (Co)

Denna elementassociation är tillsammans med koppar typisk för sulfider. Elementen förekommer i ett brett spektrum av olika bergarter såsom olika sulfidmineral med tillhörande mineraliseringar och malmer. Zink och nickel bildar egna sulfidmineral i bergarter, medan kobolt vanligen förekommer tillsammans med nickel i mineralgittret. Gemensamt för dessa tre element är att de gärna substituerar Fe och Mg i mineralgittret. De uppvisar också en stark affinitet för lermineral och för oxider och hydroxider av Fe och Mn samt i någon mån även för organiskt material. Sulfidmineralen vittrar relativt lätt och metallerna går i lösning där de blir tillgängliga för växter. Medelhalten i jordskorpan av dessa metaller uppgår till 80 ppm Zn, 40 ppm Ni och 20 ppm Co (Koljonen, 1992).

De förhöjda Zn-halterna i Arvika-, Koppom-, och Vansbrotrakten härstammar sannolikt från sulfidmineraliseringarna i dessa trakter. De sporadiskt förekommande förhöjningarna i de centrala delarna av karteringsområdet torde härstamma från de basiska hyperitgångarna. Den stora sammanhängande anomalin i Sunnetrakten har även den sitt ursprung i den lokala berggrunden och dess moräner (NSG, 1992).

De regionala haltförhöjningarna för Co och Ni sydväst om Torsby–Munkfors återspeglar traktens sulfidmineraliseringar. I övrigt är området fattigt på Ni, medan Co uppvisar ett antal mindre anomalier även i de norra delarna av undersökningsområdet. Dessa förhöjningar kan också härledas till den lokala berggrunden.

Elementassociationen Zn, Ni och Co förklarar 15,3 % av variablernas totala variation.

MOLYBDEN (Mo), URAN (U), ARSENIK (As) och VOLFRAM (W)

Elementassociationen Mo, U och W är typisk för granitiska bergarter medan As i dessa bergarter kan associeras med mineraliseringar i graniter av t.ex. tenn. Som enskilda element kan dock Mo och As förekomma i ett brett spektrum av bergarter, både i mafiska och sura vulkaniska bergarter. De bildar båda sulfider och oxider (Goldschmidt, 1958). Höga halter av arsenik i bergarter kan ofta associeras med guldförekomster (Koljonen, 1992). Medelhalterna i jordskorpan av elementen är relativt låg, Mo 1–2 ppm, U 2,8 ppm, As 1,8 ppm och W 1,3 ppm (Koljonen, 1992).

I karteringsområdet förekommer ett antal olika granitoider vilkas innehåll av ovan nämnda element är varierande. Denna elementassociation återger väl de olika typerna av graniter inom karteringsområdet. På de enskilda haltvariationskartorna framgår inte områdena för de olika graniterna lika tydligt som på faktorplottkartan (Figur 4).

Området i nordost med de lägsta faktorvärdena sammanfaller med Dalasandstenen. Områden med de högsta sammanhängande faktorvärdena sammanfaller med Siljansgranit, Järngranit samt den ögonförande varianten av Värmlandsgranit, även kallad Filipstadsgranit. I Filipstadsgranit finns sura vulkaniter som mindre intrusiv, vilka kan vara en bidragande orsak till speciellt As-förhöjningarna i området längs gränsen mellan Värmlands- och Kopparbergs län. Även yngre graniter i den Sydvästskandinaviska provinsen bidrar med höga faktorvärden (Figur 2 och 4). Variationen för denna elementassociation kan förklaras till 16,0 % av den totala variationen för samtliga element (Tabell 6).

De förhöjda halterna på haltvariationskartorna för de enskilda elementen W och U i Vansbrotrakten härstammar från Järngranit och Siljansgranit. I Syslebäckstrakten uppvisar W en anomali vilken sammanfaller med den ögonförande Värmlandsgraniten, även kallad Filipstadsgranit.

