Markgeokemi: morän- och sediment-geokemi i östra Svealand

Mikael Carlsson, Julio Gonzalez & Anna Ladenberger

oktober 2020

SGU-rapport 2020:32



SGU Sveriges geologiska undersökning

Omslagsbild: Öregrund vid uppländska kusten.
Fotograf: Anna Ladenberger

English title: Geochemistry: till and sediment geochemistry in eastern Svealand

Författare: Mikael Carlsson, Julio Gonzalez & Anna Ladenberger
Ansvarig enhetschef: Ildikó Antal Lundin
Granskad av: Madelen Andersson, Stefan Bergman, Linda Wickström & Henrik Mikko

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

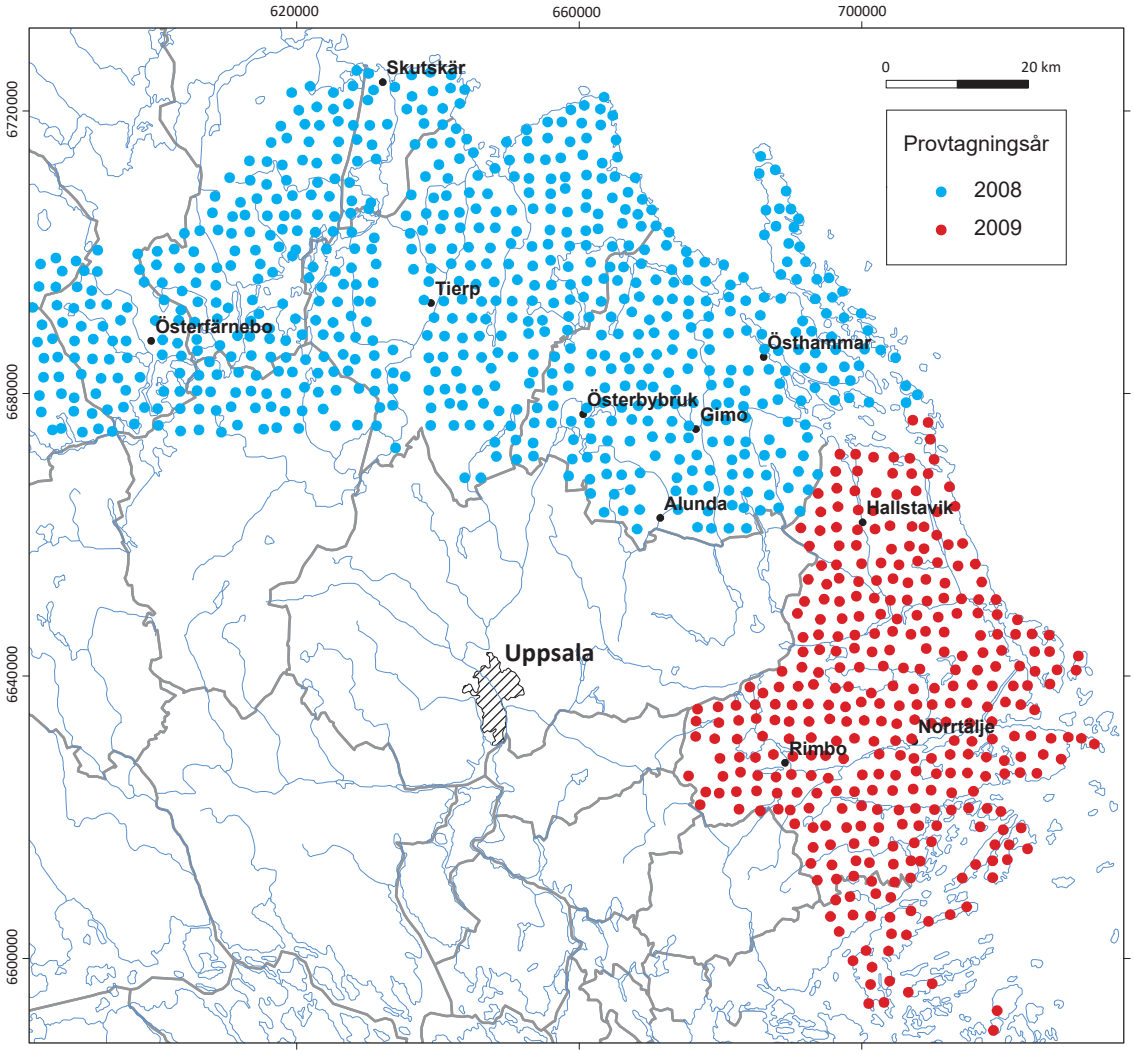
Geokemisk kartering vid SGU 4
Användning av de markgeokemiska kartorna 5
Provtypen morän 6
Provtypen sediment 7
Metodik 7
  Provtagning 7
  Provberedning 8
  Randomisering 8
  Analys 9
  Kvalitetskontroll 9
Databehandling 10
  Percentilindelning 10
  Kartor 10
Grundämnenas förekomst och rörlighet 13
  Geologiska förutsättningar 13
  Markprocesser 14
  Lakbarhet och associationer 14
Grundämnen i näringskedjan 17
Miljögeokemi 18
Områdets geologi 19
  Berggrunden 19
  Mineraliseringar 21
  Kvartärgeologi 21
Geokemi i områdena – grundämnenas förekomst och associationer 28
Summary 37
Referenser 39
Bilaga 1. Regionala markgeokemiska kartor 41
  Förekomst av huvud- och spårelement samt pH i morän 41
  Förekomst av huvud- och spårelement samt pH i sediment 70
Bilaga 2. Översiktlig elementbeskrivning 97
Bilaga 3. Generella riktvärden för förorenad mark 107

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Geokemisk kartering vid SGU bedrivs huvudsakligen i syfte att visa den naturliga förekomsten av huvudämnen och spårämnen samt pH i mark och vatten. Med regional markgeokemisk kartering provtas och analyseras finfraktionen av morän och sediment (leror, silt och sand). Biogeokemisk kartering, som ägde rum 1982–2006, visar innehållet av grundämnena i bäckvattenväxter vilket indirekt avslöjar innehållet i det förbirinnande vattnet.

Den aktuella kartläggningen berör delar av sydöstra Gävleborgs län, norra Uppsalas län och norra Stockholms län. Totalt omfattas ca 7 214 km^2 och projektområdet kallas östra Svealand. Kommuner som berörs är Avesta, Hofors, Sandviken, Gävle, Heby, Älvkarleby, Tierp, Östhammar, Norrtälje, Värmdö och Österåker. Denna rapport kan ses som en fortsättning av de markgeokemiska undersökningar som tidigare publicerats i SGUs serier Rapporter och meddelanden, Gk samt K (se t.ex. Andersson 2004, Andersson 2006, Andersson m.fl. 2007, Carlsson m.fl. 2009).

Rapporten baseras på kemiska analyser av morän och sediment insamlade under två provtagningssäsonger (2008–2009) (fig. 1). Den markgeokemiska informationen har tagits fram som



Figur 1. Provtagningspunkter för morän (1 021 lokaler) i östra Svealand.

Sampling sites of till (1 021 sites) in eastern Svealand.

kartor och statistik med syftet att visa enskilda grundämnens regionala frekvens och distribution. De flesta analyserade grundämnen som uppfyller stipulerade krav på analyskvalitet redovisas.

Kartor över de kemiska parametrarna baseras på moränprov som normalt är tagna på ca 0,6–1,2 m djup och analyserade på finfraktionen (< 0,063 mm) och sedimentprov från 1 m djup analyserade på < 2 mm. För morän och sediment har kartor framställts av Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, pH, Pr, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr. För morän finns även kartor över Au, Sb, Ta och Te.

Rapporten har framställts av Mikael Carlsson med hjälp av Julio Gonzalez (berggrund) och Anna Ladenberger. Ansvarig för pH-mätningar har varit Birgitta Löwenhielm, för ICP-analyser Torsten Liljefors och Sten-Åke Ohlsson. För analyskvalitet svarar Anna Ladenberger och George Morris. Ett stort tack till Madelen Andersson som har granskat rapporten, till Stefan Bergman och Linda Wickström som granskat avsnitten med berggrunden och till Henrik Mikko som granskat avsnittet med kvartär historia.

År 2014 utkom ett par geokemiska publikationer som båda berör regionen. Den ena är *Geokemisk atlas över Sverige* (Andersson m.fl. 2014) som visar geokemiska mönster för grundämnen över hela landet, baserade på morän, bäckvattenväxter och betesmark. Provtätheten för den geokemiska atlasens moränprov är 1 prov per 150 km^2, till skillnad från provtätheten i denna rapport som är 1 prov per 6–7 km^2. Den andra publikationen är *Chemistry in Europe's agricultural soils*, som i två band behandlar geokemin i åkermark och betesmark (Reimann m.fl. 2014).

ANVÄNDNING AV DE MARKGEOKEMISKA KARTORNA

Markgeokemiska data används bland annat inom mineralprospektering, miljöövervakning, markforskning, skogsbruk, kommunal planering och medicinsk forskning. Eftersom provtypen avspeglar den naturliga metallhalten i marken kan de markgeokemiska resultaten med fördel användas som bakgrundsinformation när man undersöker förorenad mark och bedömer vattenkvalitet. Med teman som malmletning, försurning, recipientskydd och förorenad mark kan kartorna och informationen anpassas till olika relevanta verksamhetsområden.

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

Man kan däremot fråga sig hur omfattande spridningen till miljön varit och är av människans långvariga bruk av metaller. Redan för flera tusen år sedan bearbetades koppar och guld till smycken. Under hela den förindustriella epoken har keramik, glas, vapen, färgämnen och läkemedel tillverkats. Oavsiktlig och omfattande spridning av metaller har gjort att metaller som zink, tenn, bly, kobolt, kadmium, silver, arsenik och antimon under mycket lång tid har cirkulerat i miljön. Det är främst i humus och ytlig jord man ibland kan spåra antropogent metalltillskott. I djupare jordlager kan man generellt anta att mängderna av dessa metaller är så låga att de inte kan särskiljas från naturliga halter. Ett undantag är antropogent tillfört svavel som på grund av sin höga mobilitet kan nå större markdjup.

Förekomst och spridningsmönster i moräners C-horisont bildar således olika naturliga geokemiska provinser. Man kan säga att den geokemiska statusen varierar. Till exempel innebär

hög förekomst av nyttiga, basiska ämnen i mineraljorden oftast att pH är relativt högt och att innehållet av vittringsbenägna mineral frigör tillräckligt med ämnen som växter och djur tillgodogör sig (gäller såväl huvudkomponenter som spårämnen och metaller). Den geokemiska statusen är därför god. Inom andra regioner kan i stället nyttiga ämnen förekomma i låga halter eller med låg lakbarhet, samtidigt som pH kan vara lågt. Den geokemiska statusen är därmed betydligt sämre.

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

PROVTYPEN MORÄN

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

Tre huvudtyper av morän förekommer: basalt deponerad morän, utsmältningsmorän samt flytmorän. Basalt deponerad morän avsätts under en aktiv glaciär genom att material i princip skrapas av mot underlaget. Resultatet blir ofta en hårt packad morän med relativt få strukturer. Den är ganska homogen vad avser utseende, textur och innehåll. Denna moräntyp kan vara ganska korttransporterad och ger då i regel en bra spegling av den lokala berggrunden.

Utsmältningsmorän bildas när materialet sakta smälter fram ur is som vanligen är stagnant. Denna process kan medföra att moränen på vissa ställen tvättas ur på finmaterial och tunga mineral som sedan kan anrikas till exempel runt stenar. Moräntypen kan därför vara ganska inhomogen. Den kan dessutom ha sitt ursprung långt ifrån depositionsplatsen och därför ge en sämre spegling av den lokala berggrunden.

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

En basalt deponerad morän har vanligtvis en jämn eller regelbundet strömlinjeformad överyta. Utsmältningsmoräner och flytmoräner bildar ett mer oregelbundet småkulligt landskap och kan innehålla olika strukturer med omväxlande grovt och finkornigt material. Om utsmältningsprocessen sker långsamt blir dock resultatet en ganska massiv utsmältningsmorän som kan vara svår att skilja från en basalt deponerad morän. Oavsett moräntyp finns ofta ett samband mellan andelen finkornigt material i moränen och metallinnehållet – ju större andel finkornigt material desto högre metallhalt, men det finns undantag från detta. Moränens sammansättning kan sammanfattningsvis sägas avspegla såväl modermaterialet som de moränbildande processerna. För mer ingående diskussioner rörande olika moräntyper, strukturer och texturer se Krüger (1979).

Transportlängden, som är en viktig parameter vid framför allt morängeokemisk malmprospektering, kan variera kraftigt för moräner. Här är det viktigt att skilja på transportlängder för olika kornstorleksfraktioner i moränerna. Allteftersom eroderade bergartsfragment nöts ner minskar förekomsten av en bergart i blockfraktionen medan representationen i finare fraktio-

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

Flera studier i Finland (Bouchard & Salonen 1990, Perttunen 1991, Sarala 2006) har visat att många moräner transporterats kortare sträcka än 20 km. De flesta har transporterats betydligt kortare. I Sverige visar undersökningar baserade på morängeokemi och blockspridning liknande resultat, med en transportlängd av ca 2–3 km i de flesta områden (Sohlenius m.fl. 2009).

Trots att det ibland blir svårt att tolka komplexa bildningssätt för moräner och variationer i transportlängder, finns det få alternativ till denna provtyp om avsikten är att få en bild av berggrundens generella sammansättning. Morän ses som kompositprov av moderbergarterna.

PROVTYPEN SEDIMENT

De typer av sediment som ibland provtas för markgeokemiska undersökningar är huvudsakligen sorterade leror och finsediment (silt). Glaciala sediment avsattes i samband med inlandsisens avsmältning medan postglaciala avsattes efter. Sedimentationsprocesser för de senare pågår också fortfarande i sjöar och rinnande vatten. Eftersom det är vatten som transporterat material som sedimenterat, är kopplingen till en specifik bergart svår att avgöra. Sedimentationsprocessen i sig kan medföra anrikning av tunga mineral och därmed omfördelning av element. Effekter av vittring, med omformning av lermineral, och den miljö sedimenten avsatts i är andra påverkansfaktorer. Den kemiska sammansättningen av leror och andra finkorniga sediment gör därför att elementhalternas ursprung är mer komplext än vad gäller för morän.

METODIK

Provtagning

För karteringsändamål insamlas moränproven med kriterierna att de ska vara representativa för regionen och om möjligt vara av normal typ (så kallad sandig morän). Provtagningen sker förutsättningslöst, vilket betyder att ingen hänsyn tas till förekomst av malmer, mineraliseringar eller bergartstyper, men potentiellt förorenade områden ska undvikas.

Kartor, vanligen i skala 1:50 000, används för att lägga ut ett rutnät med tämligen jämn fördelning av proven och om möjligt vinkelrätt mot de isrörelseriktningar som finns dokumenterade. Avståndet mellan proven är normalt ca 2,5 km, vilket innebär att det samlas in ungefär 15 prov per kvadratmil. Vid provtagningen genomgrävs markprofilen för hand med spade och spett. Man får därigenom god möjlighet att upptäcka om provet av någon anledning är olämpligt att ta, på grund av svallning, växtrötter, djupt gående markprocesser, underliggande sediment med mera. Om B-horisonten eller svallkappan är för mäktig för att grävas igenom, där häll påträffas nära markytan eller där materialet är för blött för att kunna provtas, flyttas provpunkten något. Provdjupet varierar efter förhållandena men är normalt 0,6–1,2 m. Provet, som uppgår till ca 0,8 kg, tas sedan ett stycke ner i C-horisonten genom att material slås loss på några ställen i gropens botten (fig. 2). Analyserna från dessa prov utgör därför en relativt homogen och jämförbar statistisk population, där förutsättningarna för grundämnenas haltvariation bygger på olikheter i ursprunglig kemisk sammansättning. Sedimentproven tas på 1 m djup men geografiskt har de ofta inte samma utbredning som moränprov. En skillnad mellan de båda provtyperna är att det är betydligt färre faktorer som påverkar moränens me-



Figur 2. Typisk provlokal i podsol. Provdjup ca 0,8 m. Foto: Mikael Carlsson.

Typical sampling site in podzol. Sampling depth ca 0.8 m. Photo: Mikael Carlsson.

tallhalt än vad gäller sedimentens. Moränens C-horisont är så gott som uteslutande geologiskt relaterad och kan lättare kopplas till berggrunden. Lerorna och övriga finkorniga sediments grundämneshalter påverkas av fler faktorer. Sedimentationsprocessen i sig kan till exempel medföra anrikning av mineral och därmed omfördelning av grundämnen.

Provberedning

Proven vakuumtorkas och siktas på nylonsikt med maskvidder på 2 mm och 0,063 mm. Anledning till att proven fraktioneras före analys är att den så kallade finfraktionen (< 0,063 mm) nästan enbart innehåller monomineralkorn. Grövre fraktioner har korn som består av flera olika mineral, vilket ökar haltvariationen vid upprepad provtagning och analys. Det är därmed svårare att ta representativa prov och att få reproducerbarhet i analyserna om grövre fraktioner analyseras. Finfraktionen behöver inte heller malas före analys, vilket annars kan ge oönskad kontaminering av proven.

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

Randomisering

Före analys görs en slumpvis ny numrering av proven, som tillsammans med 5 procent kontrollprov utgör populationen för analys. Randomiseringen görs för att undvika den systematiska variation i grundämneskoncentrationer som annars är vanlig vid ett laboratoriums analys av provmaterial.

Analys

1 021 moränprover och 110 sedimentprover analyserades för över 50 grundämnen (antal analyserade grundämnen varierar något mellan åren på grund av metodutveckling) och pH. Analyserna görs av morän med kornstorlek < 0,063 mm och av sediment med kornstorlek < 2 mm med hjälp av tre olika analysmetoder.

Analys av proven görs efter partiell lakning av 5 g prov med kungsvatten (aqua regia, A.R.) och av 2 g prov med salpetersyra (7M HNO_3) med plasmateknik (ICP-MS) vid SGU.

Analysresultat efter lakning med 7M salpetersyra omfattar 52 grundämnen: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr. Efter lakning med kungsvatten erhålls 13 grundämnen: Ag, As, Au, Bi, Cd, Cu, Mo, Rh, Sb, Sn, Ta, Te och U varav Au, Ta, Te och Sb presenteras i denna rapport.

Jordarternas surhetsgrad anges efter en pH-bestämning av proven efter uppslamning av 4 g prov i 20 ml avjoniserat vatten. Ytterligare en pH-mätning görs efter tillsats av utspädd svavelsyra (12,5 mM H_2SO_4). Med de båda mätningarna kan provets förmåga att motstå surt markvatten beräknas, det vill säga dess buffertkapacitet eller försurningsresistens. Värt att notera är att pH ofta ligger 0,5–1 enhet lägre i fraktionen < 0,063 mm jämfört med pH mätt i fraktionen < 2,0 mm. Detta beror med all sannolikhet på att den finare fraktionen innehåller fler partiklar per gram torkat prov vilket ger större sammanlagd partikelyta. Det är vid markpartiklarna de vätejoner har adsorberats som man mäter i det uppslammade provet. Fler vätejoner medför alltså lägre pH-värde. Efter svavelsyratillsats finns en distinkt skillnad mellan fraktionerna: finmaterialet buffrar snabbare och pH sjunker alltså mer för grovfraktionen. Skillnaden är i genomsnitt -0,4 enheter. Eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär varje sänkning med en pH-enhet att halten vätejoner i lösningen ökar tiofalt.

Det sammanlagda antalet grundämnen som analyseras uppgår till 56. Parametrar av fullgod eller tillfredsställande analytisk kvalitet som ingår i den geokemiska referenssamlingen är pH och pH1 (efter H_2SO_4).

Kvalitetskontroll

Vid all hantering av analyser är det nödvändigt med en omfattande kvalitetskontroll. Mindre haltvariationer kan uppstå i princip i varje enskilt skede vid en geokemisk kartering. Genom att undersöka dubbelprov (replikat) tagna i fält undersöks den så kallade totalvariansen. I denna ingår skillnader som uppkommer på grund av småskalig inhomogenitet i moränens sammansättning, som normalt är relativt liten (undantaget guld som uppvisar en så kallad kluster- eller nuggeteffekt), samt varianser uppkomna vid torkning, siktning, uppvägning, uppslutning och analys. Även analysvariansen undersöks med hjälp av internt standardprov. Det bör påpekas att enbart kännedom om analysvariansen inte är tillräckligt för att bedöma om resultaten kan användas vid geokemisk kartering. Totalvariansen är en minst lika viktig och i vissa fall bättre bedömningsgrund.

Utifrån statistisk och visuell granskning kan fel upptäckas och åtgärdas och endast grundämnen med god eller tillfredsställande kvalitet offentliggörs. För att få jämförbara resultat år från år i det fortlöpande analysarbetet finns även kontrollprov inlagda. I dagsläget utgör ca 10 procent av alla analyser någon form av kontrollprov (till exempel fältreplikat, internt standardprov, internationella certifierade standardprov).

En svårighet vid kartframställning över stora områden är att hantera många års analyser. Även om de enskilda årens kvalitetskontroller har lämnat godkända analyser uppstår problem med nivåskillnader i analysresultaten för en del grundämnen. Orsaken är oftast utvecklingen av metodik

och analysinstrument som över åren ger allt säkrare analyser. En visuell kontroll av resultaten i kartform (där nya resultat jämförs med äldre) bör därför ske grundämnesvis vid kartframställning. Med nivellering av analysvärden kan man skapa en homogen bild av grundämnenas distribution.

DATABEHANDLING

Percentilindelning

Statistisk indelning efter percentiler görs för att visa ett grundämnes halter i det undersökta området (tabell 1 och 2). I tabellen används 10:e, 30:e, 50:e 70:e, 90:e, 95:e och 99:e percentilen, där 50:e percentilen utgör medianvärdet och 90:e percentilen innebär att 10 procent av antalet analyser för ett specifikt grundämne har halter som överstiger motsvarande analysvärde.

Kartor

I rapporten redovisas ett antal grundämnen och pH i form av rasterkartor (bilaga 1). Kartskalan är 1:1 250 000. Kartorna är gjorda efter att de geografiskt oregelbundet placerade analysvärdena gjorts om till ett regelbundet punktnät (grid) med interpolerade värden. Den färgade ytan visar endast ett matematiskt beräknat värde och ska därför behandlas med viss försiktighet. Metoden innebär också att den färgade ytan täcker även områden mellan provtagningsplatserna. Färgskalorna för markgeokemiska grundämneskartor är satta från grönt (låga halter för grundämnen, höga pH-värden) till rött (höga halter för grundämnen, låga pH-värden). Färgskalan är relativ och används för att kunna sätta olika geokemiska regioner i relation till varandra. Oberoende av färgskala är det viktigt att påpeka att höga halter eller andra värden inte automatiskt innebär att det till exempel finns någon risk för negativ miljöpåverkan. Klassindelningen med percentiler på färgkartorna grundar sig på denna rapports dataset. pH har fasta klassgränser.

Tabell 1. Beräknade percentiler (p10–p99) för morän (< 0,063 mm) från östra Svealand. Analysmetod: Lakning med salpetersyra och kungsvatten (Au, Sb, Ta och Te) och analys med ICP-MS.

Calculated percentiles (p10–p99) for till (<0.063 mm) from eastern Svealand. Analytical method: Extraction by nitric acid and aqua regia (Au, Sb, Ta and Te) analyzed by ICP-MS.

n = 1021	enhet	p10	p30	p50	p70	p90	p95	p99	max
Ag	mg/kg	0,034	0,044	0,051	0,061	0,084	0,097	0,129	0,320
Al	mg/kg	4 346	6 739	8 551	10 670	14 416	16 573	20 275	44 807
As	mg/kg	0,9	1,7	2,3	3,2	5,5	7,0	11,4	85,6
Au	µg/kg	0,07	0,21	0,39	0,60	1,12	1,68	6,25	154,75
B	mg/kg	0,5	0,8	1,0	1,2	1,8	2,3	3,4	7,9
Ba	mg/kg	16	21	27	34	52	61	89	200
Be	mg/kg	0,21	0,31	0,40	0,50	0,70	0,80	1,09	1,97
Bi	mg/kg	0,09	0,12	0,14	0,18	0,27	0,37	0,70	9,15
Ca	mg/kg	2 117	2 811	3 503	5 763	61 756	78 784	100 400	145 679
Cd	mg/kg	0,036	0,051	0,065	0,088	0,137	0,168	0,288	1,014
Ce	mg/kg	35	43	53	66	94	114	162	256
Co	mg/kg	2,5	3,5	4,4	5,6	7,5	8,6	10,9	21,7
Cr	mg/kg	6	9	11	14	20	24	34	107
Cu	mg/kg	4	7	9	12	17	21	31	71
Dy	mg/kg	2,1	2,4	2,8	3,2	4,0	4,6	7,0	17,8

Tabell 1. Fortsättning.

Continuation.

n = 1021	enhet	p10	p30	p50	p70	p90	p95	p99	max
Er	mg/kg	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	3,5	10,6
Eu	mg/kg	0,35	0,42	0,50	0,61	0,78	0,90	1,28	2,13
Fe	mg/kg	7 175	9 528	11 789	14 357	18 829	21 010	27 622	53 626
Gd	mg/kg	3,2	3,7	4,2	4,9	6,2	7,0	10,7	25,5
Ge	mg/kg	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,17	0,30
Ho	mg/kg	0,39	0,46	0,52	0,60	0,76	0,85	1,29	3,54
K	mg/kg	575	789	995	1 290	1 905	2 452	3 390	4 457
La	mg/kg	16	20	23	28	38	44	65	103
Li	mg/kg	4,0	5,8	7,4	9,7	13,8	17,3	22,5	55,0
Lu	mg/kg	0,12	0,15	0,17	0,20	0,25	0,29	0,40	1,44
Mg	mg/kg	1 941	2 662	3 382	4 167	5 734	6 776	8 541	21 041
Mn	mg/kg	140	204	273	335	446	515	663	1 426
Mo	mg/kg	0,13	0,20	0,27	0,37	0,62	0,78	1,33	7,04
Na	mg/kg	114	141	161	186	233	266	334	2 075
Nb	mg/kg	0,31	0,51	0,78	1,28	2,35	3,29	4,62	6,69
Nd	mg/kg	16	19	22	26	33	38	58	98
Ni	mg/kg	4	6	7	9	12	14	22	52
P	mg/kg	475	571	631	704	894	1 088	1 894	3 118
Pb	mg/kg	6	8	10	13	20	26	48	175
Pr	mg/kg	4,0	4,8	5,5	6,6	8,4	9,4	14,8	25,0
Rb	mg/kg	6	9	11	14	23	29	38	48
Sb	µg/kg	27	39	51	66	105	136	208	581
Sc	mg/kg	2,0	2,4	2,9	3,5	4,4	5,1	6,1	14,2
Se	mg/kg	0,13	0,17	0,20	0,24	0,31	0,36	0,50	1,16
Sm	mg/kg	3,2	3,6	4,1	4,8	6,3	7,1	11,3	24,1
Sn	mg/kg	0,17	0,24	0,30	0,40	0,56	0,65	0,83	1,74
Sr	mg/kg	7	10	12	18	52	68	82	116
Ta	µg/kg	3	4	5	9	25	37	100	170
Tb	mg/kg	0,40	0,47	0,53	0,61	0,77	0,87	1,30	3,19
Te	µg/kg	11	16	20	25	37	46	76	137
Th	mg/kg	6,4	7,9	9,4	11,4	14,9	18,6	30,5	71,8
Ti	mg/kg	350	463	570	693	926	1 082	1 483	2 163
Tl	mg/kg	0,07	0,11	0,14	0,19	0,27	0,32	0,41	0,58
Tm	mg/kg	0,13	0,16	0,18	0,21	0,27	0,30	0,41	1,42
U	mg/kg	1,0	1,3	1,6	2,0	3,1	3,9	6,7	14,4
V	mg/kg	11	15	18	22	30	34	43	102
W	mg/kg	0,05	0,08	0,10	0,13	0,19	0,25	0,42	1,41
Y	mg/kg	10	12	14	16	20	24	34	102
Yb	mg/kg	0,87	1,02	1,19	1,39	1,75	2,00	2,78	9,76
Zn	mg/kg	20	26	32	38	52	59	86	321
Zr	mg/kg	6,2	7,8	9,2	10,9	14,3	16,1	20,2	26,3
pH		5,7	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,1

Tabell 2. Beräknade percentiler (p10–p99) för sediment (< 2 mm) från östra Svealand. Analysmetod: Lakning med salpetersyra och analys med ICP-MS.