På haltvariationskartan för arsenik kan även Dalasandstenen ses som ett bågformat område norr om Malung med låga halter.

KOPPAR (Cu), URAN (U) och VOLFRAM (W)

Dessa element förekommer inte tillsammans i någon allmän bergartsassociation. Koppar förekommer vanligtvis i sulfidform medan U och W förekommer som oxider. Däremot uppvisar de en liknande geokemisk karaktär, bl.a. en stark affinitet för lermineral samt att de är lättlösliga och mobila när de utsätts för oxiderande förhållanden. Medelhalten av koppar i jordskorpan är 30 ppm medan U och W förekommer i betydligt lägre halter, 2,8 ppm respektive 1,3 ppm (Koljonen, 1992).

Alla element i denna association uppvisar förhöjda värden i de bäckar som dränerar ler- och sedimentområden. Elementen har lakats ur vid oxidation av jordbruksjordarna vid t.ex. dikning och landhöjning. Detta kan förklara en del av haltvariationen för dessa element.

Kopparhalterna är låga i hela karteringsområdet, förutom ett fåtal anomala punktvärden kring Sunne och söder om Munkfors. Dessa anomalier sammanfaller med liknande anomalier för bl.a. Zn och Ni och har sannolikt sitt ursprung i samma bergarter. De något förhöjda halterna i Arvikaområdet samt norr därom beror på kopparmineraliseringar som finns i området. Den regionala förhöjningen av Cu sydväst om Torsby–Munkfors sammanfaller väl med ett liknande mönster för Co och Ni och kan härledas till berggrunden med dess sulfidförekomster.

De förhöjda W-halterna i Torsby–Sunnedalängan samt i trakterna kring Koppom och Arvika kan antas bero på jordartsförhållandena. Anomalierna korrelerar bra med sedimentområden. Detsamma gäller för U i Koppom–Arvikaområdet. Dessa sedimentområden är underlagrade de granitiska bergarter vilka är källan för U- och W-förhöjningarna i

dessa områden. De kraftiga förhöjningarna av U och W i Vansbrotrakten har sitt ursprung i Siljansgraniten och Järngraniten.

Variationen för denna elementassociation kan förklaras till 13,0 % enligt faktoranalysmodellen.

BLY (Pb), KOBOLT (Co) och VANADIN (V)

Bly, kobolt och vanadin har en gemensam källa i mineral som ingår i mafiska och även i sura vulkaniter. I jordskorpan förekommer bly med en medelhalt av 15 ppm (Koljonen, 1992).

Blyhalterna i bäckvattenväxterna i undersökningsområdet härstammar främst från naturliga källor. De generellt lägre halterna förekommer i älvdalar och i områden som legat under Högsta kustlinjen och som är täckta med sediment. De högre halterna i skogsteräng är naturliga p.g.a. att bly mobiliseras av de surare förhållandena som råder i skogs- och moränterräng. Vid jämförelse mellan Pb- och pH- variationskartan kan tydliga likheter ses i fördelningsmönstret. Där pH värdena är låga är Pb-halterna höga och vice versa.

Kobolthalterna kan också tillskrivas berggrunden i området. De anomala Co-halterna som förekommer väster om Sunne har sitt ursprung i sulfidmineraliseringarna i området. Detsamma gäller för bly- och vanadinanomalierna som sammanfaller med koboltanomalierna i samma område.

De förhöjda halterna av dessa metaller norr och sydost om Torsby har sitt ursprung i hyperitbergarterna i detta område.

Bly och vanadin och de mera sporadiskt förekommande koboltförhöjningarna längs länsgränsen och de som sträcker sig in i Kopparbergs län härstammar med hög sannolikhet från de utspridda mafiska bergarterna (grönstenar, basalt och diabas) som intruderat graniterna.

Denna elementassociation förklarar 13,4 % av totalvariationen för alla variabler enligt faktormodellen ovan.