Calculated percentiles (p10–p99) for sediments (<2 mm) from eastern Svealand. Analytical method: Extraction by nitric acid analyzed by ICP-MS.

n = 110	enhet	p10	p30	p50	p70	p90	p95	p99	max
Ag	mg/kg	0,017	0,054	0,103	0,148	0,190	0,212	0,245	0,278
Al	mg/kg	3 042	6 77	12 337	17 429	25 273	27 271	32 221	33 600
As	mg/kg	0,5	1,4	2,7	5,0	7,1	8,3	10,3	12,3
B	mg/kg	0,4	0,9	1,6	2,6	4,1	4,6	15,1	23,6
Ba	mg/kg	11	37	69	107	167	181	205	251
Be	mg/kg	0,17	0,30	0,51	0,81	1,11	1,21	1,36	1,43
Bi	mg/kg	0,04	0,11	0,20	0,33	0,41	0,44	0,48	0,52
Ca	mg/kg	1 136	4 475	10 467	46 759	109 417	125 055	148 882	152 352
Cd	mg/kg	0,019	0,066	0,104	0,142	0,191	0,226	0,408	0,431
Ce	mg/kg	17	34	51	68	93	103	117	129
Co	mg/kg	1,6	3,7	6,0	9,8	14,4	15,9	17,0	17,1
Cr	mg/kg	5	15	28	41	59	69	78	83
Cu	mg/kg	2	8	15	24	35	37	40	49
Dy	mg/kg	1,0	1,9	2,9	3,6	4,4	4,7	5,1	5,4
Er	mg/kg	0,5	1,1	1,6	1,9	2,4	2,6	2,8	2,9
Eu	mg/kg	0,17	0,41	0,60	0,77	0,99	1,04	1,17	1,19
Fe	mg/kg	5 094	12 334	21 275	31 537	41 828	46 768	56 128	56 628
Gd	mg/kg	1,6	3,1	4,5	5,6	7,0	7,4	8,4	8,6
Ge	mg/kg	0,04	0,06	0,07	0,10	0,13	0,14	0,17	0,18
Ho	mg/kg	0,19	0,37	0,55	0,68	0,83	0,88	0,98	1,05
K	mg/kg	455	1 303	2 638	4 231	6 483	7 750	8 340	9 134
La	mg/kg	9	17	27	34	45	49	58	63
Li	mg/kg	4,0	7,0	13,4	23,0	33,6	39,5	44,9	52,8
Lu	mg/kg	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,32	0,35	0,36
Mg	mg/kg	1 750	4 093	6 040	8 311	12 005	14 102	15 256	15 312
Mn	mg/kg	84	265	416	535	642	746	916	942
Mo	mg/kg	0,08	0,18	0,30	0,43	1,05	2,24	3,61	4,36
Na	mg/kg	47	120	181	284	441	514	1 170	3 385
Nb	mg/kg	0,12	0,18	0,22	0,28	0,58	2,58	4,17	4,89
Nd	mg/kg	7	15	23	28	36	40	44	45
Ni	mg/kg	3	10	16	26	34	38	41	43
P	mg/kg	259	465	570	634	800	860	970	1 152
Pb	mg/kg	3	6	9	13	17	19	21	21
Pr	mg/kg	1,9	3,9	5,6	7,0	9,1	10,4	11,9	12,1
Rb	mg/kg	5	14	30	49	67	78	89	92
Sc	mg/kg	1,0	2,0	3,4	5,4	7,3	7,9	9,7	9,9
Se	mg/kg	0,07	0,12	0,18	0,27	0,63	3,10	9,49	12,13
Sm	mg/kg	1,5	2,9	4,5	5,5	7,1	7,6	8,2	8,5
Sn	mg/kg	0,10	0,16	0,22	0,26	0,33	0,35	0,42	0,49
Sr	mg/kg	3	15	31	52	109	117	136	137
Tb	mg/kg	0,20	0,38	0,58	0,70	0,87	0,90	1,01	1,08

Tabell 2. Fortsättning.
Continuation.

n = 110	enhet	p10	p30	p50	p70	p90	p95	p99	max
Th	mg/kg	3,7	5,7	8,6	11,2	14,8	15,8	19,5	19,9
Ti	mg/kg	221	403	723	1 033	1 371	1 491	1 757	1 770
Tl	mg/kg	0,04	0,13	0,24	0,33	0,46	0,52	0,56	0,61
Tm	mg/kg	0,06	0,13	0,19	0,25	0,30	0,32	0,36	0,37
U	mg/kg	0,5	0,8	1,2	2,1	3,2	4,5	7,4	8,9
V	mg/kg	7	17	31	42	58	64	74	78
W	mg/kg	0,06	0,13	0,16	0,19	0,28	0,32	0,49	0,63
Y	mg/kg	5	11	17	20	24	26	31	31
Yb	mg/kg	0,39	0,83	1,23	1,61	2,00	2,09	2,40	2,47
Zn	mg/kg	15	24	40	65	90	104	115	115
Zr	mg/kg	1,8	7,7	12,6	21,3	27,1	30,6	37,3	43,4
pH		5,7	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	8,9

GRUNDÄMNENAS FÖREKOMST OCH RÖRLIGHET

Geologiska förutsättningar

Berggrundens kemiska sammansättning varierar beroende på de ingående bergarternas sammansättning och proportioner. Halterna av många metaller är till exempel jämförelsevis låga i de intrusiva kiselrika och felsiska (med övervägande ljusfärgade mineral) bergarter som dominerar den svenska berggrunden. I mafiska (med övervägande mörkfärgade mineral) och kiselfattiga magmatiska bergarter finns däremot högre innehåll av bland annat järn, magnesium, kobolt, koppar, krom och nickel. Om det finns skiffersinslag blir halterna ofta betydligt högre eller mycket höga för en del spårämnen, till exempel uran. I tabell 3 visas huvudsaklig bergartstillhörighet för olika grundämnen i vanligt förekommande bergarter i Sverige.

I tabell 4 visas medelhalterna för grundämnen i olika vanligt förekommande bergarter i Finland (Koljonen 1992, Tauber 1988), där bergarterna är relativt lika jämfört med Sveriges bergarter.

Moräners innehåll av olika mineral beror till största delen på berggrundens varierande ursprungliga mineralogiska och kemiska sammansättning. I tabell 5 visas det genomsnittliga innehållet i morän oavsett ingående bergarter. Tabellen baseras på markgeokemiska analyser av ca 25 000 moränprov från C-horisonten. Betraktar man viktsrelationen av grundämnena är det lätt att förstå varför man kallar en del huvudelement och andra spårämnen, en del förekommer helt enkelt i större mängd än andra. På det djup moränproven insamlas finns mycket lite organiskt material, men i vissa fall kan djupa tunna rottrådar eller rester av sådana medföra att kol förekommer. I ett tidigare test av kolinnehållet i ett tiotal moränprov från Norrbotten visade det sig att kolinnehållet varierade mellan 0,05 och 0,70 procent (medianvärde 0,11 procent).

Bergarter med olika mineralinnehåll avslöjar sig ofta i form av distinkta geokemiska grundämnesmönster i moränen. Genom att studera geokemiska mönster kan man få en uppfattning om mineralinnehållet. Exempelvis, indikeras mafiska bergarter av förhöjda halter av till exempel kalcium, järn, magnesium, kobolt, koppar, krom, nickel, vanadin med flera i moränen. Granitiskt och pegmatitiskt bergartsmaterial ger sig till känna som förhöjda halter av bland annat kalium, bly, uran, tenn, volfram, molybden och sällsynta jordartsmetaller.

Tabell 3. Bergartstyper med associerade grundämnen.
Rock types with associated elements.

Bergarter	Förhöjda halter
Granit	Au, Ba, Be, Bi, Cl, K, La, Mo, Pb, Rb, Sn, Th, Tl, U, W, Y, Zr
Kiselrika vulkaniska bergarter (ryolit, andesit m.fl.)	Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn
Kiselfattiga magmatiska bergarter (gabbro, basalt m.fl.)	Ca, Fe, Mg, Mn, P, Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, S, Sr, Ti, V, Zn
Skiffer	Al, Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Cl, Co, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Sn, Se, Th, Tl,U, W, Y, Zn

Mönstren för grundämnena visar också påverkan från den kvartära historien. Moränen i ett område kan ha transporterats mer eller mindre långt och kan ha en något annorlunda sammansättning än den underliggande berggrunden. Tydligast syns detta där till exempel ett granitiskt berggrundsområde har en ovanliggande morän med inslag av mafiska intrusiva bergarter. Moränen har då högre halter av till exempel magnesium i en region som i övrigt har låg halt av magnesium. Det kan också finnas flera moränbäddar i en region och den man provtar på en lokal kanske inte är samma moränbädd som på en annan lokal. Detta, tillsammans med att isen fört med sig såväl gamla jordarter som nybrutet bergartsmaterial och avsatt det som morän, gör att de geokemiska mönstren ibland kan vara komplexa och svårtolkade. De geokemiska mönstren för olika grundämnen beror också på den isrörelseriktning som indikeras av isräfflor och kan också vid mer noggranna studier användas bland annat som indikation på transportlängd av bergartsmaterial. Ytterligare faktorer som kan påverka de geokemiska mönstren är tunna jordtäcken, deposition av svavel och andra luftburna havsaerosoler och föroreningar samt hög nederbörd (Andersson 2006).

Markprocesser

Vertikalt i marken varierar den kemiska sammansättningen bland annat på grund av jordmånsbildande markprocesser. Vilken typ av jordmån (markprofil) som bildas beror på ett flertal faktorer, till exempel jordart, mineralinnehåll, markanvändning, vegetation och klimat. Den vanligaste jordmånen i svensk skogsmark är podsol, som utvecklas i näringsfattiga marker (fig. 2). I dess översta mineraljordshorisont, blekjorden, har kemiska och biologiska processer lakat ur de flesta huvudämnen och metaller. Några av dessa, till exempel järn och aluminium, har fällts ut i den underliggande, ofta rostfärgade B-horisonten. Den kemiska sammansättningen i dessa båda markskikt beror främst på innehållet av primära (bergartsbildande) mineral och på sekundära mineral och föreningar som bildats vid vittring och urlakning. En del ämnen kan dock tillföras via luft och nederbörd. Denna föroreningsfaktor tilltar i betydelse i befolkningstäta eller industriintensiva områden. Under B-horisonten, i C-horisonten, har markprocesserna ingen eller liten effekt på mineraljorden och grundämnena förekommer så gott som uteslutande i primära mineral. Undantag från detta är till exempel vissa sulfidmineral som är instabila ovan grundvattenytan.

Lakbarhet och associationer

Ett mått på grundämnens rörlighet är deras lakbarhet, som varierar kraftigt beroende på vilka mineral de sitter bundna i. Hög lakbarhet för ett grundämne anger att en procentuellt stor del av den totala tillgången på grundämnet blir lösligt vid en tillsats av syra, exempelvis salpetersyra eller kungsvatten. Detta anger grundämnets tillgänglighet på sikt för växterna och för markens neutralisationsförmåga. En låg lakbarhet anger däremot att grundämnet är

Tabell 4. Medelhalter av grundämnen (mg/kg) i olika vanligt förekommande bergarter i Fennoskandia.

Average concentrations (mg/kg) of elements in common rock types occurring in Fennoscandia.

Element	Ultramafiska bergarter[1]	Gabbro, basalt[1]	Skiffrar[1]	Graniter, granodioriter[1]	Sandstenar[1]	Kalkstenar[1]	Kol[2]
Aluminium	20 000	83 000	91 000	73 000	37 000	4 000	21 000
Antimon	0,1	0,2	1	0,3	0,05	0,15	2
Arsenik	0,7	0,7	13	3	0,5	1,5	10
Barium	5	330	550	600	300	90	250
Beryllium	0,3	1	3	5	0,7	0,5	1
Bly	0,05	4	22	20	10	5	20
Fosfor	220	1 200	800	750	30	350	150
Gallium	0,5			18	8	1	
Guld	0,0005			0,002	0,0005	0,0001	
Järn	94 000	86 000	55 000	20 000	10 000	5 000	10 000
Kadmium	0,05	0,2	0,25	0,1	<0,04	0,1	1
Kalcium	25 000	74 000	22 000	9 000	13 000	380 000	5 000
Kalium	5 000	8 000	27 000	33 000	11 000	3 000	3 500
Kisel	201 000	227 000	288 000	337 000	403 000	31 000	34 000
Klor	80			200	10	150	
Kobolt	110	45	20	4	0,3	0,1	10
Koppar	40	90	45	12	2	6	20
Krom	2 300	250	100	10	35	5	20
Kvicksilver	0,004	0,01	0,18	0,003	0,001	0,02	0,1
Lantan	1	6	40	50	20	6	10
Litium	2	10	60	30	10	5	30
Magnesium	208 000	64 000	16 000	5 000	7 000	4 000	2 600
Mangan	1 200	1 500	850	400	100	700	40
Molybden	0,3	1,2	2	1,5	0,3	0,3	3
Natrium	6 000	20 000	13 000	25 000	17 000	6 000	900
Nickel	2 000	130	70	5	2	5	20
Niob	1			18	10	0,1	
Rubidium	2	30	140	120	40	4	15
Selen	0,07	0,12	0,3	0,025	0,01	0,025	3
Silver	0,03	0,1	0,08	0,05	0,003	0,01	0,1
Strontium	10	400	250	220	100	500	150
Svavel	600	900	1 100	100	200	500	20 000
Tallium	0,05	0,18	1	1,1	0,4	0,05	3
Tenn	0,3			3,6	0,6	0,3	
Titan	3 000	10 000	6 000	3 000	1 500	400	1 000
Torium	0,05	2,2	12	15	5	2	2
Uran	0,02	0,5	3,2	4	1,3	1	2
Vanadin	80	260	130	70	20	15	40
Vismut	0,01	0,05	0,25	0,2	0,05	0,1	-
Wolfram	0,3			1,5	1	0,5	
Yttrium	2	20	30	35	15	4	3
Zink	60	100	100	50	20	40	50
Zirkonium	30			200	250	20	

[1] Koljonen (1992)

[2] Tauber (1988)

Tabell 5. Innehåll (i gram) av olika grundämnen i 1 kg svensk morän (C-horisont, fraktion <0,063 mm). Data från SGUs markgeokemiska databas.

Average concentrations (in gram) of various elements in 1 kg swedish till (C-horizon, fraction <0.063 mm). Data from SGU's geochemical database.

Grundämne	gram/kg
Syre	478,4
Kisel	330,5
Aluminium	72,5
Järn	25,4
Kalium	24,2
Natrium	16,8
Kalcium	15,2
Magnesium	7,7
Titan	4,5
Fosfor	1,0
Barium	0,52
Zirkonium	0,46
Mangan	0,45
Strontium	0,17
Svavel	0,15
Rubidium	0,086
Klor	0,073
Vanadin	0,057
Zink	0,052
Krom	0,049
Bly	0,023
Kobolt	0,019
Nickel	0,016

Grundämne	gram/kg
Lantan	0,013
Koppar	0,012
Litium	0,011
Brom	<0,010
Wolfram	<0,010
Torium	0,007
Arsenik	0,006
Uran	0,003
Tenn	0,001
Beryllium	0,00041
Molybden	0,00039
Selen	0,00023
Antimon	0,00019
Tallium	0,00018
Silver	0,00015
Vismut	0,00011
Kadmium	0,00009
Guld	0,000001
Platina	<0,000001
Palladium	<0,000001
Övrigt (kol, väte, kväve, andra spårelement)	21,6
Summa	1000

hårt bundet i markmineralen och svåråtkomligt. En beräkning av lakbarheten har tidigare gjorts för upp till ca 23 000 moränprov insamlade i hela riket för den regionala karteringen (Holmberg 2006). Tabell 6 visar hur lakbarheten för vanliga grundämnen varierar från någon procent för natrium till närmare 90 procent för fosfor och koppar.

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

Ett och samma grundämne kan uppträda i flera olika mineral och vara olika hårt bundet. Ett sådant grundämne är kalcium som återfinns i de flesta nämnda mineralen, från den vittringsresistenta titaniten till den mycket lättvittrade kalciten. Kalium förekommer så gott som enbart i antingen de svårvittrade kalifältspaterna eller i mer lättvittrad biotit, medan magnesium främst finns i sådana mineral som vittrar tämligen lätt, till exempel hornblände. Variationer av lakbarheten för grundämnen i morän ger indirekt en uppfattning om provens mineralogiska sammansättning.

Tabell 6. Lakbarhet (medianvärden) för några element. N = antal prov av morän (C-horisont, fraktion <0,063 mm), lakbarhet i procent = (syralakad elementhalt/totalhalt) × 100. Data från SGUs markgeokemiska databas.

Leachability (median values) for some elements. N = number of till samples (C-horizon, fraction <0.063 mm), leachability (%) = (acid leached element concentration/total concentration) × 100. Data from SGU's geochemical database.

Element	N	Lakbarhet, %	Element	N	Lakbarhet, %
P	13 989	88	Co	23 283	25
Cu	23 283	87	Ca	23 283	19
Zn	23 283	69	Ti	23 283	18
Fe	23 283	61	Rb	7 287	16
Ni	23 283	60	Al	23 283	13
Mn	23 283	51	Ba	23 283	7
Mg	23 283	39	Sr	23 283	7
V	14 764	38	K	23 283	5
Pb	23 283	38	Na	23 283	1
Cr	14 764	29			

Tillgången av grundämnen beror alltså på mineralinnehållet i moränen och miljön som moränen befinner sig i definierad av pH och oxiderande eller reducerande miljö. Förhållandet mellan olika grundämnen kan också avslöja något om mineralinnehållet i marken. Som exempel kan nämnas grundämnena kalcium och strontium som är starkt geokemiskt associerade genom sina närliggande jonradier. Det kemiska släktskapet gör att strontium kan ersätta kalcium i mineralens kristallgitter, och strontium förekommer därför i de flesta mineral som innehåller kalcium. I magmatiska bergarter varierar dock förhållandet, eller kvoten, mellan dem beroende på i vilket kristallisationsskede bergartens mineral bildats. I ett tidigt kristallisationsskede i en svalnande magma dominerar kalciumjonen över strontiumjonen. Detta innebär att andelen kalcium i förhållande till andelen strontium är högre i apatit och pyroxen, eftersom dessa mineral bildas först i den stelnande magman. I senare skeden bildas plagioklaser, och förhållandet mellan grundämnena ändras så att andelen kalcium minskar medan strontium ökar. Genom att studera mönstret för kvoten mellan dessa grundämnen (främst bör totalhalter av grundämnena användas i beräkningar), kan man därför också få en indikation på det mineralogiska innehållet i moränen, förutsatt att moränen inte består av en alltför komplex blandning av olika bergarter. I bilaga 2 (lista över alla grundämnen) ges en översiktlig beskrivning av grundämnenas naturliga uppträdande.

GRUNDÄMNEN I NÄRINGSKEDJAN

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

Bristrelaterade eller toxiska sjukdomar hos människor och djur som direkt kan relateras till markens innehåll av grundämnen har dokumenterats på många håll i världen. I Sverige är sådana samband inte vanliga. Detta beror till stor del på att den kost som människor konsumerar ofta härstammar från många olika håll. Då blir den lokala markens påverkan inte så stark. Det bör betonas att när det gäller sambanden med hälsoeffekter är dessa komplexa

och ibland svårutredda. Några samband som trots allt har påpekats eller antagits i Sverige är bland annat mellan markradon och lungcancer, selenbrist och hjärtsjukdomar och kadmium i dricksvatten och barndiabetes. Hårt dricksvatten (vatten med höga halter av kalcium och magnesium) anses däremot ha en positiv effekt genom ett samband med lägre frekvens uppkomna hjärt- och kärlsjukdomar. Dylika samband har konstaterats vara relativt vanliga internationellt (Karppanen 2002, Selinus m.fl. 2005). Under senare tid har även förekomst av uran i dricksvatten identifierats som en riskfaktor (Kurttio m.fl. 2002, Rosborg 2014). Källan till detta uran är berg- och jordartsrelaterad.

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

Av de karterade grundämnena har följande dokumenterat skadliga effekter på levande organismer, om grundämnet förekommer i ”rätt” form och halterna är tillräckligt höga: arsenik, aluminium, antimon, kadmium, koppar, molybden, nickel, krom, kobolt, mangan, tallium, zink, bly, vanadin och uran. Det bör påpekas att även om halter av potentiellt skadliga grundämnen klassas som höga i den här rapporten, innebär detta inte automatiskt att det finns någon risk för negativ miljöpåverkan. Dels kan grundämnena vara relativt hårt bundna till mineral, dels kan förekomst av grundämne med antagonistisk effekt (till exempel kadmium–selen) påverka eventuella risker. För konkreta riskbedömningar krävs betydligt mer detaljerade undersökningar än i denna rapport.

MILJÖGEOKEMI

Naturvårdsverket har fastslagit generella riktvärden för förorenad mark för att man ska kunna bedöma risker på miljön. Varje analyserad parameter (metaller, metalloider, organiska miljögifter) har två riktvärden, en för riskbedömning avseende mindre känslig markanvändning (MKM) och det andra, skarpare, avser känslig markanvändning (KM). Riktvärdena baseras på analys av jord med en fraktion < 2 mm där metaller och metalloider är analyserade med salpetersyra eller kungsvatten (Naturvårdsverket 2008). Några exempel på KM riktvärden i jord är: antimon 12 mg/kg, arsenik 10 mg/kg, barium 200 mg/kg, bly 50 mg/kg, kadmium 0,8 mg/kg, kobolt 15 mg/kg, krom 80 mg/kg, koppar 80 mg/kg, kvicksilver 0,25 mg/kg, molybden 40 mg/kg, nickel 40 mg/kg, vanadin 100 mg/kg och zink 250 mg/kg (Naturvårdsverket 2016), se även bilaga 3. Naturvårdsverket har även fastlagt generella riktvärden för direkt kontakt med jordmaterial. Gränsvärdet för arsenik vid hudkontakt med jord och damm ligger på 33 mg/kg i fraktionen < 2 mm. Tidigare undersökta analyser av fraktionen < 0,063 mm och < 2 mm från samma moränprov gav som resultat att en metallhalt i moränfraktionen < 0,063 mm kan multipliceras med faktor 0,7 för att beräkna en teoretisk metallhalt för fraktionen < 2 mm vilken direkt kan jämföras med KM-värdet. Som exempel blir en arsenikhalt på 47 mg/kg i moränfraktion < 0,063 mm för ett SGU-prov omräknat till fraktion < 2 mm 33 mg/kg (47 × 0,7).

Erfarenhetsmässigt vet man också att om en moränlokal har kraftigt förhöjd metallhalt är sannolikheten mycket stor att finna ännu högre metallhalter i närområdet. Det är därför fullt möjligt att använda KM-värden på de markgeokemiska kartorna som jämförandevärden när man ska bedöma ett områdes metallbelastning. I stort innebär en analyserad moränfraktion < 0,063 mm inget stort problem för jämförelse med KM-värden, eftersom ett erhållet analysvärde som ligger nära eller över KM-värdet visar att moränen i området är en riskfaktor. Ingen bedömning av eventuella miljö- eller hälsoeffekter kan göras utan detaljerade undersökningar.

I moränområden med lågt pH är inslaget av lättlösliga kalciummineral mindre frekvent eller saknas och svavelhalterna kan vara höga. Det är välkänt att en del metaller har lätt för att frigöras vid sjunkande pH, liksom att andra grundämnen fastläggs. Kadmium, kobolt, mangan, nickel, tallium och zink är exempel på metaller som är lättrörliga i sur miljö. Generellt sett börjar de mobiliseras när markens pH understiger 6. I områden med höga metallhalter och låga pH-värden kan man därför befara att grundämnena kan ha börjat lösas ut och att de nått grundvattnet. Det kan ha till följd att dricksvattenkvaliteten i enskilda brunnar påverkas.

OMRÅDETS GEOLOGI

Berggrunden

Den äldsta berggrunden i Uppland domineras i sin helhet av magmatiska och i mindre utsträckning sedimentära bergarter som tolkats ha bildats vid en aktiv kontinentkant liknande den som idag kan ses längs Anderna. Detta skedde under den så kallade svekokarelska orogenesen (bergskedjebildning) för 1,96–1,75 miljarder år sedan (Allen m.fl. 1996; Wik m.fl. 2006; Stephens m.fl. 2009). De bergartsbildande processer som formade den aktiva bergskedjan (kontinentalkant eller kontinental vulkanisk båge) dominerades främst av felsisk vulkanism och plutonism (magman tränger upp i skorpan men stelnar på djupet). I något begränsad omfattning pågick även sedimentation i marina bassänger genom avsättning av nerbrutet berggrundsmaterial och kemisk karbonatutfällning. Ett flertal magmatiska pulser vid olika tillfällen genererade vulkaniska (lavor och askor) och plutoniska bergarter med varierande sammansättning (ultramafiska, mafiska, intermediära och felsiska).

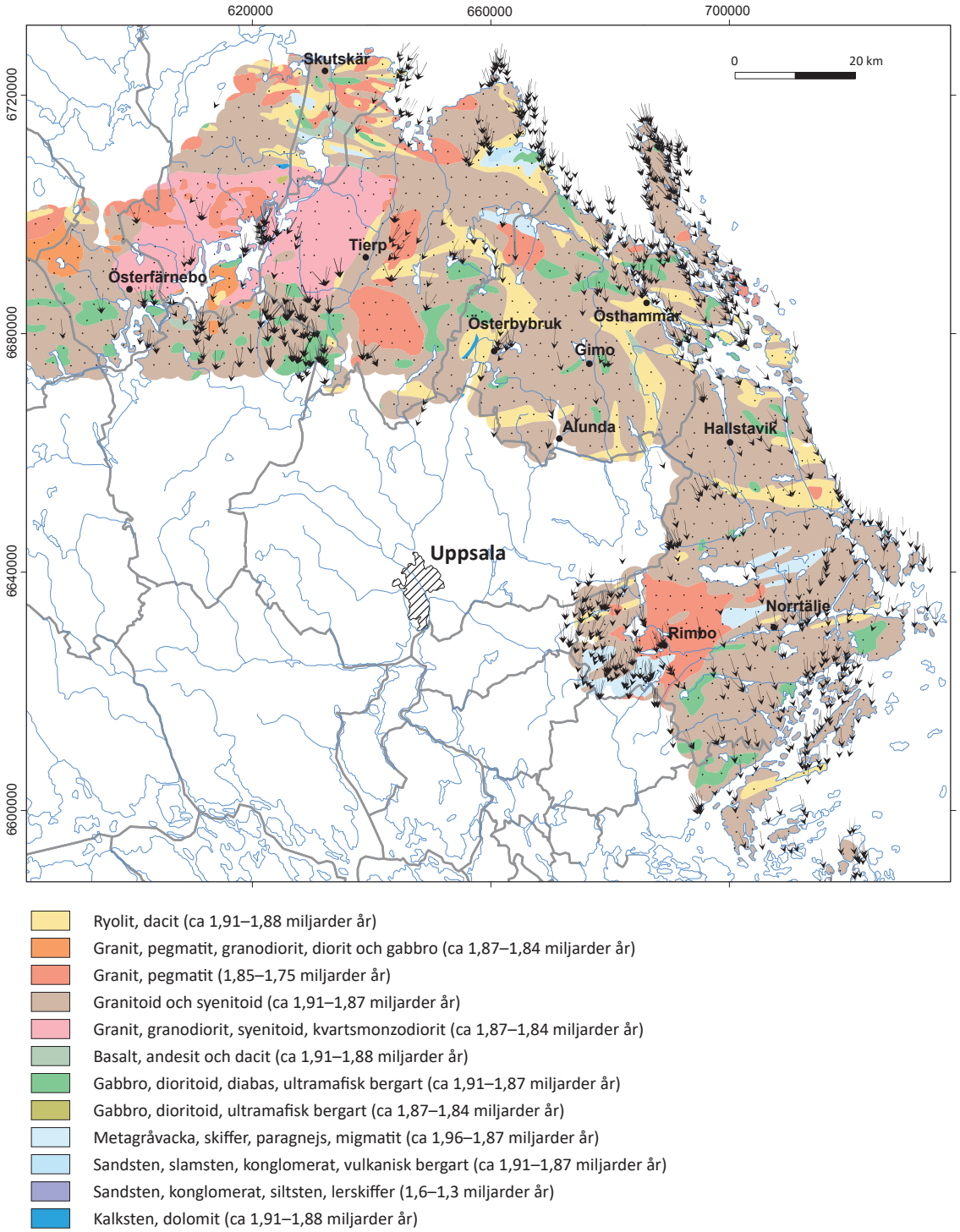
De äldsta djupbergarterna (ca 1,91–1,87 miljarder år gamla) består av intrusioner av granit, granodiorit och tonalit med mindre förekomster av diorit och gabbro. Alla dessa djupbergarter är i de flesta fall starkt påverkade av deformation och metamorfos.

Under den nästkommande etappen i orogenens utveckling (för ca 1,87–1,84 miljarder år sedan), skapades magmatiska kroppar som i huvudsak domineras av granit, granodiorit och monzonit. Gabbro och diorit finns underordnat i området. I allmänhet är dessa bergarter mindre deformerade och metamorfoserade jämfört med de äldre varieteterna.

För ca 1,81–1,75 miljoner år sedan bildades relativt stora granitintrusioner samt mindre kroppar med ljus, finkornig aplit och grovkornig pegmatit.

Efter svekokarelska orogensen, för ca 1,6–1,3 miljarder år sedan, bildades marina bassänger i vilka det pågick avsättning av vittringsmaterial från bergkedjan. Den här processen ledde till att sandsten avlagrades på berggrundens eroderade yta. Sandsten med lager av basalt karterades främst i havsområdet nordväst om Skutskär. De yngsta magmatiska bergarterna i området består av ca 1,3 miljarder år gamla diabasgångar där mafisk lättflytande magma trängde in i sprickor i berggrunden och stelnade (fig. 3).

Majoriteten av de framför allt äldre bergarterna utsattes för metamorfos (ursprungsbergarten har blivit utsatt för tryck och temperatur), och deformation (till exempel veckning och foliering) vid flera tillfällen under orogenesen (Stephens & Andersson 2015). Med hjälp av åldersbestämningar har man tagit reda på att det inträffade två stora metamorfa händelser, den ena skedde för ca 1,86 miljarder år sedan, medan den andra ägde rum under tidsintervallet 1,84–1,81 miljarder år sedan. På vissa ställen var temperaturen så hög under metamorfosen att vattenhaltiga bergarter som gråvacka började smälta. Denna process bildade migmatit, en bergart bestående av en blandning av nybildad smälta och äldre ursprungsbergart. Om smältningen blev omfattande bildades även granit och pegmatit.



Figur 3. Berggrundskarta över östra Svealand (nordöstra Uppland) med isrörelseriktningar (Sveriges berggrund 1:1M).
Bedrock map of eastern Svealand (northeastern Uppland) with ice movement directions (Sveriges berggrund 1:1).

Generellt, består de paleoproterozoiska bergarterna i undersökningsområdet av kraftigt deformerade (veckade och folierade) metasedimentära och metavulkaniska bergartssekvenser som är omgivna av plutoner eller intrusioner uppkomna genom magmainträngning och stelning i omgivande bergartsmassa.

Sedimentära bergarter tycks endast täcka en relativt begränsad yta av områdets berggrund

och består huvudsakligen av gråvacka. De bildades sannolikt i djuphavet genom avsättning från en undervattensström med uppslammade sand-, silt- och lerpartiklar. Vulkaniska bergarter, 1,91–1,88 miljarder år gamla, är mer karakteristiska för områdets norra delar och består huvudsakligen av ryolit och dacit som bildats ur heta askflöden eller genom nedfall av vulkanisk aska. Fragmentförande plagioklasporfyrisk dacit uppträder på vissa ställen som ytliga intrusioner. Mindre kroppar av basalt, lokalt innehållande hålrum fyllda med sekundära mineral (mandelstenar) eller uppvisande kuddlavestruktur, och andesiter har också beskrivits på vissa ställen. Kuddlavestruktur bildas i basaltiska lavaflöden under vattenytan. De vulkaniska bergarterna blev delvis avsatta i havsmiljö. På olika ställen växellagrar de med stromatolitförande marmor, tunna lager av lersten och sandsten. Stromatoliter är förstenade rester av algkolonier. På vissa platser kan observeras att stromatolitkolonier gick förlorade efter kraftiga vulkanutbrott och blev täckta av tjocka lager av vulkanisk aska.

Området i fråga deformerades i flera omgångar. Plastiska deformationszoner bildades på stora djup under varma förhållanden där bergarterna deformerades plastiskt, likt en tjock, trögflytande, massa. En sådan zon med en västnordvästlig till nordvästlig riktningen finns i trakten av Forsmark, i Uppsala läns norra del.

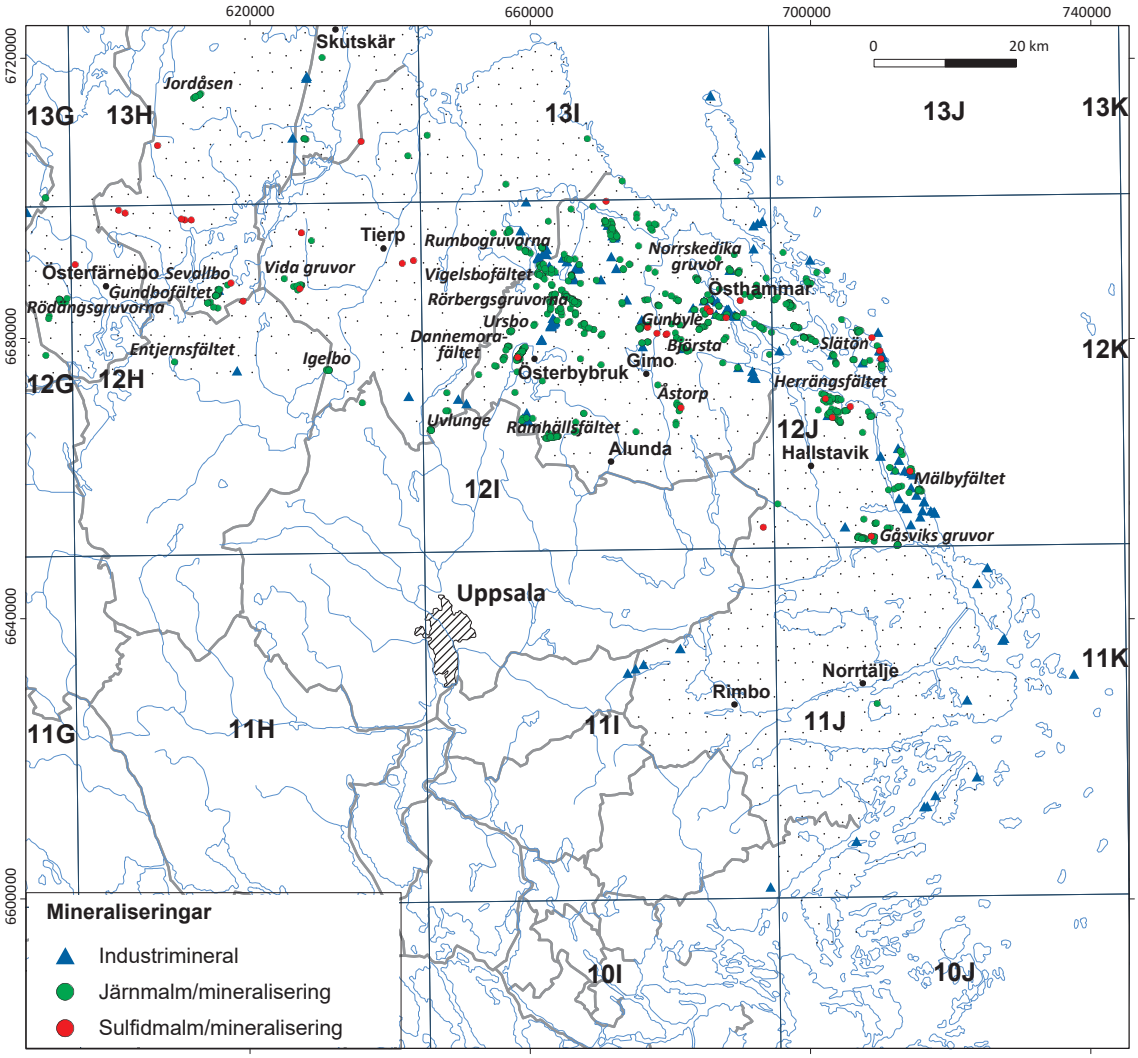
Spröda deformationszoner bildades ytligare i berggrunden under relativt kalla förhållanden där berget lättare spricker. De inre delarna av sådana zoner utgörs ofta av krossat berg, vilket gör dem lätteroderade. Av denna anledning, uppträder ofta sänkor av varierande bredd i terrängen ovanpå sådana zoner. De enskilda sprickornas spröda deformationszoner är antingen öppna eller läkta och cementerade av mineral såsom klorit, epidot, kvarts, laumontit, kalcit och hematit (Antal m.fl. 1998).

Mineraliseringar

Undersökningsområdet i Uppland hör till Bergslagens norra del, vilket utgör en del av mellersta Sveriges malmprovins. Metallmineraliseringarna i området innehåller mest järnoxider samt sulfider av koppar, zink och bly (fig. 4). Lokalt finns även guld och silver. Brytvärt järn förekommer mest i oxidform som mineralen magnetit och underordnat hematit. Lokalt finns även järnsulfiderna pyrit och magnetkis. I de brytvärda mineralen och även som egna mineral i mineraliseringarna finns i många fall även andra grundämnen, som mangan, molybden och kobolt. Den kanske mest kända gruvan är den i Dannemora som var aktiv från 1500-talet fram till 1992. Gruvan startades igen av Danemora Mineral AB 2012 men gick i konkurs 2015. Bruksorter har varit Forsmark, Lövstabruk och Österbybruk. Viktiga malmfält har bland annat varit Ramhäll, Vigselbo, Rörberg, Norrskedika och Herräng. Järnmalmsfälten bestod huvudsakligen av kvartsbandad svartmalm med inslag av skarnjärnmalm och kalksten. Det har även brutits kalksten och marmor samt krossten i undersökningsområdet. I tabell 7 listas en del av de totalt ca 800 kända mineraliseringar som finns i undersökningsområdet.

Kvartärgeologi

I de nordöstra delarna av Uppland är moränen ofta lerig beroende på inslag av kalksten. Kalkstenen är ordovicisk och kommer från Bottenhavet utanför Gävle, där det även finns kambrisk sandsten. Sandstenen förekommer i moränen i området men dock sparsamt. I övrigt dominerar sandig morän men det finns även moräner som är mer grusiga; ofta sammanfaller de grövre moränerna med blockrik och storblockig terräng. Mäktigheten på moränen varierar över området men ett djup på 3–10 m är vanligt. De ytformer som moränen har följer i stort ytan på underliggande berggrund. Vid Gästriklands kust är moränen ofta blockig och terrängen är



Figur 4. Översiktskarta med mineralförekomster i norra Uppland (SGU databas, modifierad).
Overview map with mineralisation sites in northern Uppland (SGU database, modified).

småkuperad. I det sydöstra hörnet av området finns det så kallade De Geer-moräner, troligen bildade årsvis nära den avsmältande iskanten.

Hela provtagningsområdet har varit under högsta kustlinjen (HK), varför det finns svallningsmaterial, sand och grus, och även en del svallade moräner som har fått sitt finmaterial urtvättat. Det finns i regel osvallad morän under den svallade om mäktigheten är tillräcklig. I den norra delen av området finns det flera rullstensåsar som sträcker sig i nordsydlig riktning, deras namn räknat från väster till öster är, Årsundaåsen (utlöpare till Enköpingsåsen), Gävleåsen och Uppsalaåsen. Det finns glaciala och postglaciala leror (sediment) men de glaciala lerorna dominerar över de postglaciala. De glaciala lerorna finns jämnt utspridda över hela området bortsett från längst i väster där de har en något mindre förekomst. De postglaciala lerorna finns främst i sydväst och fläckvis i norra delen av området, även under torvmarker är det vanligt med postglaciala leror (fig. 5). Isräfflor i området har främst riktningen nordlig och nordvästlig i den norra delen, medan de kustnära i den sydöstra delen också har en nordöstlig riktning (fig. 3). Förekomsten av isräfflor är något mindre i de nordvästra delarna beroende på att det är färre blottade bergytor där. För cirka 11 000 år sedan blev området kring norra Uppsala och norra Stockholm isfritt, avsmältningen var i stort vinkelrät mot isrörelsen

Tabell 7. En lista av fyndigheter med dominerande mineraliseringstyp i norra Uppland. Kartblad enligt koordinatsystem RT90. Källa: SGUs mineraldatabas.

A list of mineral deposits with main commodity type in northern Uppland. Map sheet according to coordinate system RT90. Source: SGU's database of mineral resources.

Kartblad (RT90)	Fyndighet	Malmfält	Mineraliseringstyp
12G	Södra Rödängsgruvan 1	Rödängsgruvorna	Fe
12G	Södra Rödängsgruvan 2	Rödängsgruvorna	Fe
12H	Igelbo gruva 5	Igelbo	Fe
12H	Lillgruvan	Entjernsfältet	Fe
12H	Rönningsvreten 1	Gundbofältet	Fe, Fe-sulfider
12H	Rönningsvreten 2	Gundbofältet	Fe, Fe-sulfider
12H	Vida gruva 1	Vida gruvor	Fe
12H	Vida gruva 2	Vida gruvor	Fe
12H	Vida gruva 3	Vida gruvor	Fe
12H	Vida gruva 4	Vida gruvor	Fe
12H	Vida gruva 5	Vida gruvor	Fe
12H	Vreten	Sevallbo	Fe, Fe-sulfider, Cu,
12I	Abborren	Dannemorafältet	Fe
12I	Akademigruvan 1	Ursbo	Fe
12I	Apalgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Augustagruvan 2	Augustagruvorna	Fe
12I	Backskärpningen	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Bennbo 2	Bennbo	Fe
12I	Bergmästargruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Björkbyskärpningen	Dannemorafältet	Fe
12I	Björkmansgruvan	Norrskedika	Fe
12I	Björsta gruva 1	Björsta	Fe
12I	Bondgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Borggårde	Borggårde	Fe, Zn,
12I	Botenhällsgruvorna	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Braxen	Dannemorafältet	Fe
12I	Börstilsgruvan 1–2	Börstil	Fe
12I	Christine skärpning	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Dammsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Dannemora Zn-Pb	Dannemorafältet	Zn, Pb, Fe-sulfider, Fe
12I	Dannemorafältet	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Djupgruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Drejersggruvan	Vigelsbofältet	Fe
12I	Edshammarfältet 3	Edshammarsfältet	Fe
12I	Ekrots gruva	Dannemorafältet	Fe
12I	Enighetsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Fischersgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Fisksumpen	Dannemorafältet	Fe
12I	Forsmans gruva	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Forsmarks skärpning 2	Dannemorafältet	Fe
12I	Fågelleksgruvan 1	Vigelsbofältet	Fe

Tabell 7. Fortsättning/*Continuation.*

Kartblad (RT90)	Fyndighet	Malmfält	Mineraliseringstyp
12I	Fågelleksskärpningen	Vigelsbofältet	Fe
12I	Gamla Ramhälls gruvor 1	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Gillemo södra gruva	Gillemo gruvor	Fe
12I	Glasmästaregruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Granfjärdsgruvan	Norrskedika	Fe
12I	Grindgruvan	Norrskedika gruvor	Fe
12I	Gruvfogdegruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Gubbo skärpning	Dannemorafältet	Fe
12I	Gunbyle 1	Gunbyle	Cu
12I	Gäddan	Dannemorafältet	Fe
12I	Hagströmsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Hagströmsgruvan södra	Dannemorafältet	Fe
12I	Hammaringruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Hargs norra skärpning	Dannemorafältet	Fe
12I	Hargs södra skärpning	Dannemorafältet	Fe
12I	Hargsgruvorna	Ramhällsfältet	Fe, Mn
12I	Helsing mellangruva	Ramhällsfältet	Fe
12I	Helsinggruvan södra	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Hoppgruvan	Norrskedika gruvor	Fe
12I	Hornemans sänkning	Dannemorafältet	Fe
12I	Håkansbogruvan 3	Håkansbo gruvor	Fe, Cu, U
12I	Hälsinggruvan 2	Hälsinggruvorna	Fe
12I	Högbergsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Iggesundsschaktet	Vigelsbofältet	Fe
12I	Jakob Edberghs gruva	Barkö gruvor	Fe, Cu, W
12I	Jakobs skärpning	Dannemorafältet	Fe
12I	Johannagruvan	Vigelsbofältet	Fe, Co, Cu
12I	Johannagruvan västra	Vigelsbofältet	Fe
12I	Jungfrugruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Kaggbolsgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Kaptensgruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Karlsgruvan Nordvästra	Vigelsbofältet	Fe
12I	Karlsgruvan Södra	Vigelsbofältet	Fe
12I	Karlsgruvan Västra	Vigelsbofältet	Fe
12I	Kattgruvan	Rörbergsgruvorna	Fe
12I	Klockgruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Konstängsgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Koxut	Koxut	Fe
12I	Koxut 24	Koxut	Fe, Cu
12I	Kruthusgruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag
12I	Kräftan	Dannemorafältet	Fe
12I	Kungsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Leufsta Ekrotsgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Liäng 2	Liäng	Fe

Tabell 7. Fortsättning/*Continuation.*

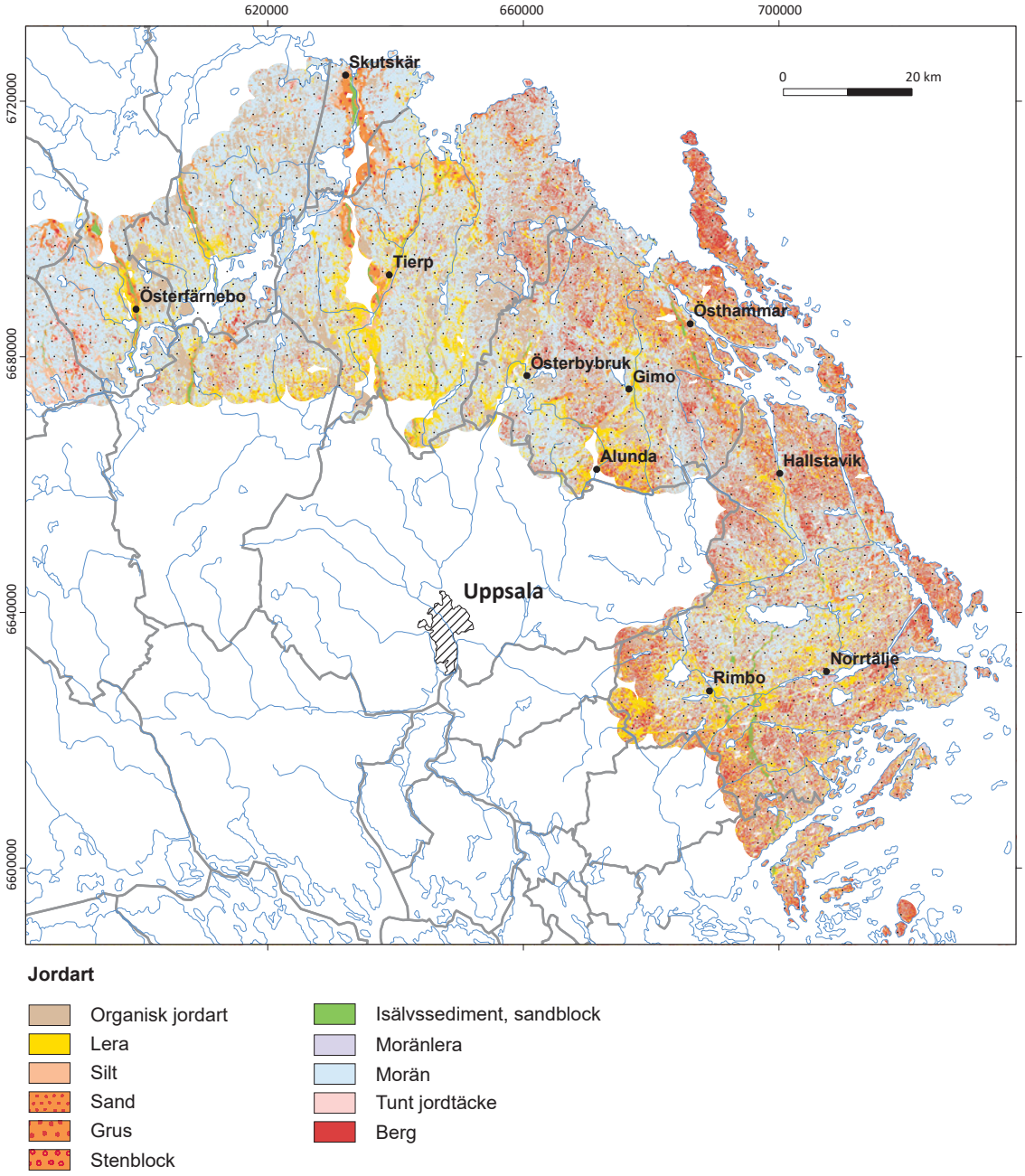
Kartblad (RT90)	Fyndighet	Malmfält	Mineraliseringstyp
12I	Långalma gruva 2	Långalma	Fe
12I	Långbron	Hälsinggruvorna	Fe
12I	Långgruvan 1	Vigelsbofältet	Fe
12I	Långgruvan 2	Vigelsbofältet	Fe
12I	Lövstagruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Mannerstråhles gruva	Vigelsbofältet	Fe
12I	Maskingruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Maskingruvan	Norrskedika gruvor	Fe
12I	Maskingruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Mellanskärpningen	Dannemorafältet	Fe
12I	Myrgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Myrgruvan	Vigelsbofältet	Fe
12I	Mörten	Dannemorafältet	Fe
12I	Norra Björkbygruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Norra Långhällsgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Norra Silfbergsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Norrnäsgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Nya Stockenströms schakt	Vigelsbofältet	Fe
12I	Nya Tammsgruvan	Vigelsbofältet	Fe
12I	Nygruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Odinsgruvan	Ramhällsfältet	Fe
12I	Pumpgruvan	Vigelsbofältet	Fe
12I	Ragnhildsgruvan 1	Ragnhildsgruvorna	Fe, Cu
12I	Randersbo gruvor	Randersbo gruvor	Fe
12I	Risells schakt	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Roddarne gruva 3	Roddarne	Fe
12I	Roschetsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Rudan	Dannemorafältet	Fe
12I	Rudholmsgruvan 2	Rudholmsgruvorna	Fe, Pb, Zn
12I	Rudholmsgruvan 3	Rudholmsgruvorna	Fe, Cu, Zn
12I	Rumbo gruva 2	Rumbogruvorna	Fe
12I	Rörbergsgruvan 3	Rörbergsgruvorna	Fe
12I	Sandika 1	Sandika	Fe, Cu
12I	Silvergruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag
12I	Simpan	Dannemorafältet	Fe
12I	Sista försöket	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Sjögrensgruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Sjögruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Skansen	Bennbo	Fe
12I	Skebo skärpning 2	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Skogsvretsgruvan 2	Skogsvreten	Fe, Zn
12I	Sparbanken	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Stabyschaktet	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Stallrymningen	Vigelsbofältet	Fe

Tabell 7. Fortsättning/*Continuation.*

Kartblad (RT90)	Fyndighet	Malmfält	Mineraliseringstyp
12I	Stockenströms schakt	Vigelsbofältet	Fe
12I	Storgruvan	Vigelsbofältet	Fe
12I	Storrymningen	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Ströms skärpning	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Strömsmalmen	Dannemorafältet	Fe
12I	Sumpgruvan	Ramhällsfältet	Fe
12I	Svavelgruvan	Dannemorafältet	Zn, Pb, Fe-sulfider
12I	Söderharg 2	Söderharg	Fe
12I	Södernäsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Södra Björkbygruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Södra Långhällsgruvan	Dannemorafältet	Fe
12I	Södra Silfbergsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Pb, Ag, Zn
12I	Tamms schakt	Dannemorafältet	Fe
12I	Tammsgruvorna	Vigelsbofältet	Fe
12I	Thors schakt	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Tomtgruvan 2	Vigelsbofältet	Fe, Cu
12I	Torpgruvan 2	Betlehemsgruvorna	Fe
12I	Ungkarlsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Ursbo 2	Ursbo	Fe
12I	Uvlunge gruva 5	Uvlunge	Fe
12I	V. Helsinggruvan	Ramhällsfältet	Fe
12I	Varpgruvan	Ramhällsfältet	Fe
12I	Wattholmagruvan	Dannemorafältet	Fe, Zn
12I	Werviersgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Vigelsbogruvan	Vigelsbofältet	Fe
12I	Västra Bergmästaregruvan	Ramhällsfältet	Fe
12I	Ytternuttö 1	Vigelsbofältet	Fe
12I	Åkerbyskärpningen	Dannemorafältet	Fe
12I	Åstorp 3	Ytternuttö	Fe, Zn, Cu
12I	Åstorp 3	Åstorp	Fe, Zn, Cu
12I	Åstorp 4	Åstorp	Fe, Zn, Cu
12I	Åstorp 6	Åstorp	Fe, Zn, Cu
12I	Åstorp 7	Åstorp	Fe, Zn, Cu
12I	Ängsskärpningen	Dannemorafältet	Fe
12I	Ö. Helsinggruvan	Ramhällsfältet	Mn, Fe
12I	Öhnsgruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Öhnsskärpningen	Dannemorafältet	Fe
12I	Örners schakt	Dannemorafältet	Fe, Mn
12I	Österbygruvan	Dannemorafältet	Fe, Mn
12J	Adolfgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Annagruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Anna-Stinagruvan	Mälbyfältet	Fe
12J	Boruddsgruvan	Stora Vingeskär	Fe

Tabell 7. Fortsättning/*Continuation.*

Kartblad (RT90)	Fyndighet	Malmfält	Mineraliseringstyp
12J	Charlottagruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Eknäsgruvan	Herrängsfältet	Fe, Cu, Zn, Pb, Mo, Fe-sulfider
12J	Ensviksgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Fabiangruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Fredriksgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Fredriksgruvan	Raggarön	Fe
12J	Glittergruvan	Herrängsfältet	Fe, Cu, Zn
12J	Gustavsgruvan	Herrängsfältet	Fe, Zn, Cu
12J	Gåsviks gruvor	Gåsviks gruvor	Fe
12J	Görangruvan	Herrängsfältet	Fe, Zn, Cu
12J	Herrängsfältet	Herrängsfältet	Cu, Zn, Pb, Ni
12J	Hälltalssjön 2	Hälltalssjön	Fe
12J	Klintgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Kärrgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Lilla Vingelsskärsgruvan	Stora Vingeskär	Fe
12J	Lillängsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Lovisagruvan 3	Slätön	Fe
12J	Magdalenagruvan	Mälbyfältet	Fe, Fe-sulfider
12J	Markdalsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Moskärpet	Herrängsfältet	Fe
12J	Mälbygruvorna	Mälby gruvor	Fe
12J	Norrbygruvorna	Herrängsfältet	Fe
12J	Norrmyrsgruvan	Raggarön	Fe
12J	Nya Fredriksgruvan	Raggarön	Fe
12J	Nybygruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Näsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Prästgruvorna	Mälby gruvor	Fe
12J	Richardsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Robertsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Ryagruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Singskärpet	Herrängsfältet	Fe, Zn, Cu
12J	Sjödammsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Skyttuddsgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Smedjegruvan	Raggarön	Fe
12J	Spatgruvan	Herrängsfältet	Fe
12J	Stora Vinglingsskärsgruvan	Stora Vingeskär	Fe
12J	Västra Myrgruvan	Raggarön	Fe
13H	Jordåsens storgruva 2	Jordåsen	Fe
13H	Skogvaktaregruvan	Jordåsen	Fe
13H	Spånfallsgruvan	Jordåsen	Fe
13H	Västra Jordåsgruvan 1	Jordåsen	Fe
13H	Västra Jordåsgruvan 2	Jordåsen	Fe
13H	Östra Jordåsgruvan	Jordåsen	Fe



Figur 5. Jordartskarta av norra delar av Uppland (SGU databas, förenklad jordartsindelning).
Soil map of northern part of Uppland (SGU database, simplified).

GEOKEMI I OMRÅDENA – GRUNDÄMNENAS FÖREKOMST OCH ASSOCIATIONER

I undersökningsområdet har prov samlats in från 1 021 lokaler med morän och 110 med sediment. Området omfattar ca 7 220 km2 och innefattar helt eller delvis följande kommuner: Avesta, Hofors, Sandviken, Gävle, Heby, Älvkarleby, Tierp, Östhammar, Norrtälje och Österåker.

Undersökningsområdet ligger under högsta kustlinjen (HK) och morängeokemin påverkas av postglaciala processer i havsmiljö.

Berggrunden i undersökningsområdets norra del domineras av granitiska bergarter med

inslag av mafiska intrusiva bergarter (gabbro, diorit) och olika typer av vulkaniter (kiselfattiga till kiselrika varianter). De förhöjningar av grundämnen i morän som normalt kan kopplas till granitoider och pegmatiter är till exempel Al, Au, Ba, Be, Bi, Cd, K, La, Nb, Rb, Sb, Sn, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, W och Yb. Dock har följande grundämnen lägre medianhalter i morän i Uppland än rikets median: Ba, K, Nb och Rb. Grundämnen i morän som normalt förknippas med mafiska, ultramafiska och kiselfattiga bergarter är Ag, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Sr, Ti and V. För följande grundämnen gäller dock att de har en lägre medianhalt än rikets median: Co, Ni, P och Ti. Halten av kalcium i moränen är relativt hög och härstammar från kalksten i Bottenviken utanför Gävle. Det har gett ett pH för området som ligger mellan 6 och upp till ca 8. Kartbilden visar tydligt kalkinslag i moränen i den nordöstra delen av området.

Det finns många gamla gruvfält och kända mineraliseringar, ofta i anslutning till vulkaniter (Hallberg m.fl., 2012). Några av de grundämnen som är förhöjda i morän i samband med dessa är Ag, Au, Cr, Fe, Mn, Pb, Sb, Sc, Se och Zn. Överensstämmelsen mellan kartbild och kända mineraliseringar är relativt god. Anomalier i närheten av kända mineraliseringar finns exempelvis strax norr om Österbybruk, det finns dock inga aktiva gruvor i området. Ett stort antal mineraliseringar och spridda områden med mafiska bergarter komplicerar en generell koppling mellan bergart och morän i anslutning till bergartens geografiska utbredning. En del grundämnens analysvärden i morän ligger över Naturvårdsverkets generella nivå för känslig markanvändning (KM) efter omräkning. På ett flertal lokaler med morän stiger halter av As, Pb och Co över KM medan Ba, Cd, Cr, Ni, V och Zn uppvisar halter över KM bara på några ställen. Höga halter av Pb, Co, Cr, V och Zn visar ofta geografisk koppling till bergart eller kända mineraliseringar.