KVICKSILVER (Hg) och KADMIUM (Cd)

Kvicksilver (Hg) är ett kalkofilt element och bildar sulfidmineralet cinnober (HgS) i närvaro av tillgängligt svavel. Det förekommer också tillsammans med ett stort antal andra sulfidmineral som t.ex. pyrit. Hg har också stark affinitet för organiskt material och bildar komplex med detta. Kadmium (Cd) uppvisar också en stark affinitet för svavel och zink och bildar gärna komplex med organiska komponenter. Cd och Hg uppvisar ett liknande geokemiskt beteende som zink p.g.a. deras liknande jonradier. Den geokemiska likheten för dessa element begränsar sig till deras substitution med varandra i mineralgittret samt för affiniteten till humussubstanser (Goldsmith, 1958). Jordskorpan medelhalt av Hg är 10–20 ppb och 0,1–0,2 ppm Cd (Koljonen, 1992).

Växter tar lätt upp Hg och Cd och en hög Hg- eller Cd-halt i jorden korrelerar väl med en hög halt i växter. Fastän dessa inte är essentiella element för växter så tas de lätt upp i rotsystem och bladverk (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Kvicksilver korrelerar starkast med Se, Pb och V medan det uppvisar en negativ korrelation med As. Kadmium korrelerar bäst med Zn följt av Ni, Cr och W (Tabell 5).

Kvicksilverförhöjningarna inom karteringsområdet kan till största delen förklaras av naturliga förhöjningar i berggrunden och i lokala jordarter. De två anomalierna öster om Töcksfors härstammar från sulfidmineraliseringarna i området. Anomalin som sträcker sig i NV–SO riktning från Munkforstrakten till Torsbytrakten sammanfaller väl med hyperitbergarterna (mafiska bergarter) inom området. De förhöjda halterna närmast norska gränsen har sannolikt sin naturliga källa i lättvittrade fjällbergarter, såsom svartskiffrar

eller alunskiffrar.

Kadmiumförekomsten inom karteringsområdet är till största delen beroende av naturliga källor. Förhöjningarna söder om Vansbro sammanfaller väl med ett vulkanitområde bestående av både sura och mafiska vulkaniter.

De förhöjda Cd-halterna kring Sunne sammanfaller med en liknande anomali för Zn och beror på den lokala berggrunden med dess moräner. Berggrunden kring Sunne är huvudsakligen gnejsgranitisk med inslag av hyperit.

SELEN (Se)

Selen förekommer i ett brett spektrum av bergarter dock oftast i låga halter. Höga halter är oftast associerade med sulfidmineraliseringar då Se ersätter S i mineralgittret. Lösligheten för Se i de flesta jordarter kan anses som låg vid neutrala pH (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Medelhalten Se i jordskorpan varierar mellan 50–160 ppb (Koljonen, 1992).

Selen uppvisar starka korrelationer med bl.a. Hg, Pb och V (Tabell 5). Se uppvisar likheter i geokemi med Pb och Hg i samband med sulfidmineral där Se ersätter S (Wedepohl, 1969–79). I sydvästra delen av karteringsområdet har man funnit clausalit (blyselenid) i samband med kopparsulfid i Glava kopparfält söder om Arvika (Lundegårdh, 1995). Vanadin och Se har ett indirekt samband genom substitution av Fe mot V i mineral och i sekundära Fe-föreningar (Wedepohl, 1969–79).

Karteringsområdet är relativt selenfattigt, vilket i sin tur återspeglar jordarterna och underliggande bergarters selenstatus. Söder om Arvika och norr om Töcksfors kan en generell förhöjning skönjas. Dessa förhöjningar har sitt ursprung i den lokala moränen som är främst påverkad av lokala bergarter och deras sulfidmineraliseringar.

Faktaruta

Affinitet = Dragningskraft, benägenhet

Antropogen = Inverkan av mänsklig aktivitet

Oxidation = Tillförsel av syre

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, *Rhynchostegium 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 1993 and 1994 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 2269.

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 69,4 % of the total variation of all the variables (Table 6).