De flesta mineraliseringarna finns i kiselrika yt- och djupbergarter och i skarn. Norr om Österbybruk finns det en koppling mellan kända mineraliseringar av järnoxid och grundämnen som Fe, Co, Cr, Mn och V i moränen. Strax nordost om Tierp finns det i anslutning till järnsulfid- och järnoxidmineralisering en förhöjning av Ni, P och Ti i moränen. Nordost om Östhammar finns förhöjningar av Ca och Sr i moränen som har sitt ursprung i kalksten i Gävlebukten, vilket bekräftas av isrörelseriktningen. Sydost om Hallstavik, finns en borförhöjning i moränen som sannolikt kan förklaras av anrikning i marina leror (under HK). Dessa leror kan ha blandats in i moränen när området täcktes av havet efter senaste glaciationen. Andra källor till bor är pegmatiter som lokalt kan innehålla mineral med höga borhalter, men de är ofta vittringsresistenta. Ca 20 km nordost om Tierp, i anslutning till en järnoxidmineralisering finns en förhöjning av många sällsynta jordartsmetaller (eng. rare earth elements, REE) i moränen, exempelvis La, Dy och Yb men även andra grundämnen som Ag och Pb. Berggrunden i området består av kiselrika bergarter som även kan ha bidragit med förhöjda REE halter. I området kring Skutskär finns det en förhöjning av Cu och Sr i moränen vilken kan kopplas till mafiska bergarter i närheten. Strontium kan även ha sitt ursprung i kalksten från Gävlebukten vilken då har spridits med inlandsisen. Norr om Norrtälje finns det mineraliseringar i ett område med vulkaniter (kiselrika) vilka kan ha gett upphov till förhöjda halter av Zn, Sb, As, Rb och K (se fig. 3 och 4, och respektive kartor).

Tio procent av de tagna proven är sedimentprov. Generellt, har sediment ett högre analysvärde avseende analyserat grundämne om man jämför med morän. Anledningen till det är att sedimenten, ofta lera eller silt, framför allt innehåller finkorniga partiklar och att de nästan uteslutande består av en välsorterad fraktion. Då finkorniga sediment kan transporteras längre sträckor i en vattenrik miljö jämfört med morän så är det inte helt entydigt var sedimentets källa har varit, även om dess kemi kan ge viss vägledning om vilken bergart som var dess ursprung.

I det följande beskrivs geokemiska anomalier i morän inom undersökningsområdet och hur grundämnena uppträder i den. Moränens geokemi är påverkad av berggrunden, mineraliseringarna, karaktären hos isen som avsatt moränen och av skeenden och effekter under inlandsisens avsmältning och dess rörelseriktning.

Ag, Silver

Kartbilden visar anomalier i morän norr om Tierp vid kusten samt norr om Österbybruk. De ansluter till järnoxidförekomster och till vulkaniter vilka kan innehålla silver, exempelvis i Dannemorafältet. Förhöjda silverhalter förekommer i östra Roslagen, i kustområdet mellan Hallstavik och Norrtälje, där mindre järnoxid och sulfidmineraliseringar är kända.

Al, Aluminium

Aluminiumhalter i morän varierar stark inom området, från höga halter i de västra och sydöstra delarna till låga i de norra och nordöstra. Höga halter förklaras av ler-rika moräntyper och låga halter förekommer i områden med höga kalciumhalter och högt pH > 8.

As, Arsenik

Arsenikhalterna i det karterade området är förhöjda i jämförelse med rikets median på 2 ppm. I kustområdet kan flera arsenikanomalier förklaras av järn- och sulfidmineraliseringar, som till exempel Herrängsfältet nära Hallstavik och Dannemorafältet nära Österbybruk. Kartbilden visar stora anomalier strax sydöst om Skutskär samt strax norr om Norrtälje. Mineraliseringar som finns ett antal kilometer längre bort och isrörelseriktningen tyder på att det kan ha transporterats arsenik norrifrån. I anslutning till dessa finns det metagråvackor och vulkaniter som kan innehålla förhöjda halter av As.

Au, Guld

Det finns förhöjningar av guld i morän runt och strax sydost om Österbybruk. Ett flertal höga halter finns i området Österbybruk–Alunda, där Persbo gruva som brutits på järn, guld och koppar ligger väst om Österbybruk. Anomalin mellan Alunda och Österbybruk ligger i anslutning till det gamla gruvområdet Ramhällsgruvor. Mellan Skutskär och Tierp fanns historiskt Karlsätergruvan där zink, koppar och guld brutits. Ett tydligt guldanomaliområde runt Norrtälje kan ha koppling till gråvacka och vulkanit i berggrunden, men kunskap om kända mineraliseringar saknas.

B, Bor

Bor uppvisar högre halter i Uppland jämfört med medianvärdet för övriga Sverige (0,3 ppm). De förhöjda halterna i de norra och östra delarna av Östra Svealand kan sannolikt förklaras av leriga morän och marina sediment. Bor kan förekomma i metasedimentära bergarter som gråvacka. Borförande mineral i pegmatit, som turmalin, är vittringsresistenta och kan bara i mindre utsträckning lakas i salpetersyra. Postglaciala marina sediment kan också vara en källa till bor.

Ba, Barium

Halterna av barium ligger i undersökningsområdet under medianvärdet jämfört med riket (34 ppm). Bariumförhöjda halter i morän förekommer i områden med granitisk berggrund, samt i områden med metasediment och vulkanit. Ba-anrikning kan tyda på förekomst av mineraliseringar i hydrotermalt omvandlade bergarter. Marina sediment och leriga morän kan innehålla högre bariumhalter än sediment med grövre fraktion.

Be, Beryllium

I Uppland finns det förhöjningar av beryllium i de nordvästra delarna. De två högsta värdena finns ca 20 km norr om Tierp (2 ppm) samt ca 20 km sydväst om Tierp (1,7 ppm). Potentiella

källor till dessa är vittrade felsiska bergarter och ler-rika morän. Låga berylliumhalter förekommer i område med högt pH > 7,5, ju lägre pH desto högre berylliuminnehåll i morän.

Bi, Vismut

Vismuthalterna i Uppland är något högre än rikets median (0,1 ppm). Höga halter följer förekomsten av felsiska vulkaniter och metasediment i berggrunden, samt sulfidmineraliseringar. Det högsta värdet (ca 9 ppm, öster om Alunda) kan kopplas till bly-zink-sulfid-mineraliseringar som ligger knappt 10 km norr om provtagningsplatsen.

Ca, Kalcium

Nordöstra delen av Uppland har höga halter av kalcium i morän som kan härledas till den kalksten/dolomit som finns i Gävlebukten och som transporterats av inlandsisen. Generellt är kalcium anrikad i hela Uppland (median på ca 3 500 ppm jämfört med rikets median på 2 500 ppm), på grund av att hela området låg under havsytan efter deglaciationen och berggrunden i havsbotten i Bottniska viken domineras av paleozoisk kalksten. Högt kalciuminnehåll resulterar i högt pH i morän. Lokalt kan morän ha höga kalciumhalter som kommer från berggrund med mindre kalksten, marmor- och skarnförekomster. Dessa är ofta värd för järn- och sulfidmineraliseringar.

Cd, Kadmium

I Uppland finns det två stora områden med förhöjda kadmiumhalter: den ena på norra kusten mellan Skutskär och Tierp, den andra i sydöstra delen mellan Hallstavik och Norrtälje. De högsta halterna (ca 1 ppm) påträffas sydväst om Älvkarleby. Närliggande gabbrobergarter samt kalkrikt material norr ifrån kan vara ursprung till de höga kadmiumhalterna. Berggrund med vulkanit och metasediment kan vara källa till förhöjda kadmiumhalter i morän. Lokalt sammanfaller kadmium anomalier med skarnmineraliseringar. Områden med högre pH > 7,5 har tydligt högre kadmiumhalter än områden med lågt pH.

Ce, Cerium

Ceriumanrikning i morän förekommer i områden med lägre pH och med granitisk berggrund. Vissa cerium höga halter kan ha sitt ursprung i lerig morän och i områden med marina sediment. Förhöjda värden är tydligast i norra och östra delarna av Uppland.

Co, Kobolt

Kobolthalter är förhöjda i områden med felsiska och mafiska vulkaniter samt järnmineraliseringar. I Uppland är det högsta värdet drygt 21 ppm och återfinns norr om Österbybruk. Strax norr om provtagningsplasten finns mafiska bergarter som kan innehålla kobolt. Det har påträffats kobolt inom ett gammalt gruvområde med flera järnmineraliseringar vid Vigelsbofältet.

Cr, Krom

Källan till krom i Uppland är mafiska och ultramafiska bergarter. Till exempel finns det en relativt stor kropp gabbroider strax norr om Österbybruk där en av de stora anomalierna uppträder. Kromhalterna är lägre längs med kusten, i kalkrika områden med pH över 7,5.

Cu, Koppar

Högre kopparhalter i morän kopplas ofta till sulfidmineraliseringar och vulkaniter i den underliggande berggrunden. I Uppland har det högsta värdet påträffats ca 10 km sydväst om

Skutskär, i anslutning till en sulfidmineralisering som kan vara källa till förhöjda kopparvärden i moränen. Kopparanomalin norr om Österbybruk vid Vigelsbofältet kan förklaras av sulfidmineraliseringar.

Fe, Järn

Järnhalterna i morän är något högre än rikets median på ca 10 000ppm, men är lägre i områden med kalk-rik morän och högre pH. Mindre järnanomalier kan kopplas till mafiska bergarter i berggrunden och lokala järnmineraliseringar. Högst värde för järn finns norr om Österbybruk, vid Vigelsbofältet med ett flertal järnoxidmineraliseringar vilka kan ha gett upphov till anomalin i morän och stämmer överens med isrörelseriktningen. Järnförhöjda halter norr om Norrtälje kan förklaras av mindre järnmalmer till exempel vid Gåsviks gruvor. Å andra sidan, finns inga stora anomalier i närheten av järngruvan i Dannemora vilket kan bero på att hela området har varit under högsta kustlinjen och havsvattnet tvättat ut moränen.

Ge, Germanium

Germaniumhalterna är låga i morän med bara lokala anomalier som mest sannolikt kan förklaras av lokala järn- och sulfidmineraliseringar och förekomster av senorogena graniter. De bästa exemplen finns på ett flertal ställen som runt Österfärnebo, norr och söder om Tierp, Hallstavik, norr om Österbybruk, norr om Gimo och vid Rimbotrakten. Germaniums geokemimönster påminner mycket om det för REE och kan möjligtvis ha ett liknade ursprung som dessa.

K, Kalium

Kaliumhalterna i morän är låga i större delen av det karterade området. Den förhöjning som finns i sydöstra hörnet, mellan Norrtälje och Hallstavik, kan förklaras av fältspat och glimmerrika metasedimentära bergarter i trakten och/eller högre lerinnehåll i moränen.

La, Lantan

Mönstret för lantan i Uppland påminner delvis om det som syns för zirkonium på kartbilden. Höga lantanhalter i Uppland härstammar sannolikt från graniter. Starka relationer mellan grundämneshalten och berggrunden kan observeras runt Österfärnebo, norr och söder om Tierp, Hallstavik, norr om Österbybruk och vid Rimbotrakten. Till viss grad tyder förhöjda halter av lantan på förekomster av leriga morän och marina sediment.

Li, Litium

Förhöjda halter av litium i morän har sin huvudkälla i granitisk berggrund. Till mindre grad kan mafiska bergarters vittringsprodukter innehålla högre litiumhalter. Leriga morän samt finkorniga sediment kan anrikas på litium, som har stark förmåga att binda i lermineral. Litiumhalter i morän är lägre i områden med högre pH.

Mg, Magnesium

Generellt är högre magnesiumhalter i morän kopplade till förekomsten av karbonater och vittringsprodukter från mafiska intrusiva och vulkaniska bergarter. Mellan Skutskär och Tierp i Uppland kan förhöjningen i morän ha sitt ursprung både i karbonatbergarterna som finns i Gävlebukten,

vilket bekräftas av isrörelseriktningen, och i mafiska kiselfattiga magmatiska bergarter. Det finns mindre, lokalt spridda, karbonatstenshorisonter bland vilka det förekommer magnesiumhaltiga dolomiter. Dessa kan vara en källa till förhöjda magnesiumhalter. Det finns även en del gabbrointrusioner strax söder om Skutskär som också kan bidra till förhöjd magnesiumhalt i moränen.

Mn, Mangan

Kartbildens mönster för mangan i Uppland påminner om det för magnesium. Höga manganhalter kan ofta förklaras av förekomster av mafiska intrusioner. De högsta värdena finns drygt 10 km norr om Österbybruk. Strax norr där om finns ett antal järn- och sulfidmineraliseringar innehållande mangan som kan vara källan till förhöjningen. Det finns även förhöjningar norr om Norrtälje vid Gåsviks gruvor och Mälbyfältet.

Mo, Molybden

Förhöjningar av molybden i moränen i Uppland kan ha sitt ursprung i granitoider, till exempel i västra delen av det karterade området, och i metasedimentära bergarter (norr om Norrtälje). Molybden har även påträffats i Eknäsgruvan vid Herrängsfältet.

Na, Natrium

Natriumhalterna för Uppland ligger över rikets medianvärde på ca 116 ppm. Huvudorsaken kan vara tjocka lager av leriga morän och sediment vilket stämmer överens med SGUs jorddjupsmodell. Förhöjda natriumhalter förekommer strax öster om Norrtälje, runt Tierp samt öster om Österfärnebo. Enstaka punktanomalier i närheten av mineraliseringar kan ha orsakats av det mobila natrium i hydrotermala lösningar som bland annat gett upphov till albitisering (natriumrik plagioklas) i delar av berggrunden. En viss del natrium kan komma från jordbruksmark, som till exempel i stor odlingsmark nära Tierp.

Nb, Niob

Förhöjda niobhalter förekommer i västra delen av undersökningsområdet. Kartbilden för niob i Uppland kan kopplas till senorogena graniter. Kartmönstret påminner om spridningsmönstret för sällsynta jordartsmetaller (REE). Områden med tjocka morän och sedimentavlagringar ovanpå granitisk berggrund visar också högre halter av niob.

Ni, Nickel

Nickel förknippas med mafiska och ultramafiska magmatiska bergarter. I Uppland finns ett stort antal mindre gabbrointrusioner som kan vara orsaken till förhöjda nickelhalter i morän. Nickelanomalin väst om Tierp ligger i ett område med aktivt jordbruk i leriga sediment där nickel kan vara sekundärt transporterad och delvis antropogent (särskilt om avloppsslam används).

P, Fosfor

Fosforhalterna är inte särskilt höga förutom i ett större område i norr, mellan Österfärnebo och Tierp. Huvudorsaken till de höga fosforhalterna kan å ena sidan vara användning avloppsslam på åkermark, å andra sidan tjocka leriga sediment. Mindre fosforanomalier kan orsakas av mafiska bergarter, till exempel gabbro förekomster sydöst från Österfärnebo vid Dalälven.

Pb, Bly

Uppland har blyhalter (median = 10 ppm) i morän som ligger något över medianvärdet jämfört med riket (6,4 ppm). I Uppland finns det relativt många sulfidmineraliseringar som kan kopplas till förhöjda blyhalter i morän. Men det finns även förhöjningar på platser som ligger långt från kända sulfidmineraliseringar, till exempel vid norra kusten öst om Skutskär. På vissa platser kan sekundär blyanrikning i finkorniga morän och sediment vara orsaken till blyanomalier.

Rb, Rubidium

I Uppland ligger rubidium under rikets medianvärde (12,4 ppm) avseende halt i morän. Liknande spridningsmönster finns för kalium vilket beror på att rubidium och kalium har ett snarlikt kemiskt beteende och kaliumjoner kan ersättas av rubidium i mineral som glimmer och fältspat. Båda grundämnena är vanliga hos vittringsprodukter och lermineral. Ursprungligen förknippas rubidium med graniter och andra kiselrika magmatiska bergarter samt metasediment. Leriga morän och finkorniga (marina) sediment kan ha höga rubidiumhalter.

Sb, Antimon

Antimon i morän ligger i Uppland under rikets median (80 ppb). Kartbilden påminner om spridningsmönstret för arsenik. Förekomsten av de högsta värdena i detta område sammanfaller med uppträdandet av metagråvackor i berggrunden. Detta kan ses tydligt i ett område strax norr om Norrtälje. Nordväst i undersökningsområdet, i Gävleborgs län, finns det mineraliseringar som innehåller antimon. Förhöjda antimonhalter kan också förknippas med tjockare avlagringar med finkorniga och leriga sediment och morän som kan vara sänka för antimon som transporterades med vatten efter sista glaciationen.

Sc, Scandium

Förhöjda halter av skandium i morän kan förklaras av förekomster av mafiska bergarter, vulkaniter och vittrade mineral som biotit, amfibol och pyroxen. Sekundära anrikningar av skandium kan finnas i finkorniga bergarter som lerskiffer och metagråvacka och dess vittringsprodukter. En del skandiumanomalier påträffas i morän som ligger nära skarnmineraliseringar med hydrotermala omvandlingar, till exempel norr om Österbybruk (Vigelsbofältet). Förhöjda halter i morän norr om Norrtälje kan förklaras av metasedimentära bergarter och förekomster av finkorniga och leriga morän. Skandium har stark tendens att binda till lermineral och organiskt material.

Se, Selen

Selenhalterna i morän är låga, med enstaka anomalier spridda i undersökningsområdet. Norr om Norrtälje och nordost om Rimbo i Uppland finns det anomalier som sammanfaller med förekomster av metagråvackor, som ibland kan vara selenförande. Selen kan ersätta svavel i sulfidmineral och de högsta selenvärdena i morän finns i de områden där det finns en eller flera sulfidmineraliseringar.

Sn, Tenn

Tennhalterna är låga i östra delen av undersökningsområdet och något förhöjda i västra delen, väst om Tierp. I Uppland finns de högsta värdena mellan Österfärnebo och Tierp. Dessa har sannolikt sitt ursprung i moränmaterial som kommer från kiselrika magmatiska bergarter som granit och pegmatit.

Sr, Strontium

Kartbilden för strontium och kalcium för Uppland är i princip identiska. Moränmaterialet som ger upphov till förhöjda halter härstammar från kalkstenen som finns i Gävlebukten. Isräfflor antyder nordsydlig transportriktning från dessa ställen.

Ta, Tantal

I Uppland förknippas tantalvärdena i morän med de graniter som finns över hela undersökningsområdet. Anomalierna är störst i området mellan Österfärnebo och Tierp där berggrunden domineras av senorogena graniter och pegmatiter.

Te, Tellur

Spridningsmönstret för tellur visar att förhöjda halter förekommer i anslutning till sulfid- och järnmineraliseringar, framför allt i skarn, till exempel väster och norr om Österbybruk. I området söder om Skutskär finns en del gabbrointrusioner och vulkaniska bergarter, vilka kan vara en potentiell källa till tellur. I Norrtälje trakten kan förhöjda tellurhalter förklaras av metasedimentär berggrund samt tjockare avlagringar av finkorniga ler-rika morän och sediment.

Th, Torium

Toriums geografiska spridningsmönster kan förklaras av förekomster av graniter och dess varianter. Högst toriumhalter finns norr om Österfärnebo och söder om Tierp där berggrunden domineras av stora senorogena granitiska intrusioner. Även en mindre toriumanomali vid Rimbo orsakas av graniter och pegmatiter.

Ti, Titan

Förhöjda halter av titan i morän påträffas i Uppland i anslutning till såväl mafiska som felsiska magmatiska bergarter. Utbredningen av de förhöjda halter av titan som finns norr om Tierp liknar nickelanomalin. Relationen mellan höga titanhalter i morän och uppträdandet av mafiska bergarter är inte alltid tydlig. Dock anrikas titan i leriga sediment och binder till järn och manganoxider. Det finns ingen uttalad koppling mellan mineraliseringar och titananomalier i undersökningsområdet.

Tl, Tallium

Generellt är spridningsmönstret för tallium likt det för antimon och delvis det för kalium. Mest vanlig källa till tallium är olika lättvittrande sulfider, till exempel blyglans, pyrit och zinkblände. Spridda, mindre talliumanomalier sammanfaller med sulfidmineraliseringar, till exempel vid Mälbyfältet (öst om Hallstavik) och Norrskedika gruvor (norr om Östhammar). Tallium kan också ersätta kalium i fältspat, men detta mineral har lågt lakbarheten i salpetersyralakning. Mellan Rimbo och Norrtälje finns ett flertal anomalier vars utsträckning sammanfaller med metagråvackor, som innehåller både fältspat och glimmer, sannolika källor till tallium. Sekundära talliumanrikningar kan förekomma i finkorniga leriga morän och sediment.

U, Uran

I Uppland är flertalet av anomalierna associerade med uranförande graniter, som nordost om Österfärnebo, söder om Tierp och strax norr om Rimbo. Utbredningen av anomalierna i moränen sammanfaller med formen av granitintrusionerna. Spridningsmönstret påminner om kartbilden för torium.

V, Vanadin

Kartbilden för vanadin i morän för Uppland är snarlik den för titan. De höga halterna ligger i områden med mindre gabbrointrusioner och metagråvackor. Enstaka anomalier kan kopplas till järnmineraliseringar, till exempel syd och norr om Österbybruk. Höga vanadinhalter vid Tierp kan även orsakas av sekundär anrikning i finkorniga leriga sediment och morän.

W, Volfram

De förhöjda volframhalterna i morän kan sammankopplas med kiselrika graniter och vulkaniter. Det finns även tydlig koppling till järnmineraliseringar i skarn. Runt Österfärnebo och väster om Österbybruk syns anomalier i områden med granit och pegmatit. Volframhalterna i morän är lägre i områden med högt pH (den nordöstliga delen).

Zn, Zink

Medianhalten för zink (32 ppm) i morän ligger i Uppland över rikets median på 27 ppm. Det finns förhöjda zinkhalter som ser ut att härstamma från vulkaniska och metasedimentära bergarter. Typexempel kan ses söder om Skutskär och strax söder om halvön som ligger nordost om Tierp. I den här delen av undersökningsområdet finns ett antal zinkmineraliseringar som kan ha gett upphov till förhöjd zinkhalt i morän. Zinkmineraliseringar i skarn syns tydlig på kartan, med lokala anomalier till exempel norr om Österbybruk vid Vigelsbofältet. Norr om Norrtälje finns det höga zinkhalter i morän som kan ha sitt ursprung i de zinkförande mineraliseringar som finns i området strax norr om staden (t.ex. Gåsviks gruvor) och i Hallstaviktrakten. Transporten av morän som innehåller zink kan utifrån den nordsydliga isrörelseriktningen varit uppemot 20–30 km.

Zr, Zirkonium

Höga zirkoniumhalter i Uppland förekommer framför allt i morän som deponerats ovanpå felsiska kiselrika magmatiska bergarter som graniter och dess varianter. Starka relationer mellan grundämneshalten och berggrunden kan observeras runt Österfärnebo, norr och söder om Tierp och vid Rimbotrakten. Förhöjda halter finns även norr om Norrtälje där metasedimetära och vulkaniska bergarter är vanliga.

REE (sällsynta jordartsmetaller)

Grundämnen som ingår i gruppen REE kan delas in i lätta LREE och tunga HREE. Till LREE hör Ce, Eu, La, Nd, Pr, Sc och Sm och till HREE hör Dy, Er, Gd, Ho, Lu, Tb, Tm, Y och Yb. Alla REE har en stark association till senorogena graniter och alkalina magmatiska bergarter. En del REE-anomalier ligger nära järn- och sulfidmineraliseringar i skarn. De bästa exemplen på grundämnesförhöjningar i morän finns på ett flertal ställen, som runt Österfärnebo, norr och söder om Tierp, Hallstavik, runt Österbybruk, Gimo och vid Rimbotrakten. REE är mer rörliga vid lågt pH och icke-mobila vid högt pH, därmed noteras lågt REE-innehåll i nordöst vid kusten där kalkrika morän förekommer. Sekundär anrikning i REE sker i finkorniga lermineralrika morän och sediment.

SUMMARY

For more than 30 years, the main goal of the geochemical mapping programme at SGU has been to provide high quality, consistently sampled and analysed data. The objective of the programme is to quantify regional geochemical variations in glacial till in order to provide data for mineral exploration, the mining industry, planning purposes, environmental research, agriculture, forestry, veterinary and human medical research (medical geology).

Till samples are commonly collected from the C-horizon of hand-dug pits, at a depth of ca 0.7–1.0 m. Sediments are collected with a hand driven drill at 1.0 m depth. The sample density is ca 1 sample per 7 km^2.

After vacuum-drying, the samples are sieved stepwise to fraction <0.063 mm and analysed for major, minor and trace elements at the SGU laboratory. Samples undergo partial leaching in Aqua Regia (a mixture of HCl and HNO_3) and nitric acid (7M HNO_3) and followed by ICP-MS analysis. Acidity is determined in a suspended solution composed of a 4 g sample (<0.063 mm) and 20 ml distilled water. External quality control procedure is used in order to monitor the sampling and analytical variance. Additional details regarding the geochemical mapping programmes, including biogeochemical mapping at SGU, are available in Lax & Selinus (2005) and Andersson et al. (2014). Method details are described in detail in Morris et al. (2020).

The present report covers the area of approximately 7214 km^2 in parts of southeastern Gävleborg county, northern Uppsala county and northern Stockholm county. A total of 1 021 samples of till and 110 samples of clay and fine sediments were collected for this study.

The bedrock of the northern part of the surveyed area is composed of Palaeoproterozoic rocks (1.96–1.60 Ga). These are predominantly igneous, and to minor extent, sedimentary rocks formed during the Svecofennian orogeny. Majority of the rocks were subjected to metamorphism and deformation. Igneous rocks are mainly of granite, granodiorite and tonalite composition, most of them metamorphosed. Large unmetamorphosed granitic intrusions with pegmatite are common in northern and southeastern parts of the studied area. Sedimentary rocks are metamorphosed and represented mainly by metagreywacke (paragneisses and migmatites) and mica schist. During Mesoproterozoic time (1.6–1,0 Ga) sandstones (so called Jotnian sandstone) were deposited.

The study area belongs to the eastern part of the Bergslagen ore district, which is part of the central Swedish ore province. There are more than 800 known mineralisations (metal deposits and industrial minerals) within the study area (Wik et al., 2006; Wik et al., 2004; Hallberg et al., 2012). The mineralization in the area is represented mainly by iron oxides and sulfides of copper, zinc and lead, often in skarn. Locally gold and silver also occur. The most famous mine in the area is Dannemora that was active from the 1500s until 1992. The mine was restarted by Danemora Mineral AB in 2012 but it went bankrupt in 2015.

In the north-eastern parts of Uppland, the moraine is often clayey or silty-sandy due to the presence of limestone. The thickness of the till varies, the till cover is usually 3 to 10 m deep. The topography of the moraine largely follows the surface of the underlying bedrock. At the coast of Gästrikland, the moraine is often blocky and the terrain hilly. In the southeast corner of the area, there are so-called De Geer moraines. De Geer moraines, parallel to a former ice front are also called washboard moraines These are till ridges up to 5 m high, 10–50 m wide, and in some cases 1 000 m or more in length. The moraines occur in large groups at 40–300 m intervals, mostly in low-lying landscape areas (Peterson & Smith, 2013). The entire sampling area lies below the highest coastline (HK). Wave-washed materials, sand and gravel are present as well as glacial and post-glacial clays. In the northern part of the area there are several eskers that extend in north-south direction. Ice-flow directions in the area are mainly to the south and southeast. The area around northern Uppsala and north of Stockholm became free of ice from about 11 000 years ago.

The mineral composition of till largely depends on the original bedrock mineralogy and chemical composition. Granites and pegmatite provide increased levels of, for example potassium, lead, uranium, tin, tungsten, molybdenum and rare earth elements. Element concentrations are also influenced by the Quaternary history of the till. The sampled till could have been transported and as a result can have a different composition from that of the underlying bedrock. A granitic bedrock area can, for example, be overlain by a moraine with element assemblage typical of mafic intrusive rocks. Such till tends to have elevated levels of e.g. magnesium in a region of otherwise low magnesium content. These geochemical element patterns largely depend on the ice flow which can be recognised from the glacial striations observed on the surface of the bedrock.