DESCRIPTION OF THE AREA

The study area is located in western Sweden, in the northern part of the county of Värmland and the southwestern part of the county of Dalarna (former Kopparberg county). The study area covers about 15 700 km². 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

Geologically the area belongs to the Svecofennian Shield. The Shield is a result of a complex tectonic evolution spanning over 3000 Ma during three major orogenic events and is geochronologically getting younger from northeast to southwest. The study area belongs 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 Protogine zone, a major belt of shearing and faulting, separates the Transscandinavian Porphyry Belt from the South Western Domain in southwest (Gaál and Gorbatshev, 1987).

The western parts of the study area consist predominantly of gneisses and granitic gneisses, partly containing feldspar augens and partly migmatized. The gneiss terrain is intruded by anorogenic hyperites, which are doleritic and olivine-bearing in composition

(Lundegårdh, 1995; Wahlgren et al., 1996). The chromium contents in the hyperites are low and they are therefore considered as anorogenic (Lundegårdh, 1995; Wahlgren et al. 1996). To the east of the gneiss terrain the Värmland granites occur either as an even-grained red granite named the Hagfors granite or as a porphyritic granite named the Filipstad granite (Lundegårdh, 1995). Minor felsic volcanics, gabbros, dolerite dikes and metasedimentary rocks are included in the Värmland granite. In the northern parts of the study area a sandstone of Jotnian age covers a large area. The sandstone is fine-grained consisting of quartz together with some feldspar and with a matrix of very fine-grained quartz and feldspar or sericite. It is surrounded and partly underlain by porphyries and granites (Figure 2) (Hjelmqvist, 1966). Mineralizations in the study area are mainly situated in the southwestern parts of the area (Figure 3). The types of mineralizations are various oxides and sulphides, with the latter as the dominating type.

Quaternary geology

Sweden (and the rest of the Fennoscandian shield) was covered several times by continental ice sheets during the Pleistocene. The latest deglaciation in the area took place 11000–8000 years BP. Almost the whole study area is covered by till and is situated above the highest shoreline of the Baltic Sea. Only the lowest parts of the fracture valleys are covered with glacialfluvial and alluvial sediments formed during the latest deglaciation. The dominating parts of the sediments consist of gravel, sand, both glacialfluvial and alluvial, and fine sand with minor postglacial clays in the southern parts of the study area. The dominating soil component is till derived from local rocks, while peat is the most common organic deposit in the area. Till is either sandy or gravelly with high to normal boulder content (Lundqvist, 1958).

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 glacialfluvial 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

The biogeochemical maps show the distribution of the elements both derived from natural and anthropogenic sources. The natural source for the chemical elements is the underlying local bedrock and surrounding quaternary deposits.

Chromium and vanadium has a similar geochemical behaviour in rockforming processes, they both substitute for iron in the lattice. The Cr-variation map shows only a few small anomalies which are considered to be of anthropogenic origin. The anomaly in the Malung area is most likely due to the leather industry in that area. North of Koppom is another anomaly which is most likely to be considered as anthropogenic.

Vanadium shows larger and more continuous anomalies. These elevations in V-contents

can be explained by the local rocks in the study area, mainly depending on the distribution of the mafic rocks.

Both Cr and V show a regional elevation northwest of the line from Sysseleback to Hagfors. This line coincides with the Protogine zone and may constitute the borderline of both a geological and a geochemical region.

The chromium and vanadium factor explains 11,2 % of the total variation of all variables.

The element association that consists of Zn, Ni and Co are typical sulphide elements. They occur in many different rocks as sulphide minerals in mineralizations and ores. Zinc and Ni form their own minerals while Co often occurs with Ni in the lattice.

In the Vansbro area zinc shows elevations caused by the sulphide mineralizations in that area. The anomalies around Arvika and Koppom are also due to sulphide mineralizations. The elevations in the central parts of the study area are also due to the local rocks and their corresponding tills (NSG, 1992). The high contents around Sunne coincide with similar elevations in the cadmium map.

The Ni and Co anomalies to the west of Torsby and Sunne are most likely caused by the sulphide mineralizations in that area.

In the factor model this element association explains 15,3 % of the total variation.

The major part of the distributions of As, Mo, U and W are explained by natural sources. The main source for this element association is granites of different types and ages and acid metavolcanics. In the northern part of the area, north of Malung, the Jotnian Sandstone formation can be detected in the factor analyses map for these elements (Figure 2 and 4). It can also be detected in the single element maps for As and Mo as an area of very low contents of these elements. This element association explains 16,0 % of the total variation.

Copper, uranium and tungsten do not occur together in the same minerals and rocktypes. However they all display a similar geochemical behaviour during weathering processes. They are all very mobile in oxidizing environments and have a strong affinity for clay minerals.

This element association correlates well with streams that drain clay and sediment rich areas, which often are agricultural areas. The areas are also underlain by granitic rocks which may be the source of U and W.

The association of Cu, U and W explains 13,0 % of the total variation in the factor model explained above.

Lead, cobalt and vanadium have a common source in minerals which occur in mafic and acid volcanic rocks.

The Pb content in roots is derived mainly from the local tills and rocks and sulphide mineralizations. In the river valleys where agricultural activity is common and the humic substances are low in concentration the Pb-contents are low. In the forest areas with higher concentrations of humic substances (lower pH in stream waters) the Pb contents are high.

Cobalt and vanadium are also derived from the local rocks with their sulphide mineralizations. This element association describes 13,4 % of the total variation of the variables.

Mercury is a chalcophile element and forms a sulphide mineral, cinnabar (HgS), in contact with accessible sulphur. It also co-exists with other sulphide minerals, e.g. pyrite.

Mercury in root material reflects the Hg contents of the local bedrock and the till derived from it during the last glaciation relatively well. The elevations in Hg-contents to the east of Töcksfors can be related to sulphide mineralizations in the area. The anoma-

lies situated close to the Norwegian border are most certainly due to easily weathered alum-shales in the Caledonian mountain range.

The variation map for cadmium shows a pattern similar to zinc. This similarity can also be seen in the high correlation coefficient between the elements ($r_s = 0.59$) (Table 5). Therefore the main source for Cd in the study area can be explained by the local rocks and the till derived from them during the latest glaciation. The small anomaly in the Sunne area correlates well with a similar anomaly for Zn.

The contents of Se in the mapping area are low compared to the average values in Sweden (about 5000 samples). Selenium is a chalcophile element and substitutes for S in the lattice. Therefore the highest contents are found in sulphide-rich rocks. Such rocks are rare in the mapping area but can be found in the southwestern part of the area where a slight elevation in the Se-contents can be seen.