Moraine geochemistry is influenced by bedrock geochemistry, mineralization, the character of the ice movement which deposited the moraine, and the effects that occurred during deglaciation, including water reworking. The whole area is located under the highest coastline. Bedrock is dominated by granitic rocks with lesser amounts of mafic intrusive rocks and felsic to intermediate volcanic rocks. In the northern part of the studied area, calcium (and strontium) content in till is relatively high, derived from Palaeozoic limestone in the Gulf of Bothnia outside Gävle and resulting in till pH between 6 and 8. Elevated concentrations of elements that can be coupled to granitoid and pegmatite parent materials are Al, Au, Ba, Be, Bi, Cd, K, La, Nb, Rb, Sb, Sn, Ta, Th, Tl, U, W and REE. Western part of the studied area is characterised by element associations related to the granitic bedrock. Elements in till normally associated with mafic, ultramafic and silica–poor source rocks are Ag, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Sr, Ti and V. Median values of Co, Ni, P, and Ti are lower than the national median concentrations.

Many mineralisations and old mining sites are known in the area, however, currently there are no active mines in the region. The geochemical maps show relatively good correlation between mineralisations and associated elements (e.g. Ag, Au, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb, Sc, Zn). Anomalies adjacent to known mineralisation are well pronounced in the central part of the studied area, especially north of Österbybruk. Numerous iron oxide mineralisations, predominantly in skarn coincide with Fe, Co, Cr, Mn and V anomalies in till. Approximately 20 km northeast of Tierp an iron oxide mineralization can be a potential source of elevated REE concentrations in till. Zn, Pb, Sb, Tl, As, Ag, Au, Bi, Cd, Cu, Mo, Rb and K anomalies visible on maps north of Norrtälje and towards the coast are in agreement with occurrences of metasedimentary rocks, and iron oxide and sulphide mineralisations hosted by felsic volcanic rocks. High gold concentrations in till (>6 ppb) by the lake Erken, northeast and west of Norrtälje cannot be explained by known mineralisations.

The large number of scattered mafic intrusions complicate the regional geochemical pattern in till, producing commonly small point anomalies with high element concentrations such as Mg, Ni, Cu, Cr, Co and V. Secondary enrichment in many elements occurs in till with high percentage of clay fraction. Therefore, enrichment in some potentially toxic metals (As, Sb, Ni) occurs in regions with deep sedimentary deposits, e.g. near Tierp and east of Norrtälje.

The environmental status of till can be assessed by its relationship to the sensitive land use KM values. There are several locations in Uppland where the allowed element concentrations exceed allowed KM values given by the Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket, Appendix 3). As, Pb and Co are found in several locations with a content above KM (10 ppm, 50 ppm and 15 ppm respectively). Locally, high concentrations above the KM values have been detected for Ba, Cd, Cr, Ni, V and Zn. Most of these high concentrations (e.g. Pb, Co, Cr, V and Zn) can be explained by geogenic factors, such as the type of bedrock and known mineralization. Locally, anthropogenic contamination can be considered, for example near Tierp where intense agriculture is practised in a region with thick deposits of fine-grained sediments. Potential input from sewage sludge can also be considered resulting in elevated concentrations of P, Ni and V.

REFERENSER

Allen R.L., Lundström I., Ripa M., Simeonov A., Christofferson H., 1996: Facies analysis of a 1.9 Ga, continental margin, back-arc, felsic caldera province with diverse Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sulfide and Fe oxide deposits, Bergslagen Region, Sweden. *Economic Geology 91*, 979–1 008.

Andersson, M., 2004: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment i Trestadsregionen. *Sveriges geologiska undersökning Gk 3*, 101 s.

Andersson, M., 2006: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment från Varberg till Lidköping. *Sveriges geologiska undersökning K 45*, 168 s.

Andersson, M., Carlsson, M., Ladenberger, A., Morris, G., Sadeghi, M. & Uhlbäck, J., 2014: *Geokemisk atlas över Sverige*. Sveriges geologiska undersökning ISBN 978-91-7403-258-1.

Andersson, M., Jelinek, C., Ohlsson, S.-Å. & Selinus, O., 2007: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment i Östra Mälardalen med Stockholm. *Sveriges geologiska undersökning K 77*, 157 s.

Antal I., Bergman S., Gierup J., Persson C., Thunholm B., Stephens M. & Johansson R., 1998: Översiktsstudie av Uppsala län, Geologiska förutsättningar. *Rapport R-98-32*, Svensk Kärnbränslehantering AB, 56 sidor.

Bouchard, M.A. & Salonen, V.-P., 1990: Boulder transport in shield areas. *I* R. Kujansuu, M. Saarnisto & A.A. Balkema: *Glacial Indicator Tracing.* Rotterdam, 87–107.

Carlsson, M., Lax K., Andersson M., 2009: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän Regionen Heby - Enköping - Uppsala. *Sveriges geologiska undersökning K 224*, 78 s.

Ek, A., Löfgren, S., Bergholm, J. & Qvarfort, U., 2001: Environmental effects of one thousand years of copper production at Falun, central Sweden. *Ambio 30*, 2, 96–103.

Hallberg, A., Bergman, T., Gonzalez, J., Larsson, D., Morris, G.A., Perdahl, J.A., Ripa, M., Niiranen, T. & Eilu, P., 2012: Metallogenetic areas in Sweden. *Geological Survey of Finland Special Paper 53*, 139–206.

Holmberg, J., 2006: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment i Örebro län. *Sveriges geologiska undersökning K 41*, 75 s.

Karppanen, H., 2002: Epidemiological studies on the relationship between magnesium intake and cardiovascular diseases. *The Magnesium Web Site*, <www.mgwater.com/estudies.shtml>. Åtkommen 23 september 2020.

Koljonen, T. (red.), 1992: *The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till*. Geological Survey of Finland, Espoo.

Krüger, J., 1979: Structures and textures in till indicating subglacial deposition. *Boreas 8*, 323–340.

Kurttio, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J., Mäkeläinen, I., Väisänen, S.B., Penttilä, I.M. & Komulainen, H., 2002: Renal effects of uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives 110*, 337–342.

Lax, K. & Selinus, O., 2005: Geochemical mapping at the Geological Survey of Sweden. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 5*, 337–346.

Morris, G., Ladenberger, A., Snöälv, J. & Larsson, N., 2020: Geokemisk analys av morän genom uppslutning med salpetersyra (HNO_3). *SGU-rapport: 2020:15*, Sveriges geologiska undersökning,12 s.

Naturvårdsverket, 2008: *Tabell över generella riktvärden för förorenad mark*. Ersätter tidigare utgivna. <http//:www.naturvardsverket.se>. Publicerat 24 oktober 2008.

Perttunen, M., 1991: The transport of till in southern Finland. *Geological Survey of Finland Special Paper 9*, 79–86.

Peterson, G. & Smith, C.A., 2013: Beskrivning av enheter i den geomorfologiska databasen över Sverige. *SGU-rapport 2013:3*, Sveriges geologiska undersökning, 18 s.

Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. & O'Connor, P. (red.), 2014: Chemistry of Europe's agricultural soils – Part A: Methodology and interpretation of the GEMAS data set. *Geologisches Jahrbuch Reihe B102*, 528 s.

Rosborg, I., Nihlgård, B. & Gerhardsson, L., 2003: Mineralämnen och metaller i 20 kommunala dricksvatten i södra Sverige. *VA-Forsk Rapport 2003-17*, 64 s.

Sarala, P., 2006: Ribbed moraine stratigraphy and formation in southern Finnish Lapland. *Journal of Quaternary Science 21*, 387–398.

Selinus, O., Alloway. B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U. & Smedley, P. (red.), 2005: *Essentials of medical geology. Impacts of the natural environment on public health*. Elsevier Academic Press, 812 s.

Sohlenius, G., Lax, K. & Ladenberger, A., 2009: Kan SGUs data användas för att uppskatta moränens transportlängd? *SGU-rapport 2009:26*, Sveriges geologiska undersökning, 25 s.

Stephens M B., Ripa M., Lindström I., Persson L., Bergman T., Ahl M., Wahlgren C-H., Persson P-O., Wickström L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58*, 259s.

Stephens, M.B. & Andersson, J. 2015: Migmatization related to mafic underplating and intra- or back-arc spreading above a subduction boundary in a 2.0–1.8 Ga accretionary orogen, Sweden. *Precambrian Research, volume 264*, 235–257, doi: /10.1016/j.precamres.2015.04.019

Wastenson, L. & Fredén, C. (red), 1994: *Sveriges Nationalatlas, Berg och Jord*. SNA, 208 s.

Tauber, C., 1988: *Sprunelemente in Flugaschen*. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, Germany, 469 s.

Wik N-G., Stephen M. & Sundberg A., 2006: Malmer, industriella mineral och bergarter i Uppsala län. *Rapporter och Meddelanden 124*, Sveriges Geologiska Undersökning, 225 s.

Wik, N-G., Stephens M B., Sundberg A., 2004: Malmer, industriella mineral och bergarter i Stockholms län. *Rapporter och meddelanden 117*, Sveriges geologiska undersökning, 146 s.

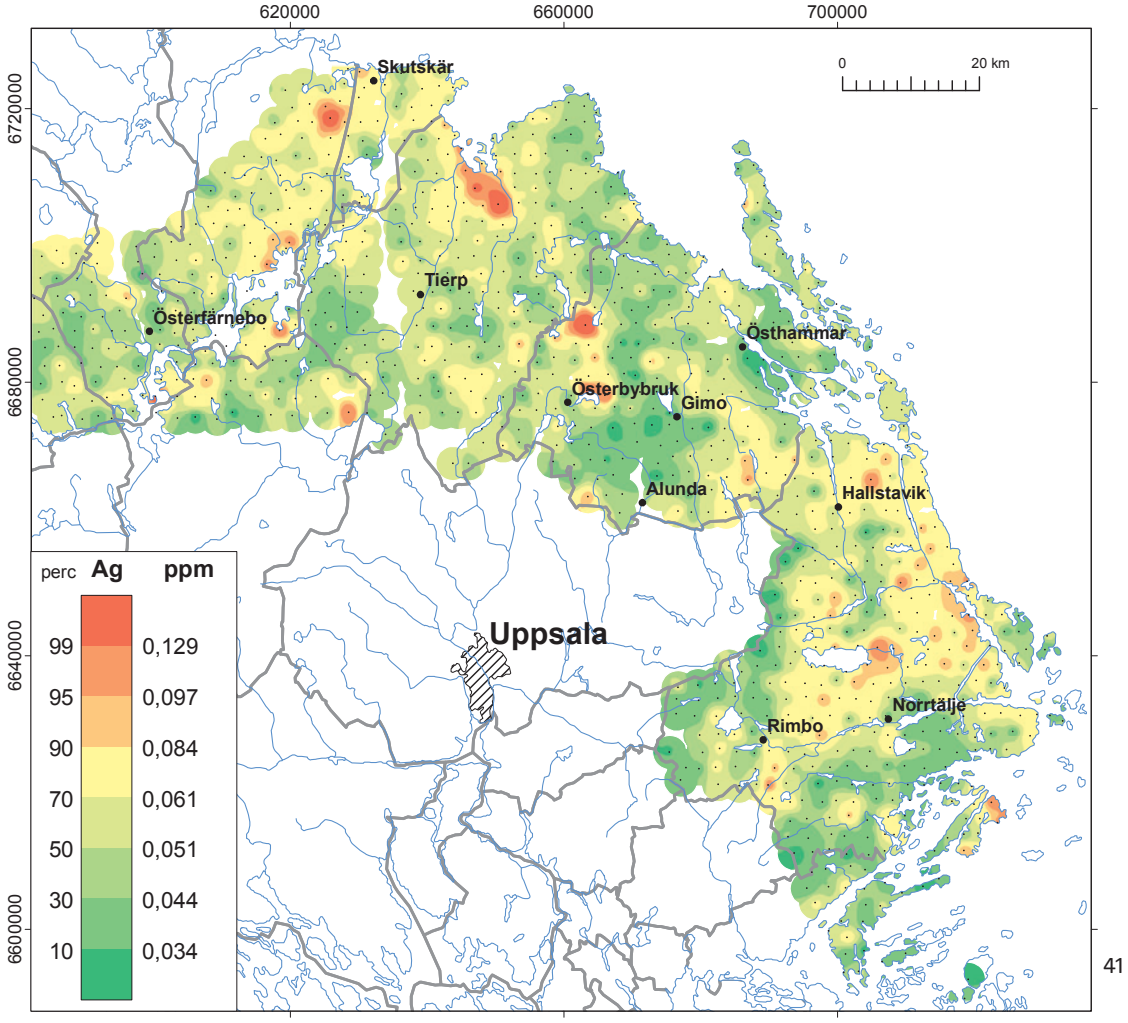
BILAGA 1. REGIONALA MARKGEOKEMISKA KARTOR

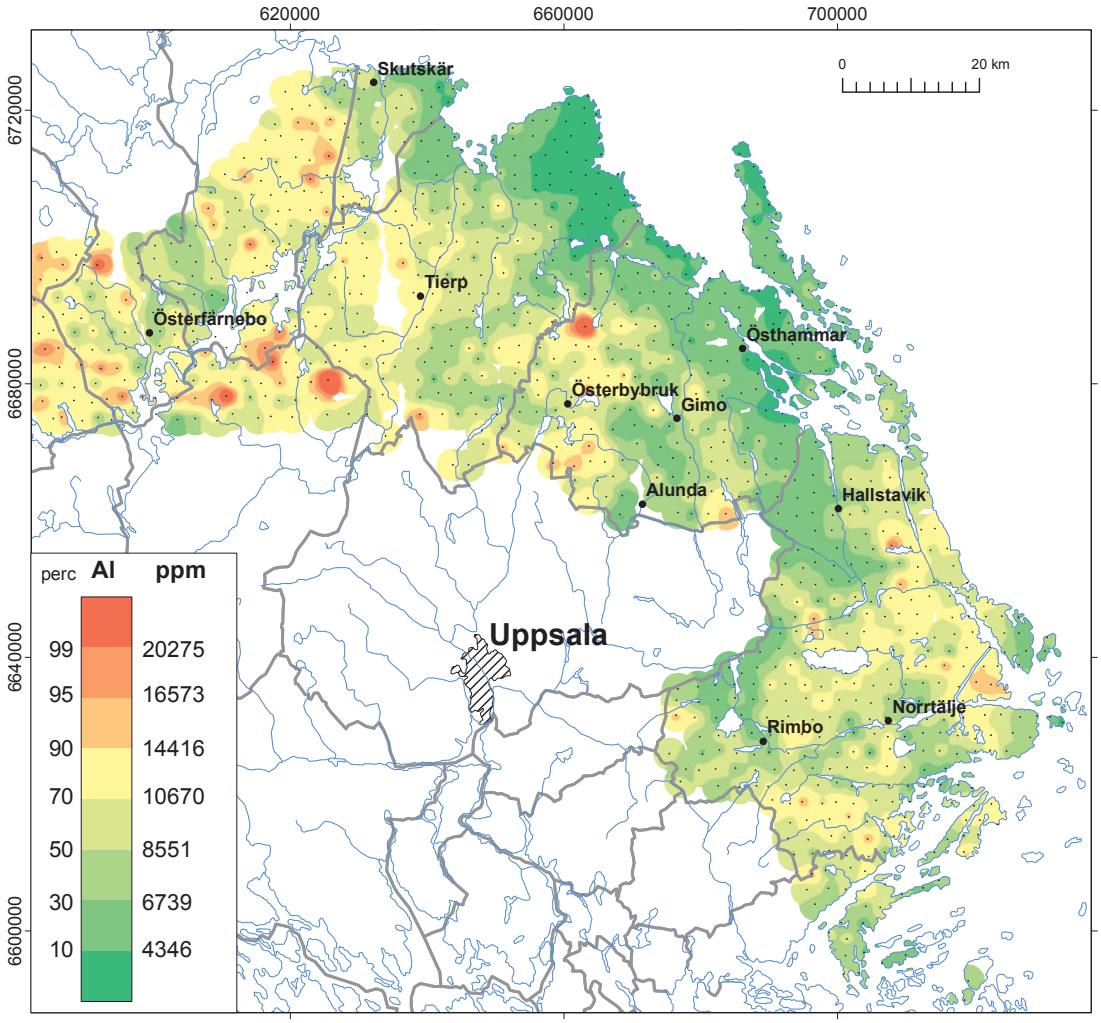
Regional geochemical maps of till and other sediments

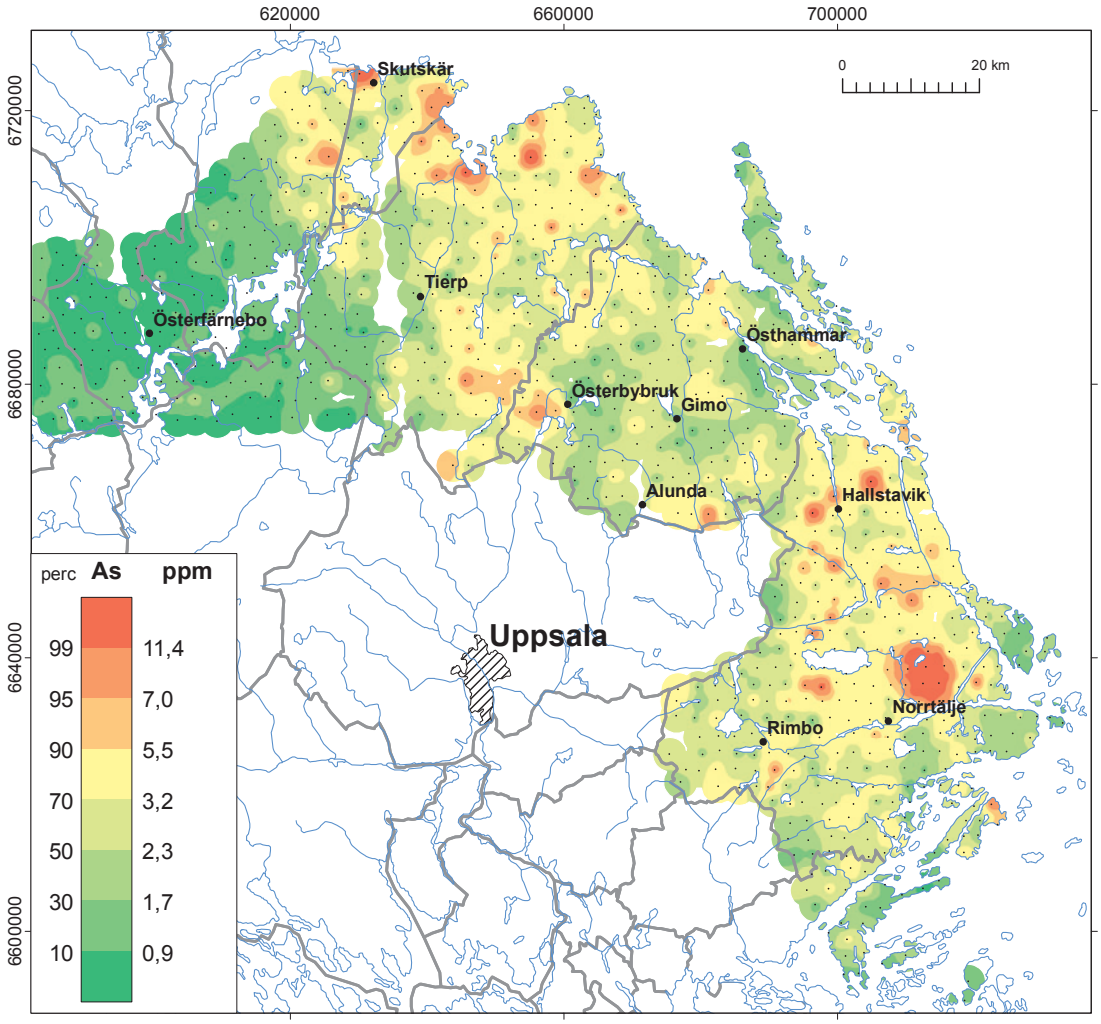
Bilagan omfattar kartor över förekomst av huvud- och spårelement samt pH i morän (57 st.) och sediment (53 st.), provtagna enligt SGUs regionala markgeokemiska metod. De femtiosju första kartorna visar morändata som interpolerats över den provtagna ytan. Därefter följer sedimentkartorna som visar varje provtagen punkts analysvärde.

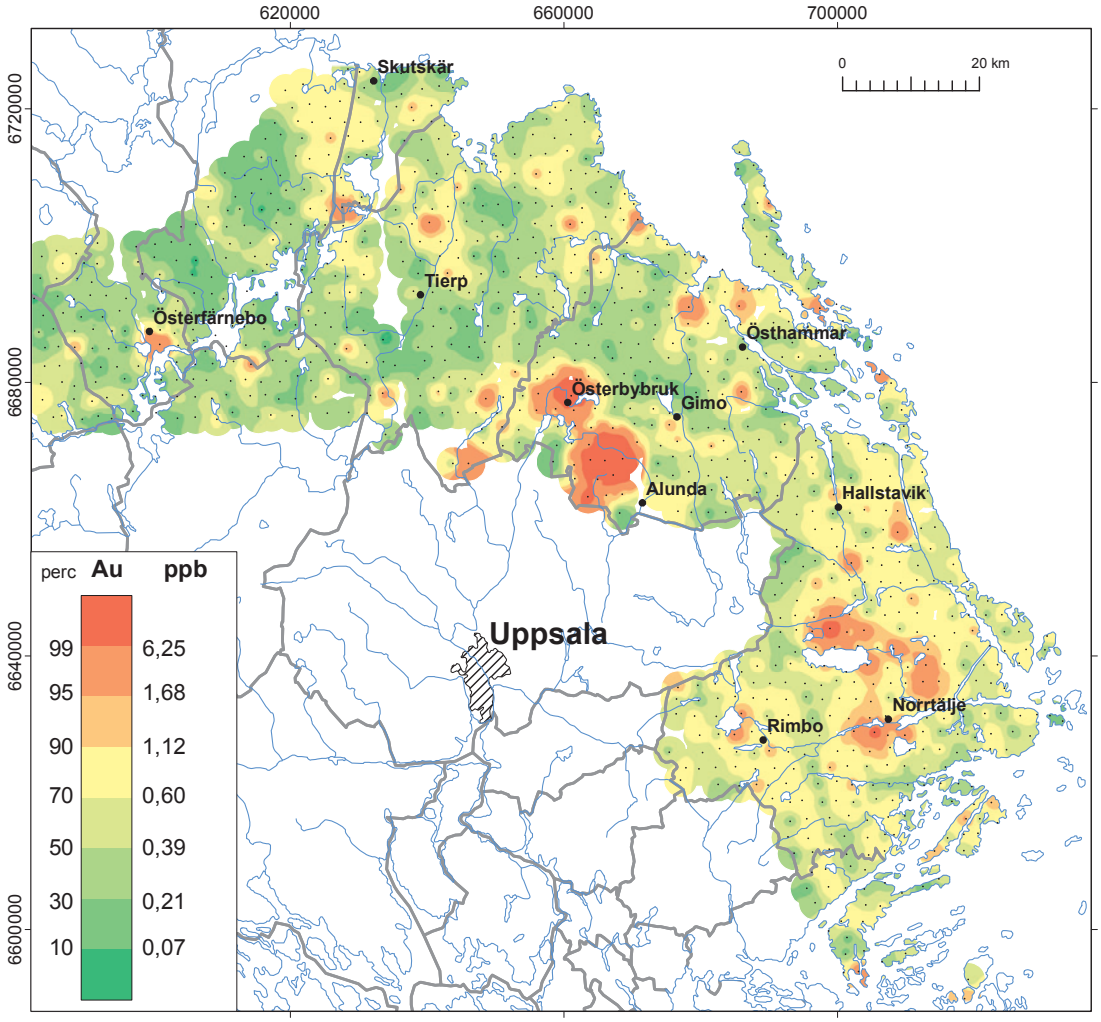
Baserade på analysresultatet för morän efter lakning med 7M salpetersyra, presenteras kartor över Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr. Moränproven lakas även med kungsvatten och kartor finns av Au, Sb, Ta och Te. Baserade på analysresultatet för sediment efter lakning med 7M salpetersyra, presenteras kartor över Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn och Zr. Kartor över pH-mätningar i morän respektive sediment baseras på prov uppslammat i avjoniserat vatten.

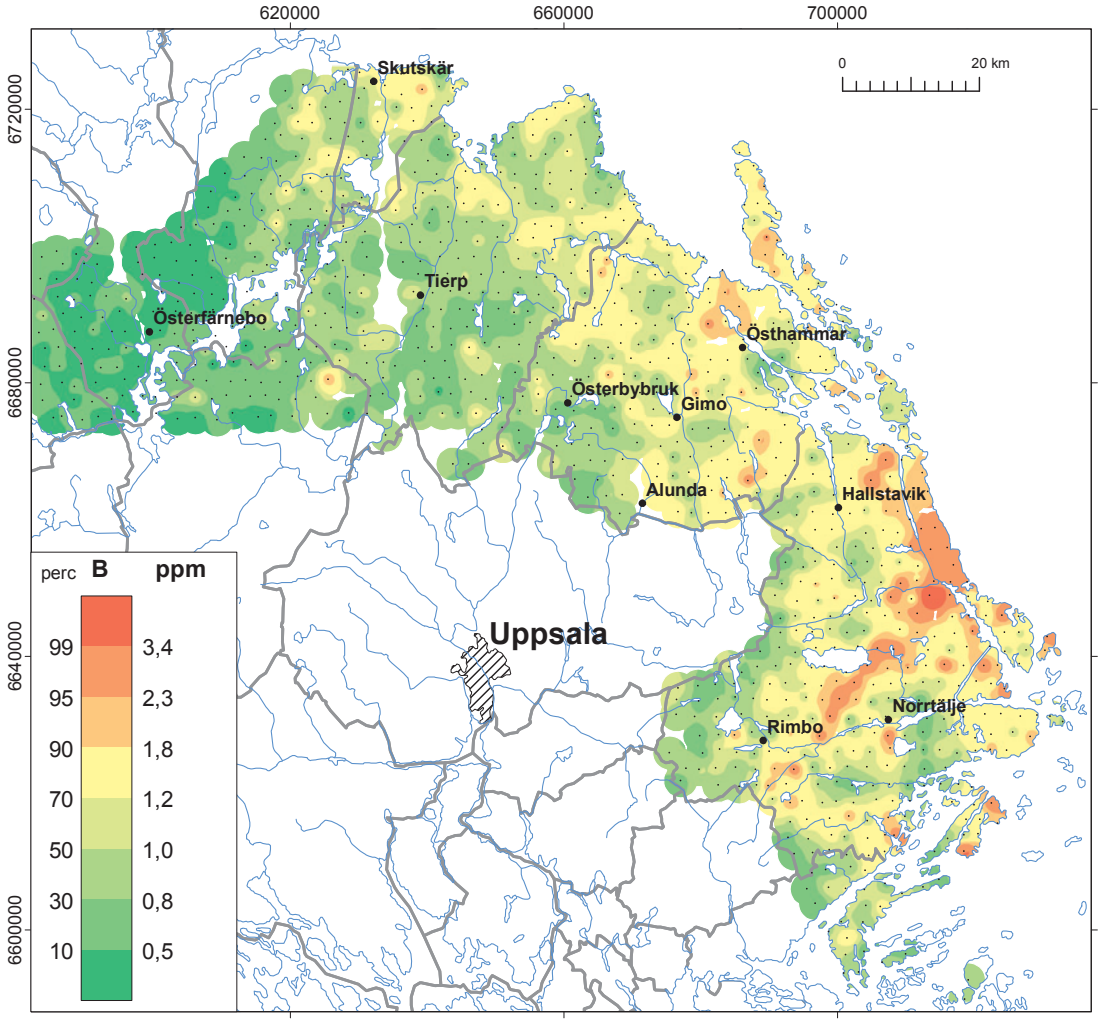
Förekomst av huvud- och spårelement samt pH i morän