REFERENSER / REFERENCES

- Brundin, N.H. & Nairis, B., 1972: Alternative sample types in regional geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*, 1:7–46.
- 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.
- Gaál, G. & Gorbatshev, R., 1987: An outline of the Precambrian evolution of the Baltic Shield. – *Precambrian Research*, 35, 15–52.
- Garrett, R.G., 1993: Another cry from the heart. – *Explore*, 81, 9–13.
- Goldschmidt, V.M., 1958: *Geochemistry*. – Oxford University Press.
- Herz, U., 1976: *Dalarna – Igår–Idag–Imorgon*. Brevskolan. Borås, 140 s.
- Hjelmqvist, S., 1966: *Beskrivning till berggrundskarta över Kopparbergs län*. Summary: Description to maps of the pre-quaternal rocks of the Kopparberg county, central Sweden. – *Sveriges Geologiska Undersökning, serie Ca 40*. Stockholm
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H., 1984: *Trace elements in Soils and Plants*. – CRC Press, USA, 315 s.
- Koljonen, T., 1992 (Editor): *Suomen Geokemian Atlas, Osa 2: Moreeni*. The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. – Geological Survey of Finland, Espoo, 218 s.
- Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, Th. 1991: *Sveriges Geologi från Urtid till Nutid*. – Studentlitteratur, Lund, 398 s.
- Lundegårdh, P.H., 1995: *Beskrivning till berggrundskartan över Värmlands län*. – *Sveriges geologiska undersökning, ser. Ba nr 45:1*
- Lundqvist, J., 1958: *Beskrivning till jordartskarta över Värmlands län*. – *Sveriges geologiska undersökning, serie Ca 38*. English summary of the general part published separately in SGU, ser. C 559. Stockholm.
- Nilsson, C.-A. & Ressar, H., 1995: *Biogeokemiska Kartan*. – *Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden nr 78*.
- NSG, 1992: *Geochemical maps. (Morängeokemiska kartor)*.
- Reeves, R.D. & Brooks, R.R., 1978: *Trace Elements Analysis of Geological Materials*. – John Wiley & Sons, 412 s.
- SIND PM 1983:7: *Berg och Malm i Kopparbergs län*. Stockholm.
- SIND PM 1983:8: *Berg och Malm i Värmlands län*. Stockholm.
- Sveriges Nationalatlas, 1994: *Berg och jord*.
- Sveriges Nationalatlas, 1991: *Miljön*.
- Wahlgren, C.-H., Heaman, L.M., Kamo, S. & Ingvald, E., 1996: U - Pb baddaleyti dating of dolerite dykes in the eastern part of the Sveconorwegian orogen, south-central Sweden. – *Precambrian Research*, 79: 227–237.
- Wedepohl, K.H., Correns, C.W. m.fl., 1969–79: *Handbook of geochemistry*. – Springer Verlag, Berlin.

I SGUs serie Rapporter och meddelanden har hittills utgivits

- *1. Utredning rörande det svenska jordbrukets kalkförsörjning 1–2. 1931.
- *2. **Sahlström, K.E.** Sveriges lodade sjöar. 1945.
- *3. **Ödman, O.H.** Rapport över manganmalmsletningen i Jokkmokks socken 1940–48.
4. **Stålhös, G.** Bidrag till kännedomen om den radioaktiva strålningens fördelning inom den svenska berggrunden. 1959.
5. **Johansson, H.G. och Ericsson, B.** Grusutredningen -74. Översiktlig inventering av sand- och grusförekomster – Försöksverksamhet. 1976.
- *6. **Knutsson, G., m.fl.** Grustillgångarna i Östersundsområdet. Del 1 inventering. 1976.
- *7. **Ericsson, B.** Svallgrustillgångar längs Kilsbergen, Örebro län. 1977.
8. **Gustafsson, O. och De Geer, J.** Skånes större grundvattentillgångar. 1977.
9. **Knutsson, G. och Fagerlind, T.** Grundvattentillgångar i Sverige. 1977.
10. **Modig, S., Knutsson, G., Nordberg, L. och Persson, G.** Särtryck ur Ymer 1978 – Bebyggelsen och vattnet. 1978.
11. **Guy-Ohlson, D.** Jurassic biostratigraphy of three borings in NW Scania. (A brief palynological report.) 1978.
12. **Gustafsson, O., Andersson, J.-E. och De Geer, J.** Sammanställning av hydrogeologiska data från Kristianstadsslätten. 1979.
13. **Hörnsten, Å.** Sand och övriga jordarter i Öresund. Maringeologiska kartor över Öresund. 1979.
- *14. Hydrogeologi vid SGU. Särutgåva av Vannet i Norden. 1979.
15. **Knutsson, G., Lindén, A. och Rudmark, L.** Grus- och moräntillgångar i Nybroregionen. 1979.
16. **Wilson, M.R. och Sundin, N.O.** Isotopic age determinations on rocks and minerals from Sweden. 1960–1978.
17. **Karlqvist, L. och Qvarfort, U.** Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand-bentonitskikt. 1980.
18. **Karlqvist, L. och Qvarfort, U.** Gruvhanteringens inverkan på Bersboområdet, Åtvidabergs kommun. 1980.
19. **Wilson, M.R. and Åkerblom, G.** Uranium enriched granites in Sweden. 1980.
- *20. **Cato, I. och Engdahl, M.** Beskrivning till temakartor utvisande var särskild uppmärksamhet av stabilitetsförhållanden erfordras inom vissa bebyggda eller detaljplanerade områden med lerjord. 1982.
21. **Olsson, T.** Ground-water-level fluctuations as a measure of the effective porosity and ground-water recharge. 1980.
22. **Bergström, J. och Shaikh, N.A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kristianstads län. Projekt i länsplanering 1980. 1980.
23. **Lilja, A.** Störning av berggrundens temperaturförhållanden vid hammarborrning. 1981.
24. **Agrell, H.** Gotska Sandöns kvartärgeologi. (Summary: The Quaternary geology of the island of Gotska Sandön in the Baltic.) 1981.
25. **Laufeld, S., (Ed.).** Proceedings of Project Ecostratigraphy Plenary Meeting, Gotland, 1981. 1981.
26. **Fredén, C., m.fl.** Tuveskredet, 1977-11-30. Geologiska undersökningar. Särtryck av SGI Rapp. 11 B. 1981.
27. SWIM 81. Intruded and relict groundwater of marine origin. Proceedings of Seventh Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala, Sweden, 14–17 September 1981. 1981.
28. **Aastrup, M., Aneblom, T., Henriksson, B. och Persson, G.** PMK-grundvatten. Lägesrapport mars 1982. 1982.
29. Energigeologi. Exempel på verksamhet inom energisektorn vid SGU. April 1982.