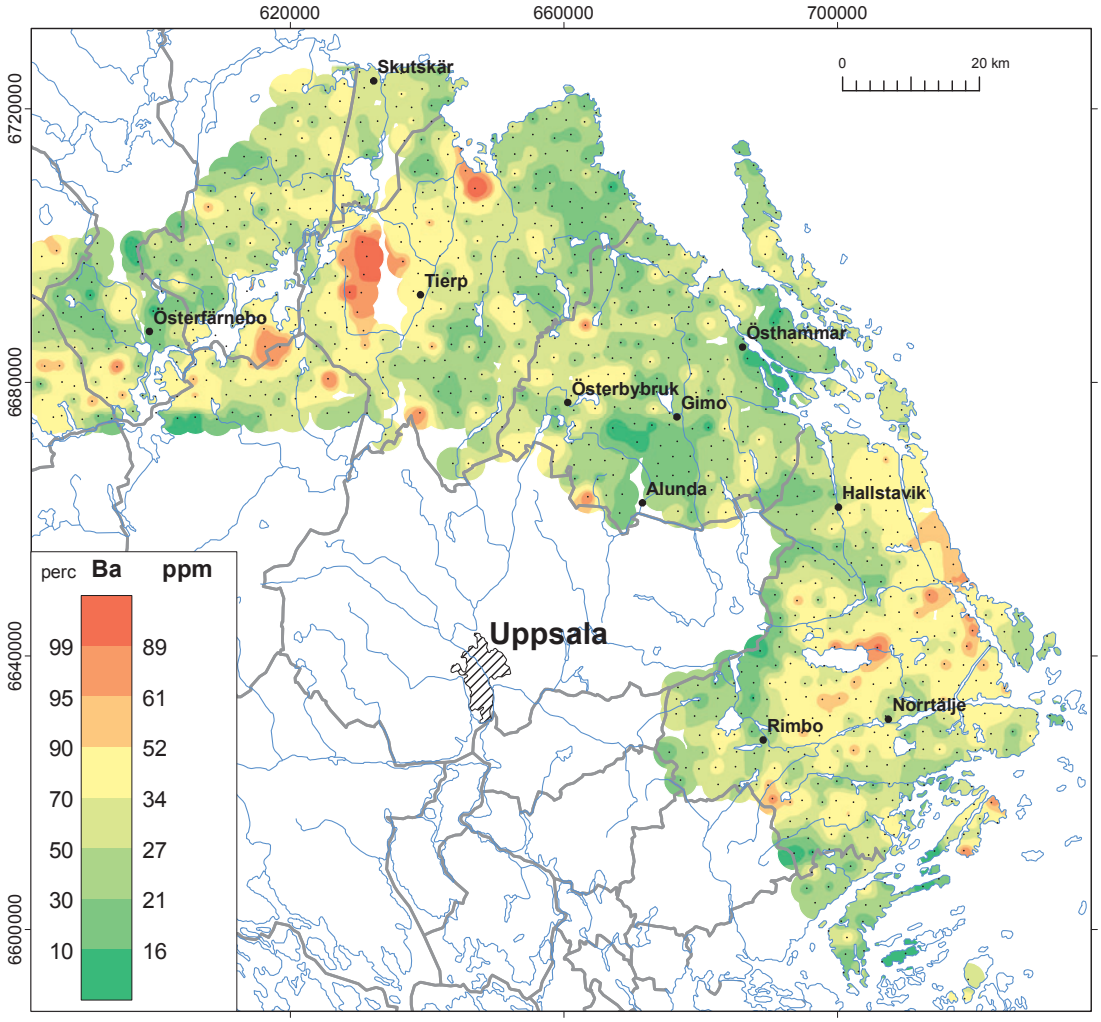


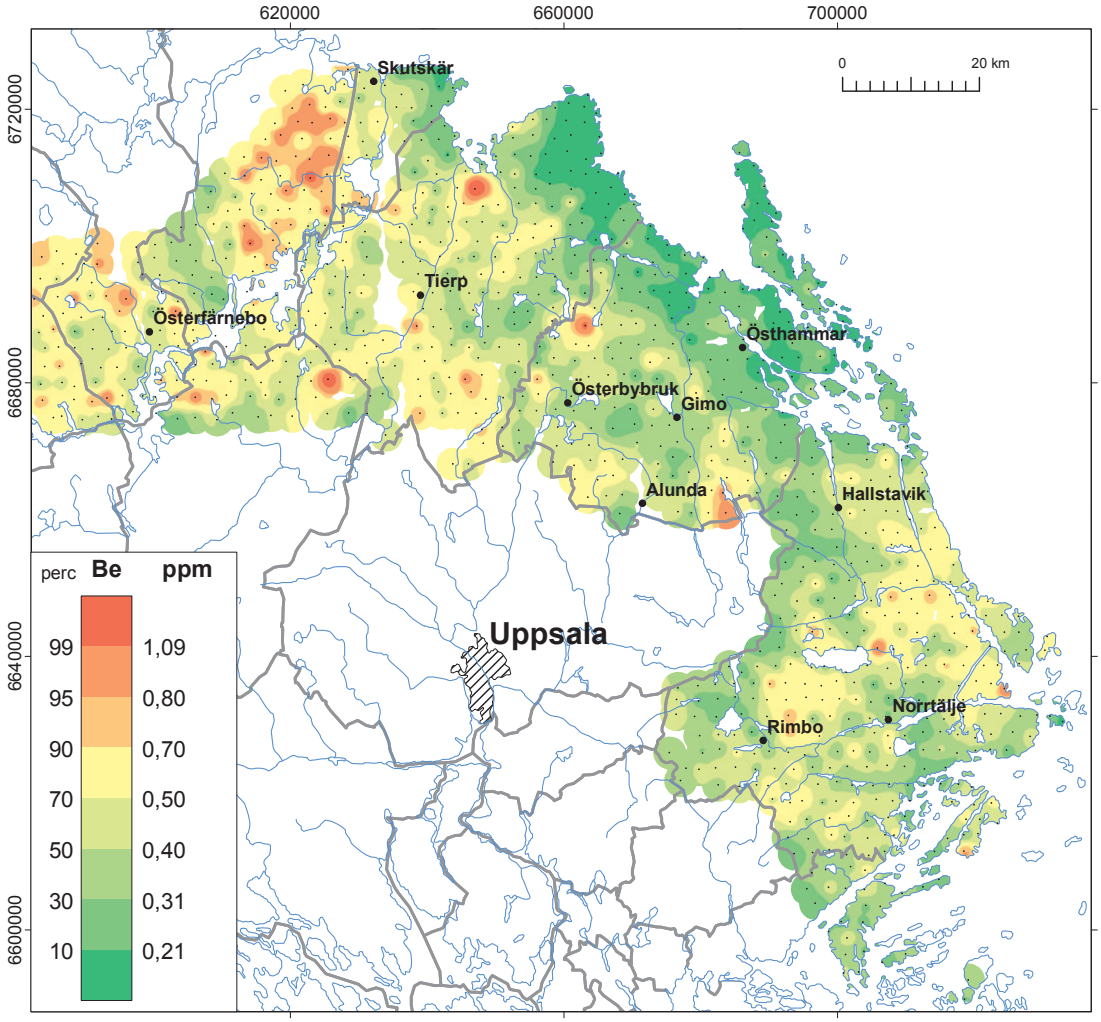

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Al ppm
99 20275
95 16573
90 14416
70 10670
50 8551
30 6739
10 4346

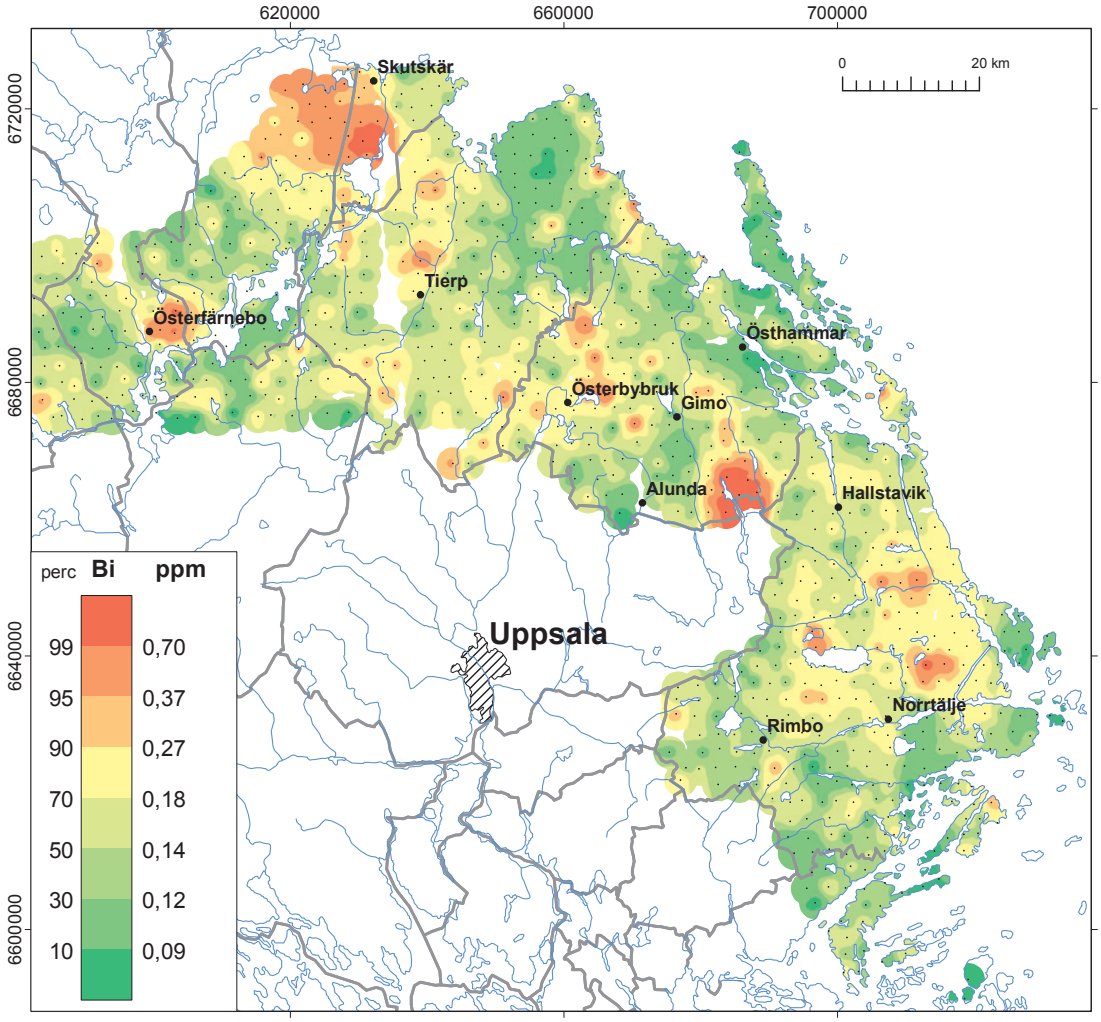

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc As ppm
99 11,4
95 7,0
90 5,5
70 3,2
50 2,3
30 1,7
10 0,9

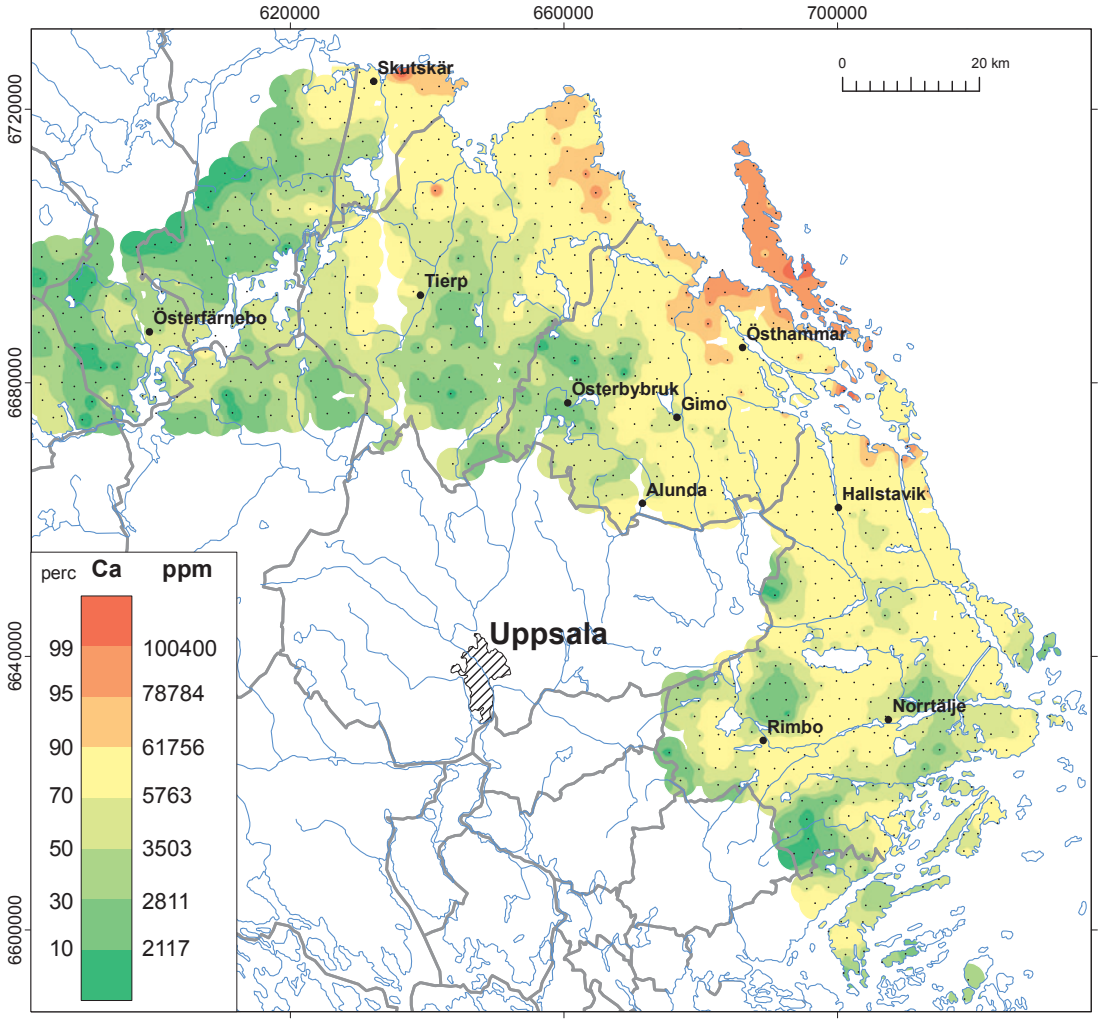

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Au ppb
99 6,25
95 1,68
90 1,12
70 0,60
50 0,39
30 0,21
10 0,07

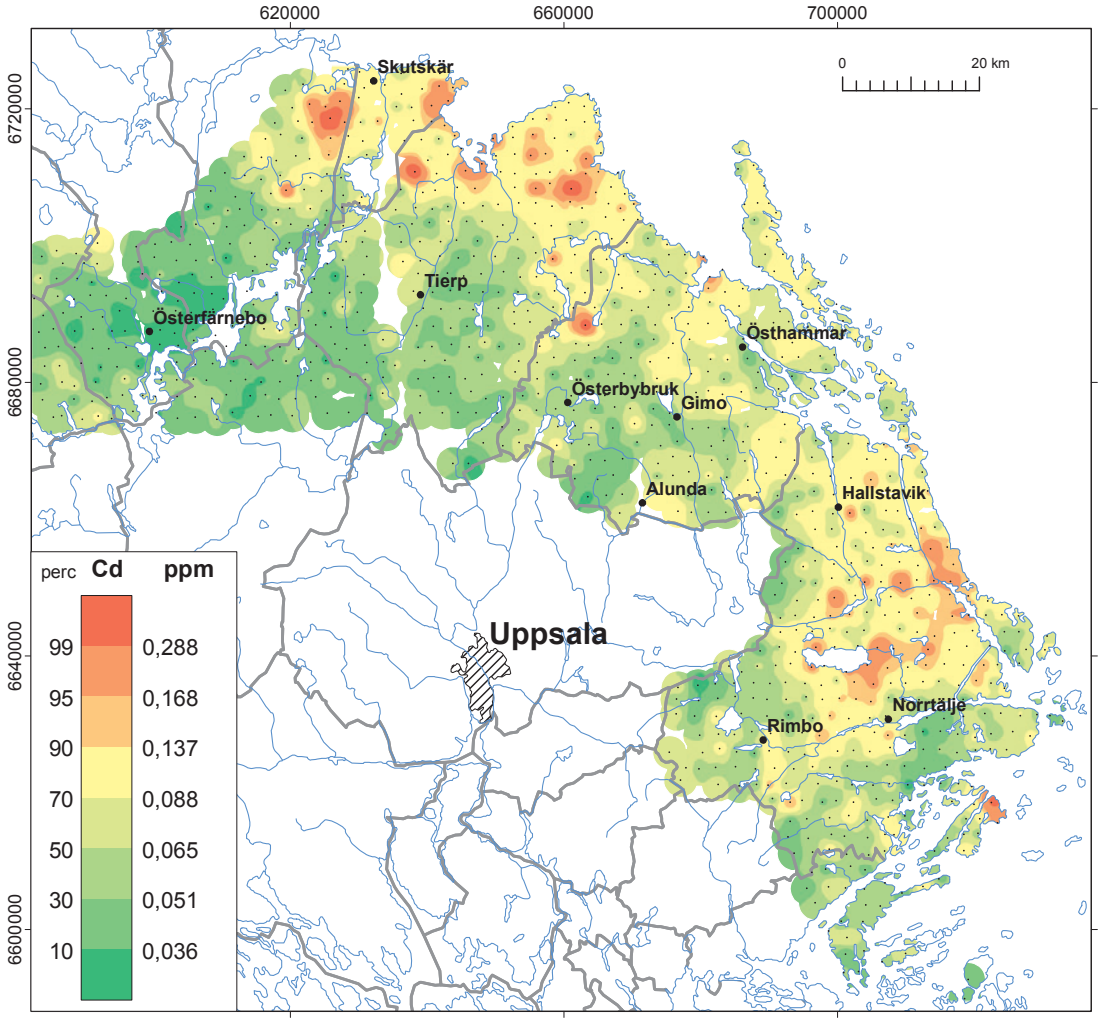

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc B ppm
99 3,4
95 2,3
90 1,8
70 1,2
50 1,0
30 0,8
10 0,5

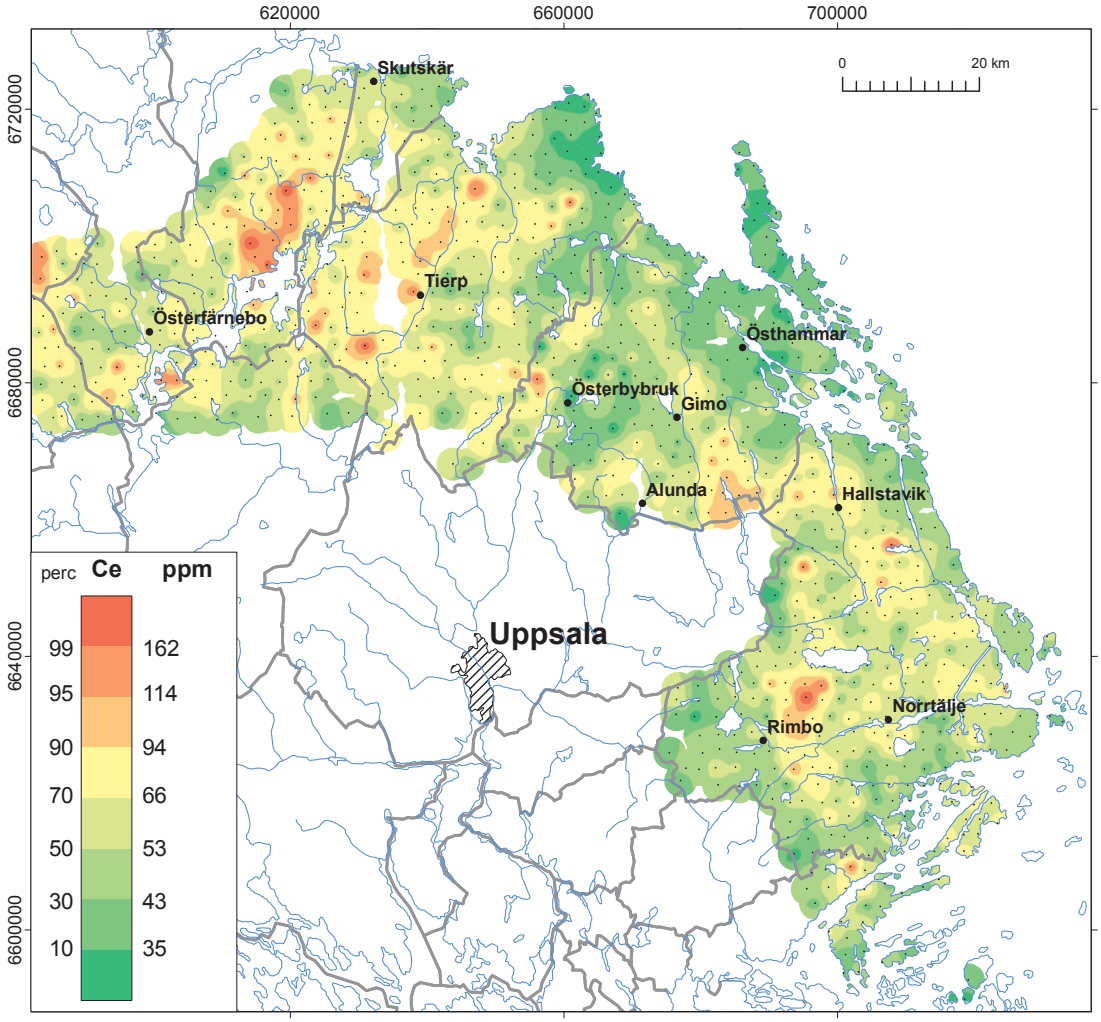

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ba ppm
99 89
95 61
90 52
70 34
50 27
30 21
10 16

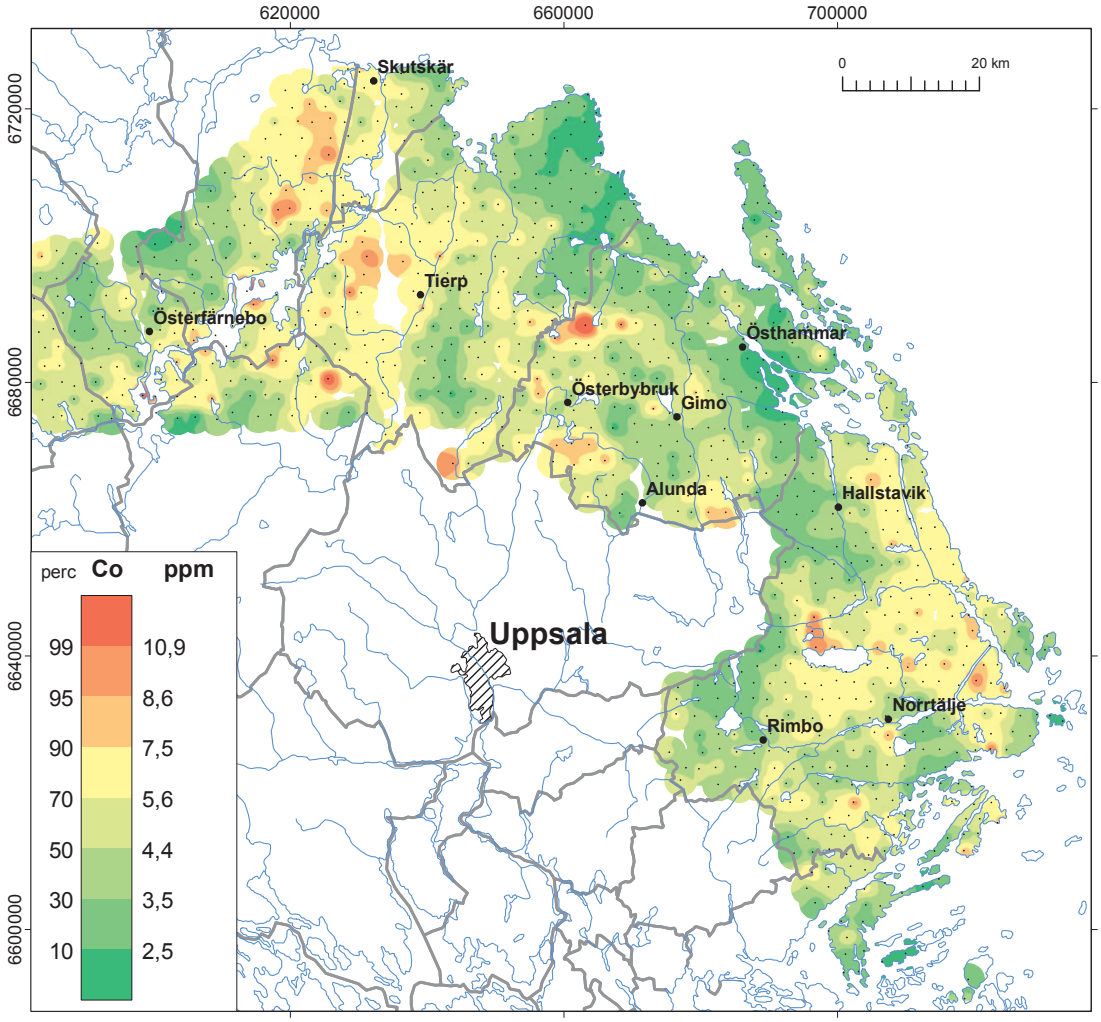

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Be ppm
99 1,09
95 0,80
90 0,70
70 0,50
50 0,40
30 0,31
10 0,21

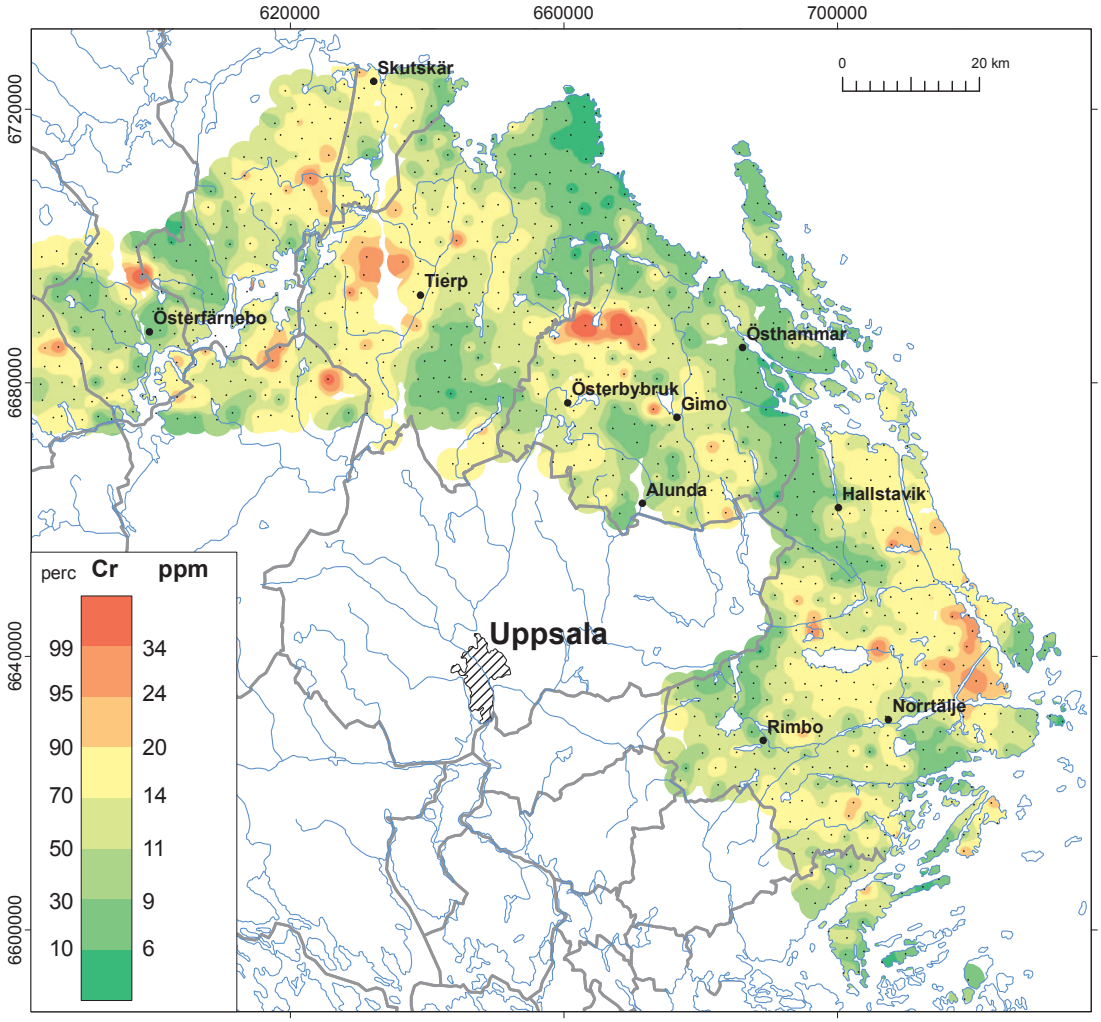

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Bi ppm
99 0,70
95 0,37
90 0,27
70 0,18
50 0,14
30 0,12
10 0,09