30. Åkerblom, G. and Wilson, C. Radon – geological aspects of an environmental problem. 1982.
31. Bergström, J. och Shaikh, N.A. Malmer, industriella mineral och bergarter i Malmöhus län. 1982.
32. Ericsson, B. och Grånäs, K. SGU:s grusdataarkiv. 1983.
33. Sivhed, U. Upper Cretaceous Ostracodes from the Malen Limestone quarry and the river Stensån, southern Sweden. 1983.
34. Berggrundsgeokemi som prospekteringsmetod i Sveriges urberg. Föredrag och inlägg från ett symposium i Uppsala den 17–18 mars 1983 anordnat av Sveriges geologiska undersökning och Svenska Gruvföreningen. O. Selinus (Red.). 1983.
35. Vanadin. 1984.
37. Andersson, M. och Ohlsson, S.-Å. Geokemisk kartering. 1984.
38. Lundqvist, Th. Färg- och teckenschema för SGU:s berggrundskartering. 1984.
39. Lindewald, H. Salt grundvatten i Sverige. 1985.
40. Guy-Ohlson, D. and Malmquist, E. Lower Jurassic biostratigraphy of the Oppegård Bore No. 1, NW Scania, Sweden. 1985.
41. Andersson, M. Geokemisk kartering. Tungmineralanrikad morän. Kartbladen 15–16, C–D och 16–17, G. 1985.
42. Ressar, H. och Ohlsson, S.-Å. Geokemisk kartering. Bäcktorv. Bilaga: Beskrivning av de fjorton spårelementens exogena geokemiska kretslopp av John Ek. 1985.
43. Grundvattennätet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
44. Grundvattenkvalitet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
45. Shaikh, N.A., Samuelsson, L., Sundberg, A. och Wik, N.-G. Malmer, industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län. 1986.
46. Fredén, C. Quaternary marine shell deposits in the region of Uddevalla and Lake Vänern. 1986.
47. Ahlberg, P. Den svenska kontinentalsockelns berggrund. 1986.
48. Ressar, H., Ohlsson, S.-Å. och Ekelund, L. Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Kalmar, Oskarshamn, Sundsvall och Vilhelmina. 1986.
49. Ressar, H., Ohlsson, S.-Å. och Ekelund, L. Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Malmö och Sundsvall. 1987.
50. Shaikh, N.A., Persson, L., Sundberg, A. och Wik, N.-G. Malmer, industriella mineral och bergarter i Jönköpings län. 1989.
51. Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å. Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i Bäckvattenväxter. Översiktsbladen Göteborg och Borås. 1988.
52. Gustafsson, O., Jonasson, S.A. och Andersson, C. Grundvattenundersökningar på Kristianstadsslätten 1976–1987. 1988.
53. Andersson, M. Markgeokemiska kartan 18–22, G–I. 1988.
54. Shaikh, N.A., Karis, L., Kumpulainen, R., Sundberg, A. och Wik, N.-G. Kalksten och dolomit i Sverige. Del 1. Norra Sverige. 1989.
55. Shaikh, N.A., Karis, L., Snäll, S., Sundberg, A. och N.-G. Wik. Kalksten och dolomit i Sverige. Del 2. Mellersta Sverige. 1989.
56. Shaikh, N.A., Bruun, Å., Karis, L., Kjellström, G., Sivhed, U., Sundberg, A. och Wik, N.-G. Kalksten och dolomit i Sverige. Del 3. Södra Sverige. 1990.
57. Modig, H., Miller, U. och Robertsson, A.-M. Karbonat i jord. Del 4. Försurning i äldre sedimentlagerföljder med anknytning till och i jämförelse med nutid. 1990.
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.
61. Kornfält, K.-A., Samuelsson, L., Sundberg, A., Wik, N.-G. och Wikman, H. Malmer, industriella mineral och bergarter i Kronobergs län. 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.
64. **Cato, I.** Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. 1990.
65. **Bruun, Å., Kornfält, K.-A., Sundberg, A., Wik, N.-G., Wikman, H. och Wikström, A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kalmar län. 1991.
66. **Frietsch, R., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Register över svenska fyndigheter av malmmineral och industriella mineral och bergarter. 1991.
67. **Robertsson, A.-M.** Strandförskjutningar i Eskilstunatrakten för ca 9000 till 4000 år sedan. 1991.
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.
71. **Hopsu, V.** Norbergs gruvor på 1960-, 70- och 80-talen. 1992.
72. **Gustafsson, O.** Radonhalten i grundvatten från granitområden i Malmöhus län. 1992.
73. **Andersson, M. och Nilsson, C.A.** Markgeokemiska kartan 3–7, F–H. 1992.
74. **Cato, I.** Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. 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.
76. **Stephens, M.B. och Wahlgren, C.-H.** (Conveners). Workshop. Ductile shear zone in the Swedish segment of the Baltic Shield. Abstracts and excursion guide. Uppsala 1993.
77. **Sander, A.** Värderingsmodell för naturresurser. Tillämpning på ballasttillgångar.
78. **Nilsson, C.-A. och Ressar, H.** Biogeokemiska kartan 11–12, E–H, 12–13, G–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1995.
79. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1994.
80. **Bruun, Å., Nilsson, C.-A., Sundberg, A., Wik, N.-G. och Wikström, A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Östergötlands län. 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.
83. **Robertsson, A.-M., Erlström, M., Damell, D., Qvarfort, U. & Fredriksson, D.** Bakgrundsdata för metaller – surhet och landskapsutveckling från sedimentundersökningar. Sammanställning av data från Örebro. 1996.
84. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1995.
85. **Andersson, M. och Lax, K.** Markgeokemiska kartan 20–22, I–L. 1996.
86. **Selinus, O. (red.).** Miljögeologi. Kartor för samhällsplanerare och miljövårdare. Exempel från Mittnordensområdet. 1996.
87. 14th Salt Water Intrusion Meeting. SWIM 96. 1996.
88. **Larsson, J.-O.** Diamanter – en blivande bristvara? 1997.
89. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1996.

* Utgången



Distribution

SGU
Box 670
751 28 UPPSALA
Tel 018-17 90 00
Fax 018-17 93 70