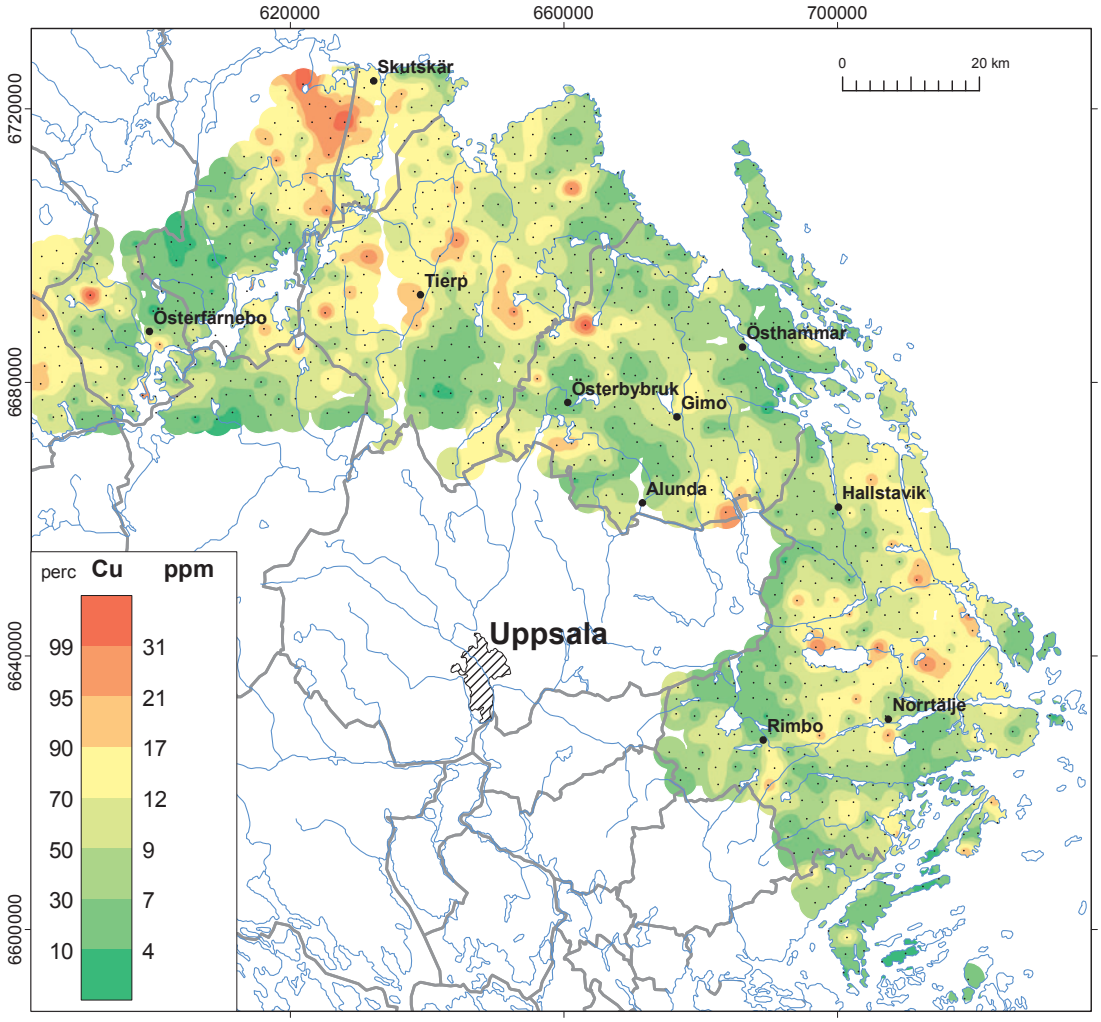

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ca ppm
99 100400
95 78784
90 61756
70 5763
50 3503
30 2811
10 2117

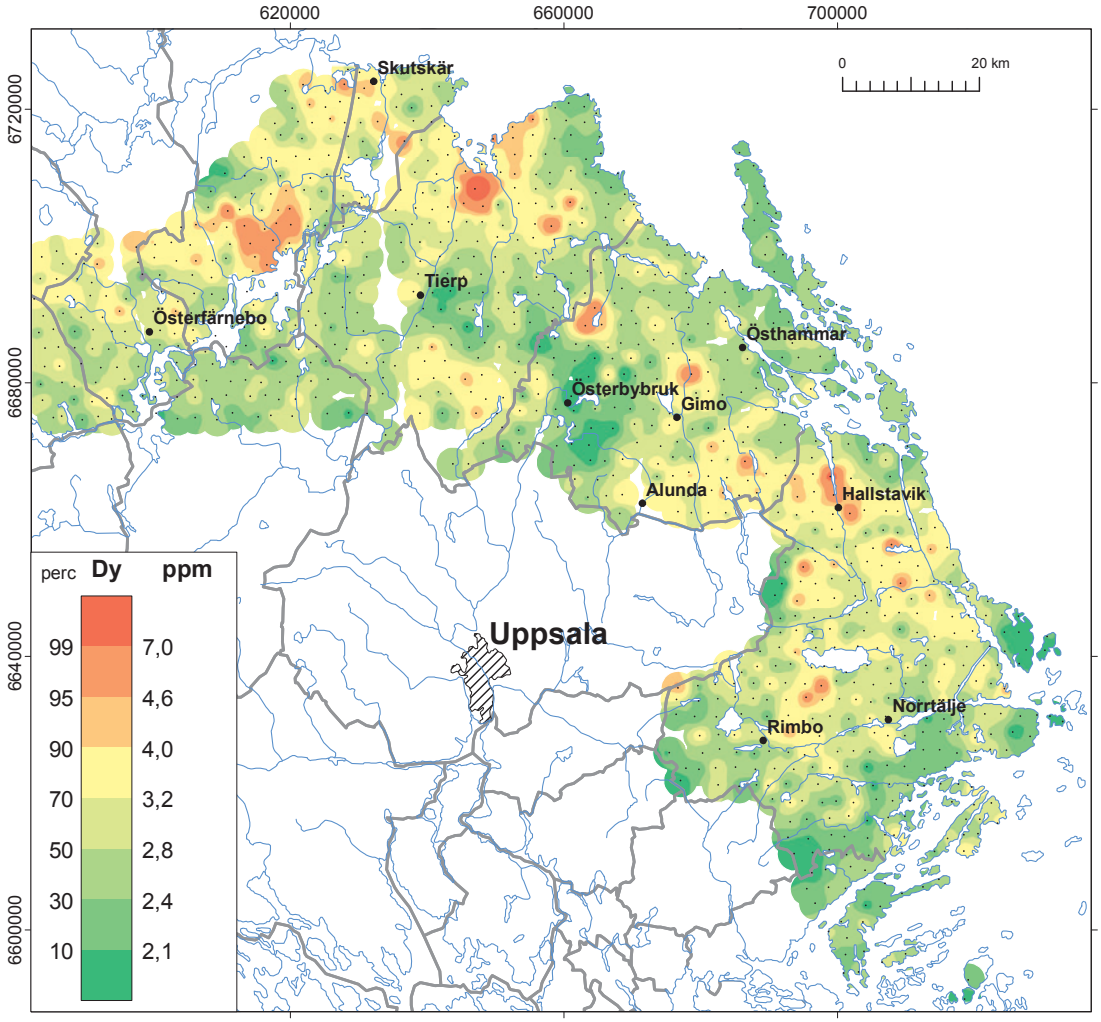

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Cd ppm
99 0,288
95 0,168
90 0,137
70 0,088
50 0,065
30 0,051
10 0,036

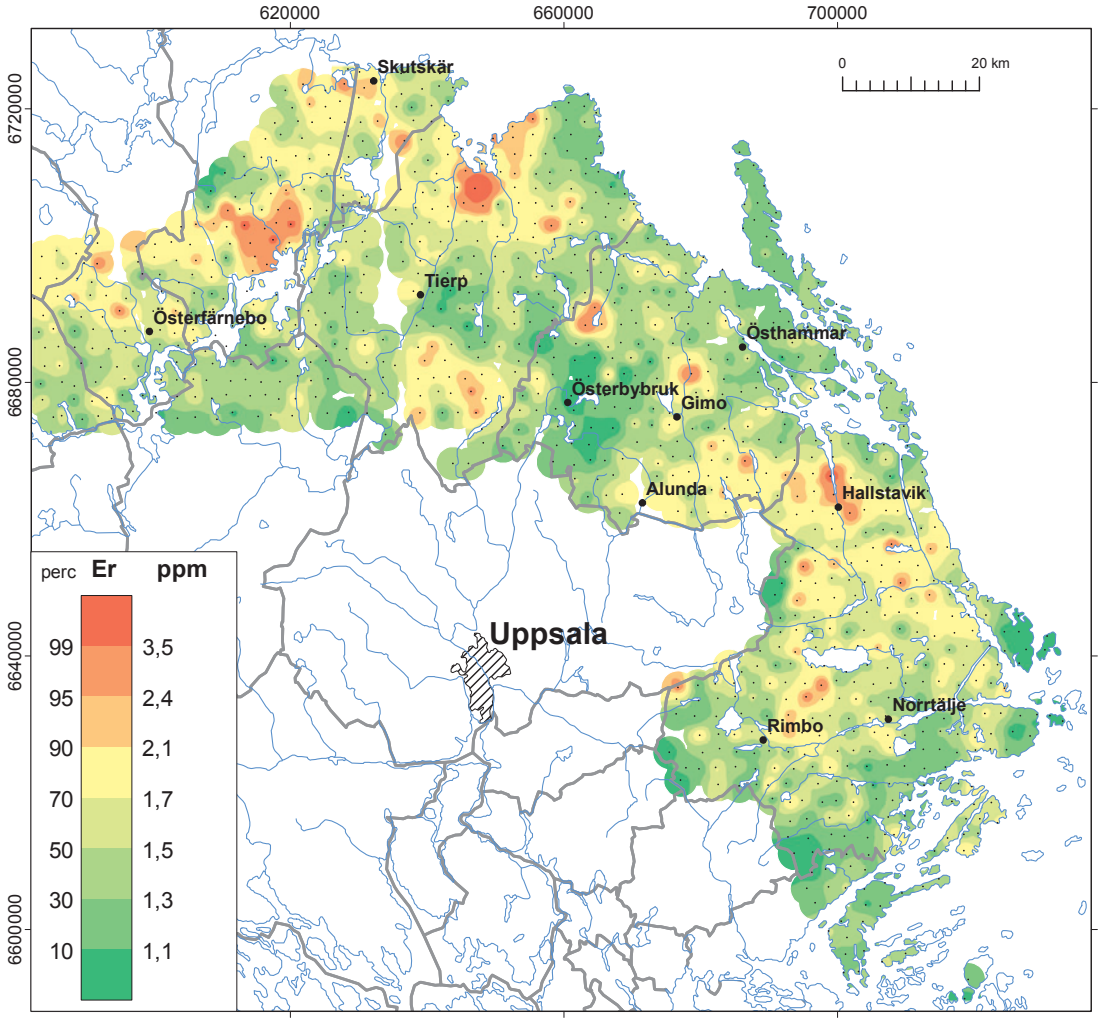

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ce ppm
99 162
95 114
90 94
70 66
50 53
30 43
10 35

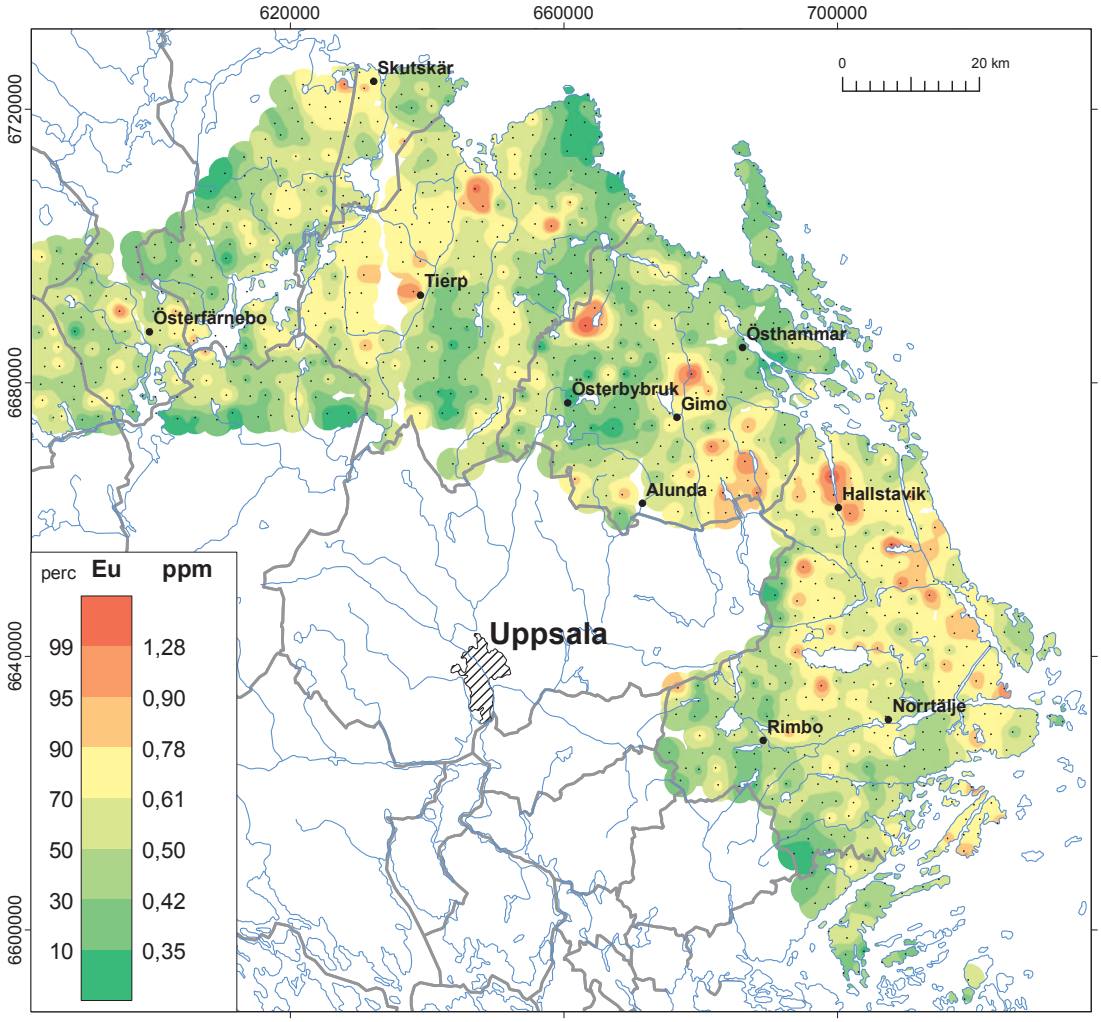

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Co ppm
99 10,9
95 8,6
90 7,5
70 5,6
50 4,4
30 3,5
10 2,5

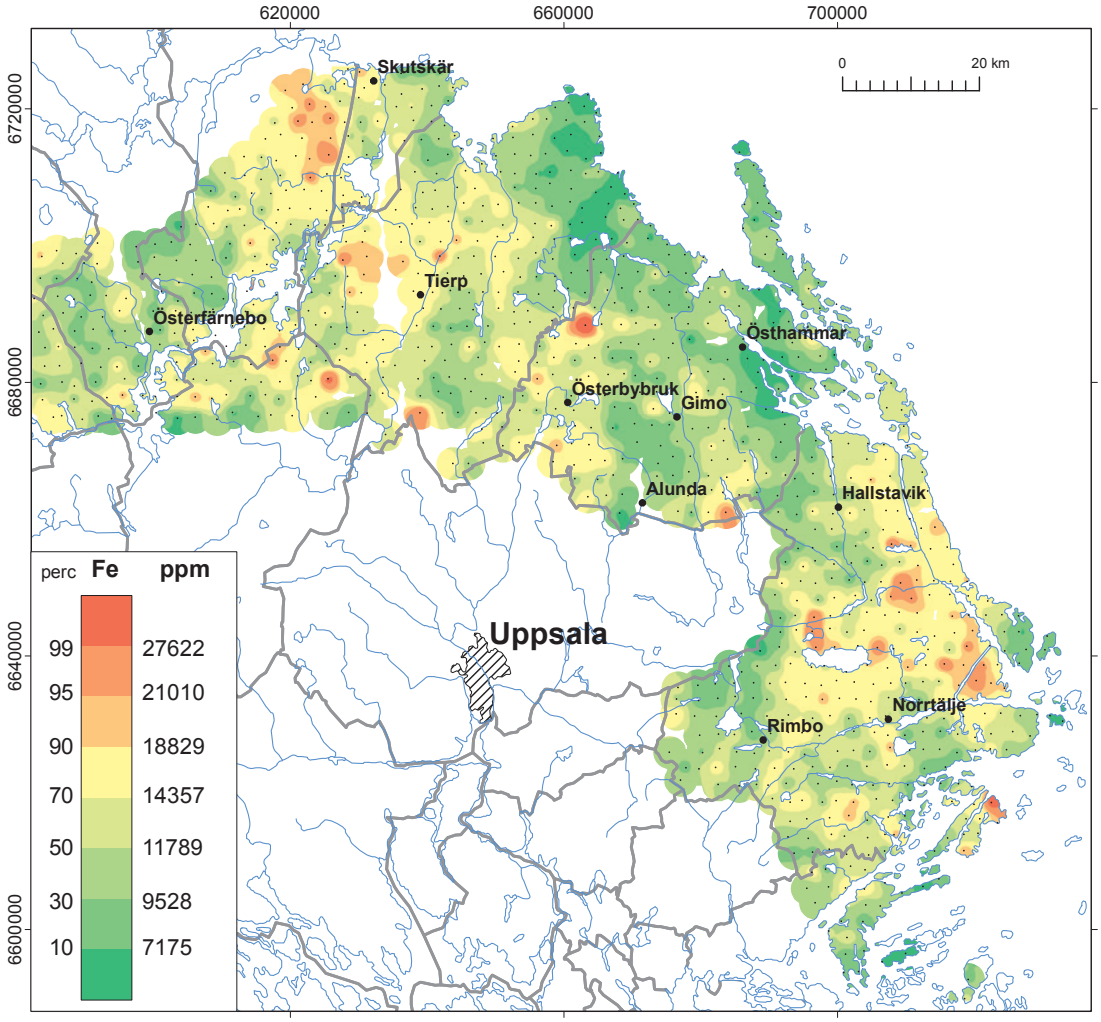

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Cr ppm
99 34
95 24
90 20
70 14
50 11
30 9
10 6

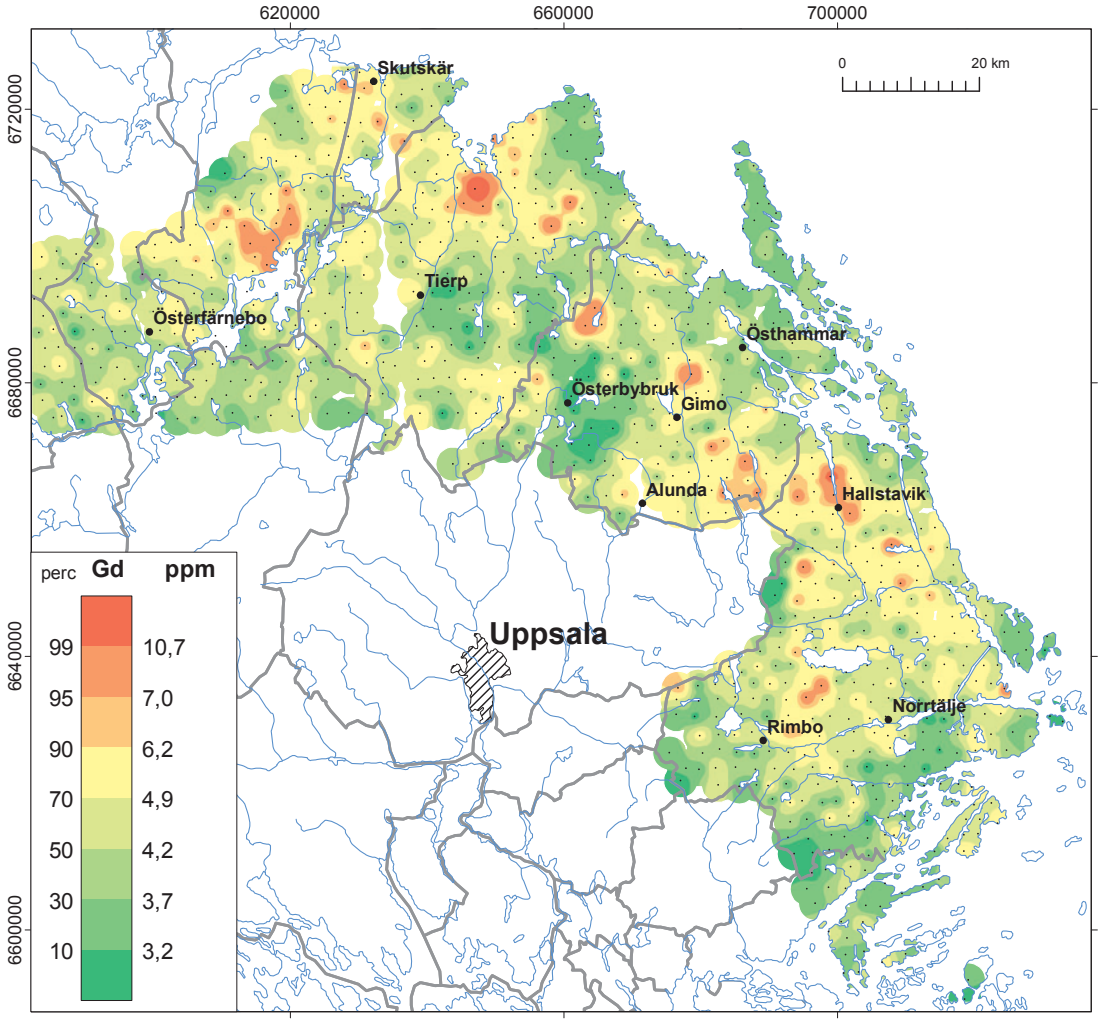

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Cu ppm
99 31
95 21
90 17
70 12
50 9
30 7
10 4

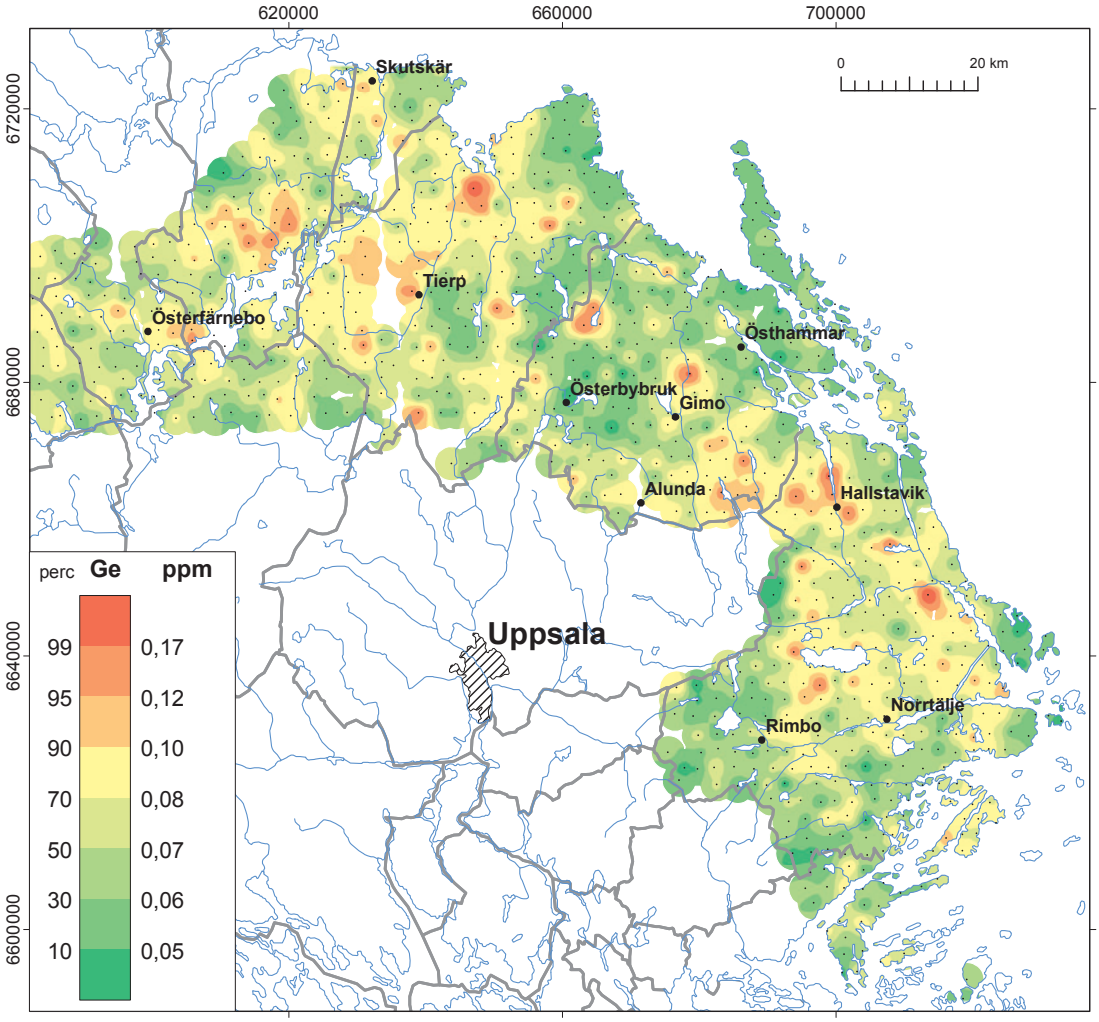

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Dy ppm
99 7,0
95 4,6
90 4,0
70 3,2
50 2,8
30 2,4
10 2,1

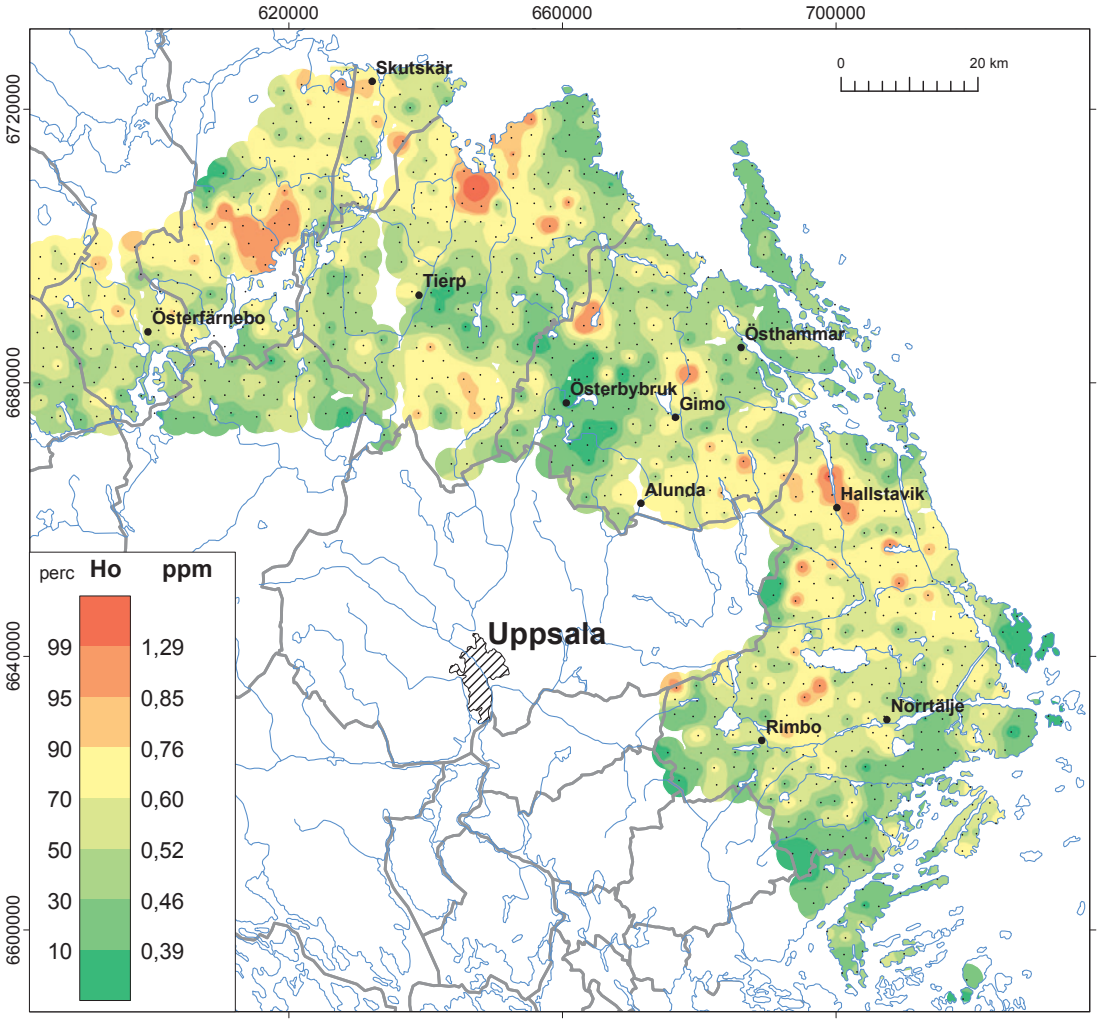

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Er ppm
99 3,5
95 2,4
90 2,1
70 1,7
50 1,5
30 1,3
10 1,1

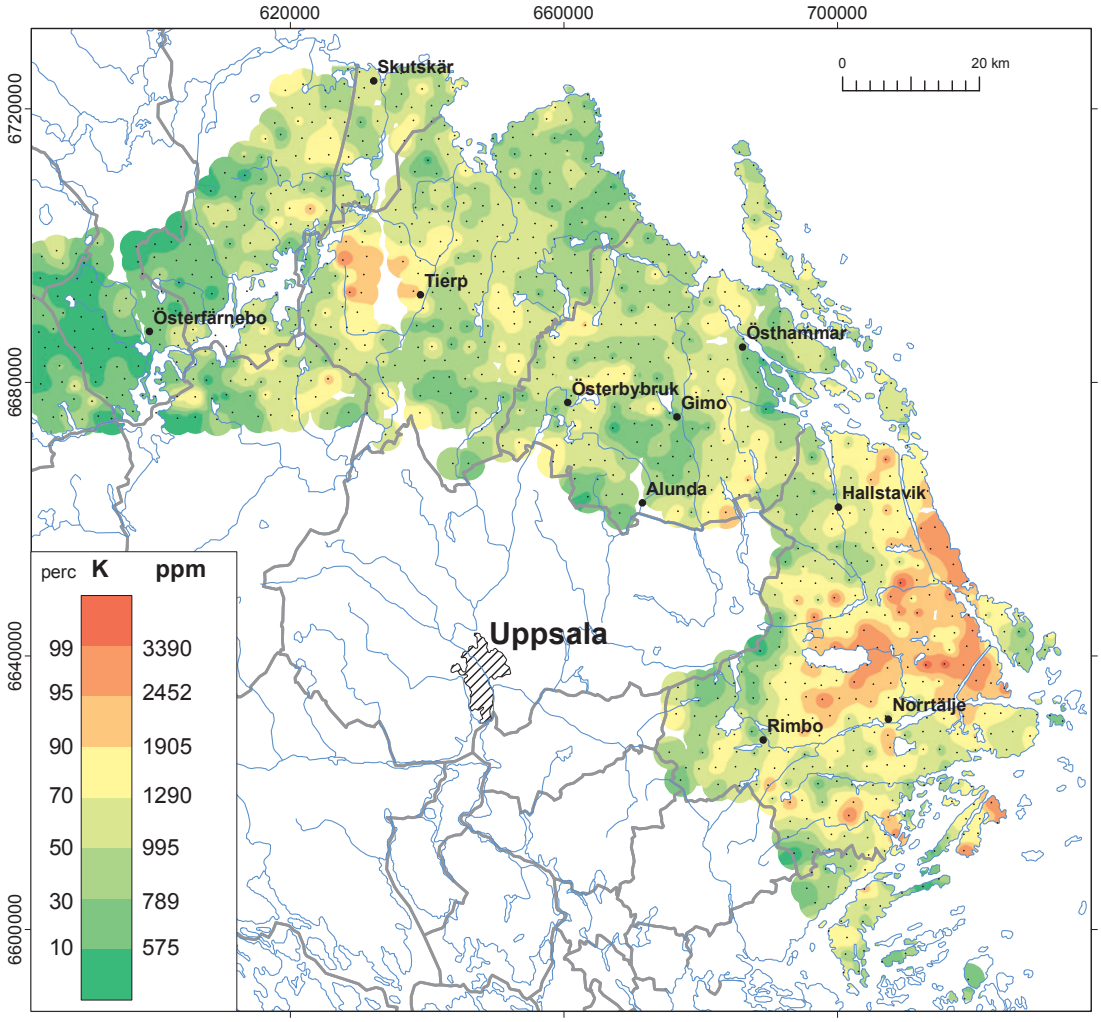

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Eu ppm
99 1,28
95 0,90
90 0,78
70 0,61
50 0,50
30 0,42
10 0,35

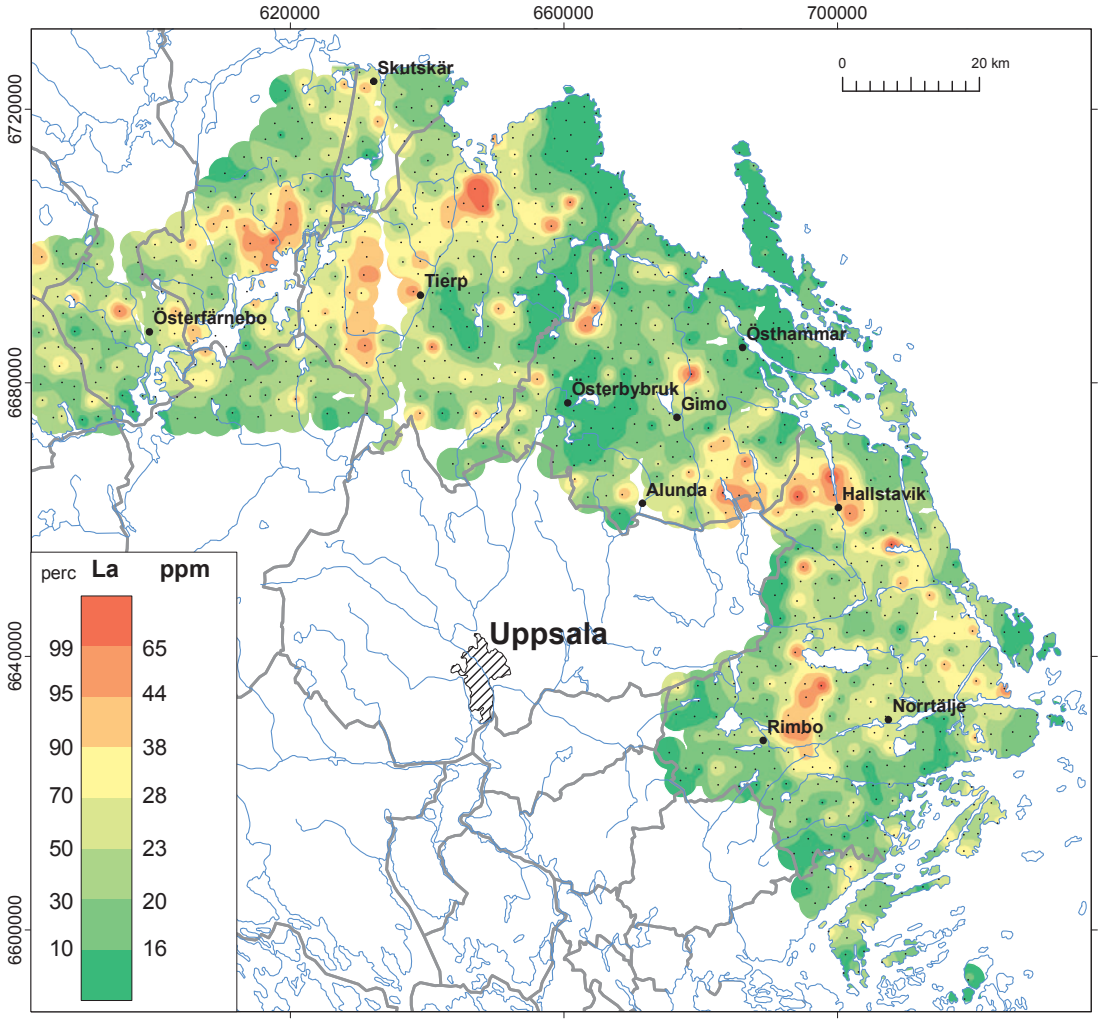

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Fe ppm
99 27622
95 21010
90 18829
70 14357
50 11789
30 9528
10 7175

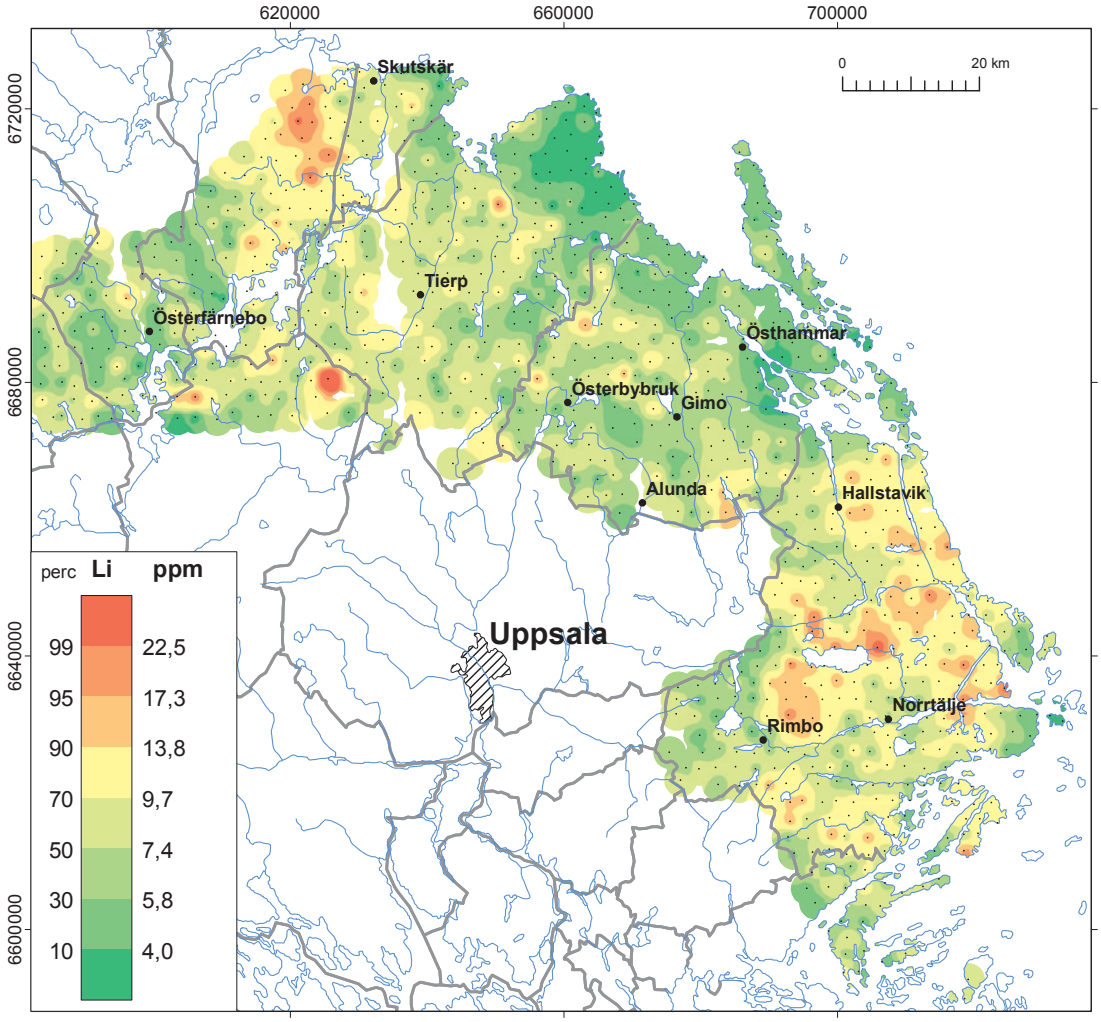

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Gd ppm
99 10,7
95 7,0
90 6,2
70 4,9
50 4,2
30 3,7
10 3,2

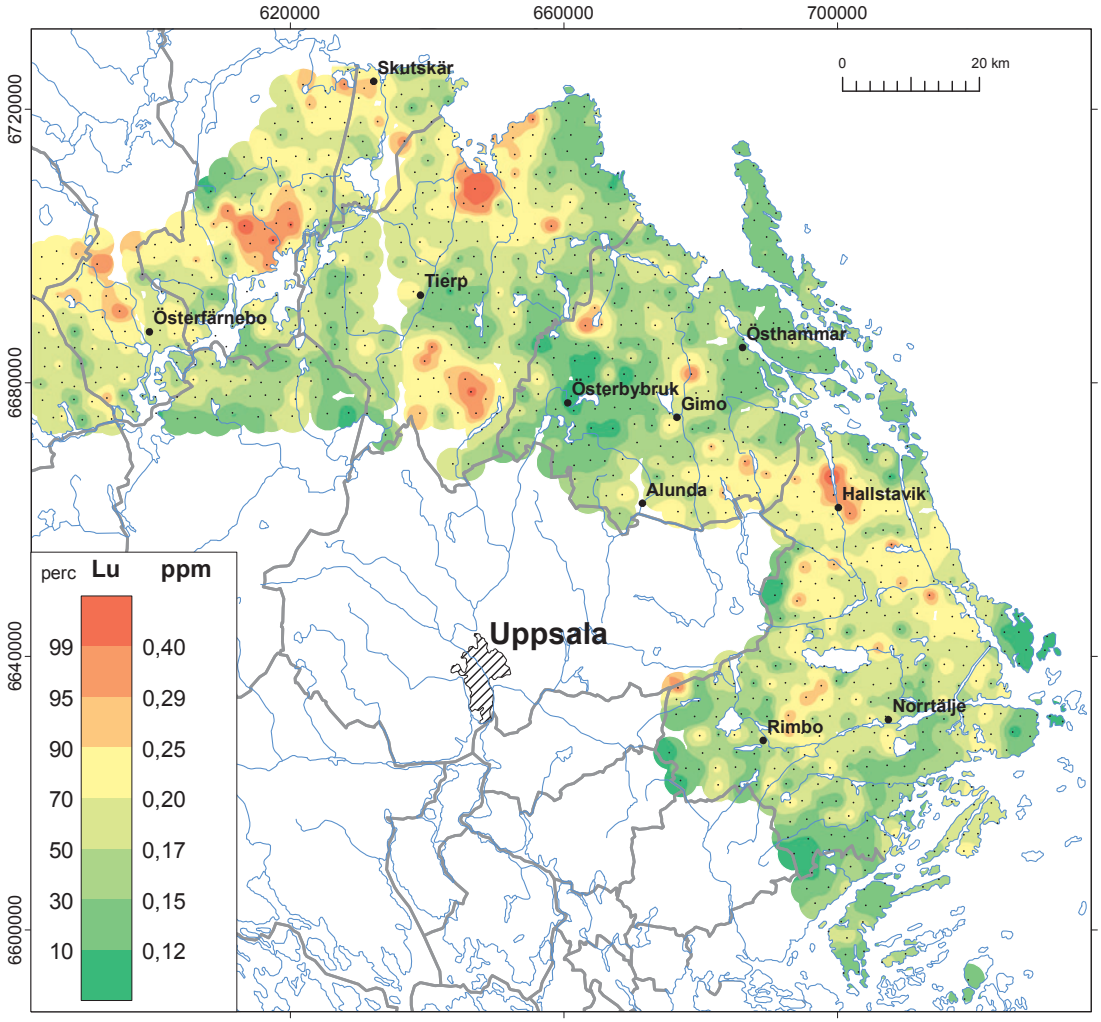

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ge ppm
99 0,17
95 0,12
90 0,10
70 0,08
50 0,07
30 0,06
10 0,05

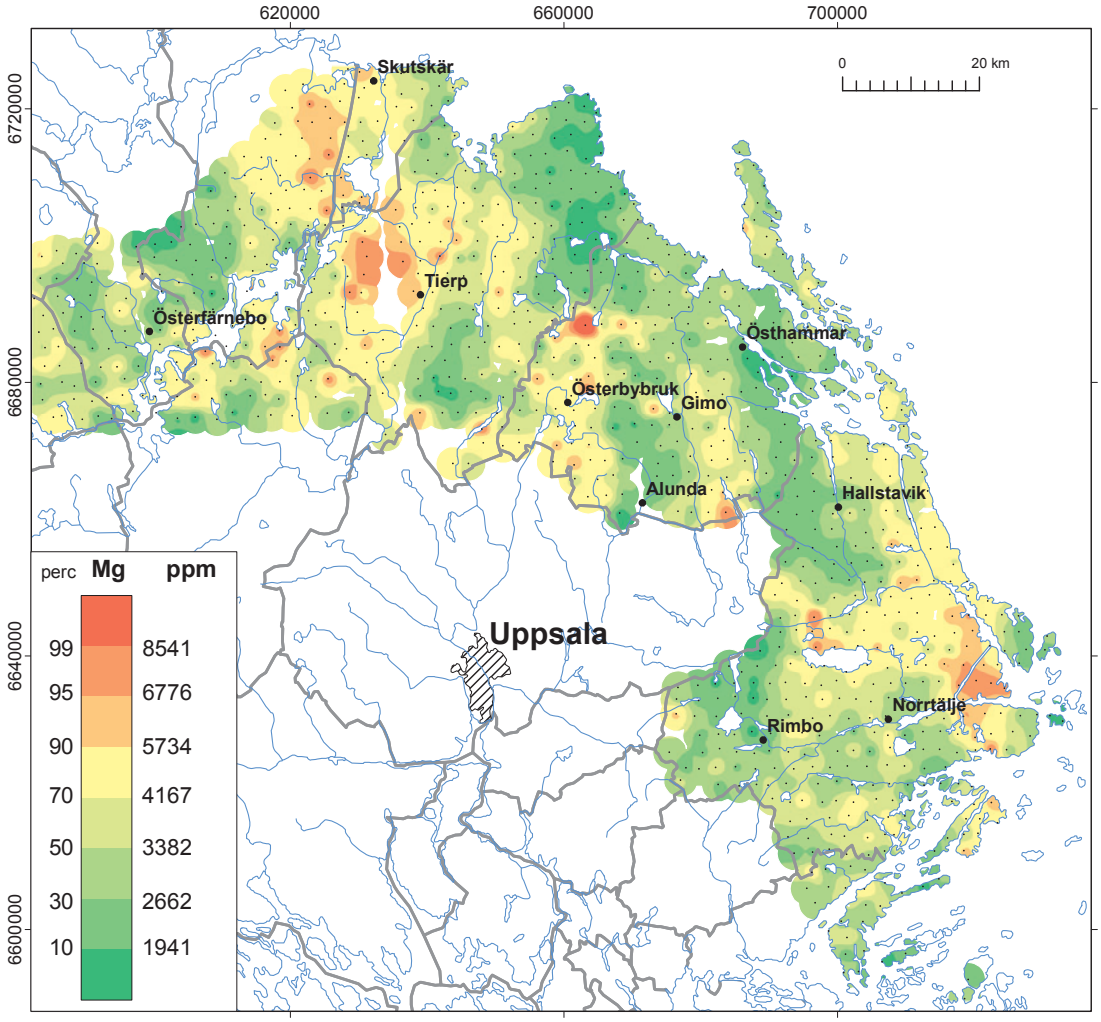

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ho ppm
99 1,29
95 0,85
90 0,76
70 0,60
50 0,52
30 0,46
10 0,39

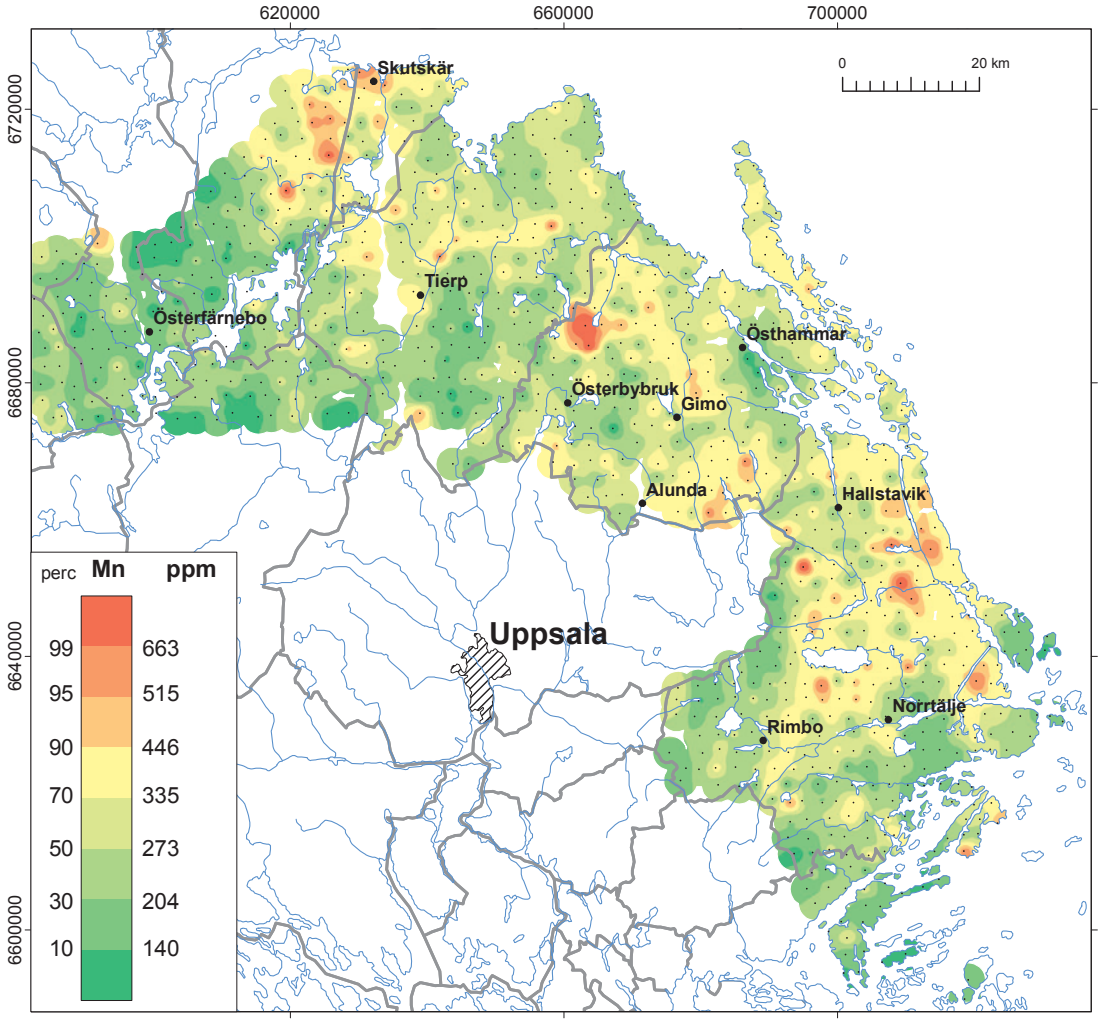

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc K ppm
99 3390
95 2452
90 1905
70 1290
50 995
30 789
10 575

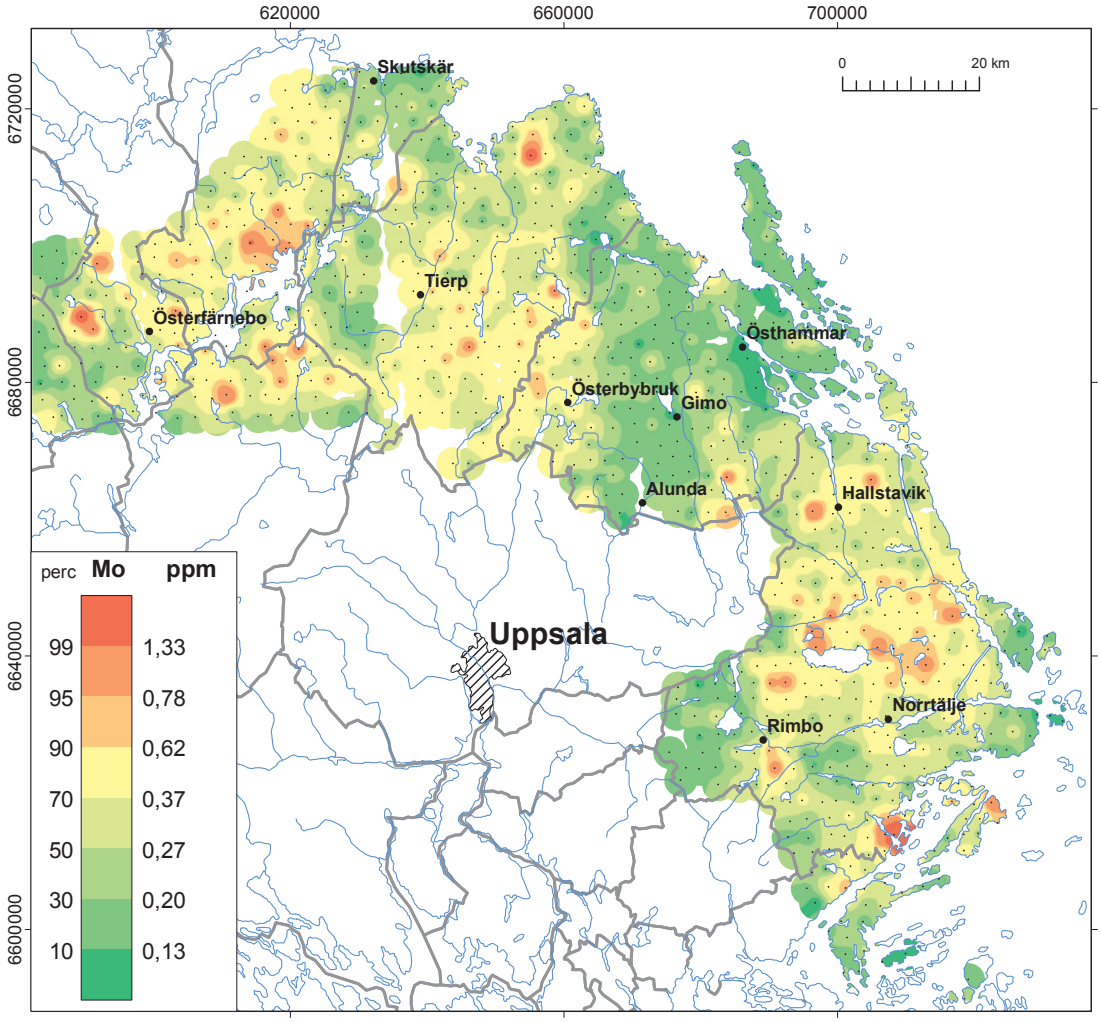

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc La ppm
99 65
95 44
90 38
70 28
50 23
30 20
10 16

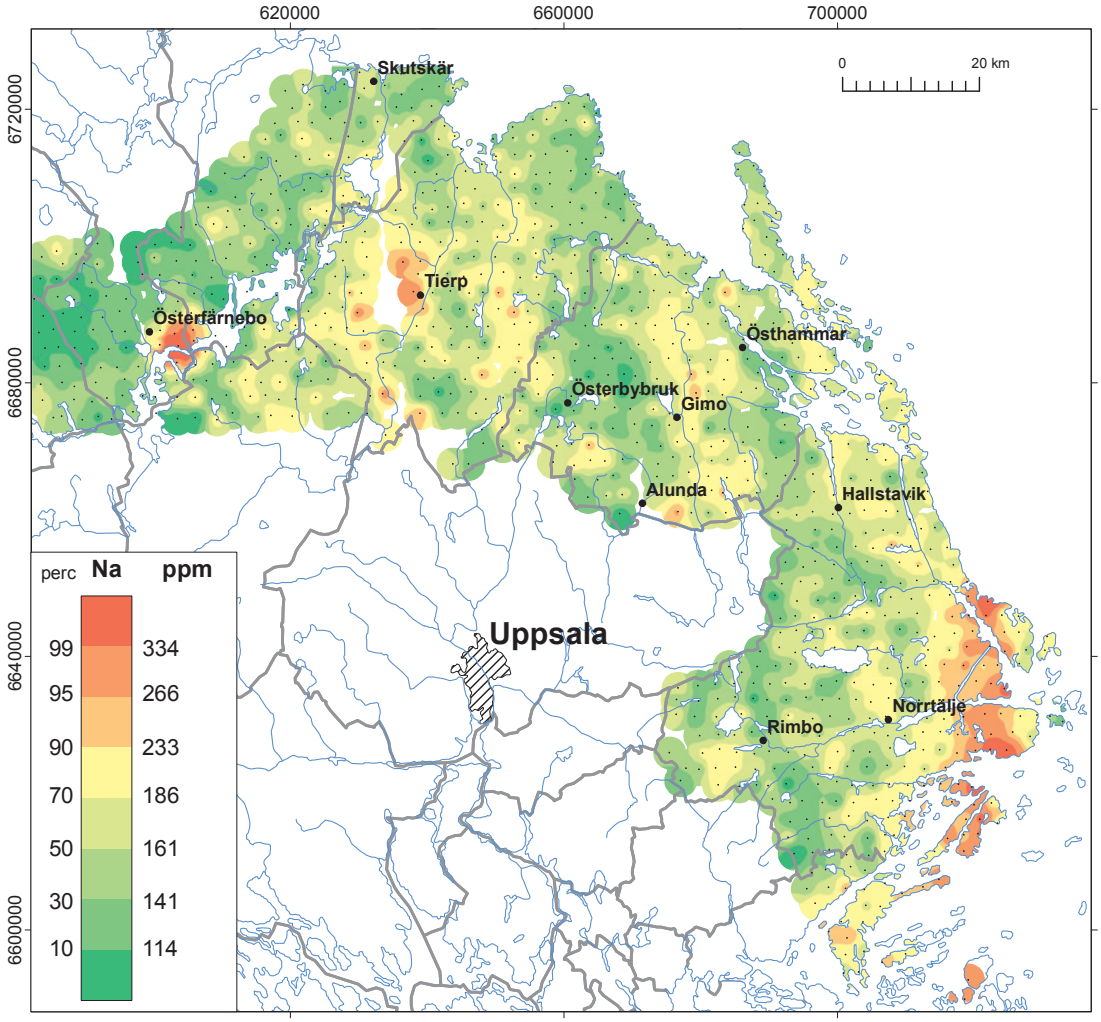

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Li ppm
99 22,5
95 17,3
90 13,8
70 9,7
50 7,4
30 5,8
10 4,0

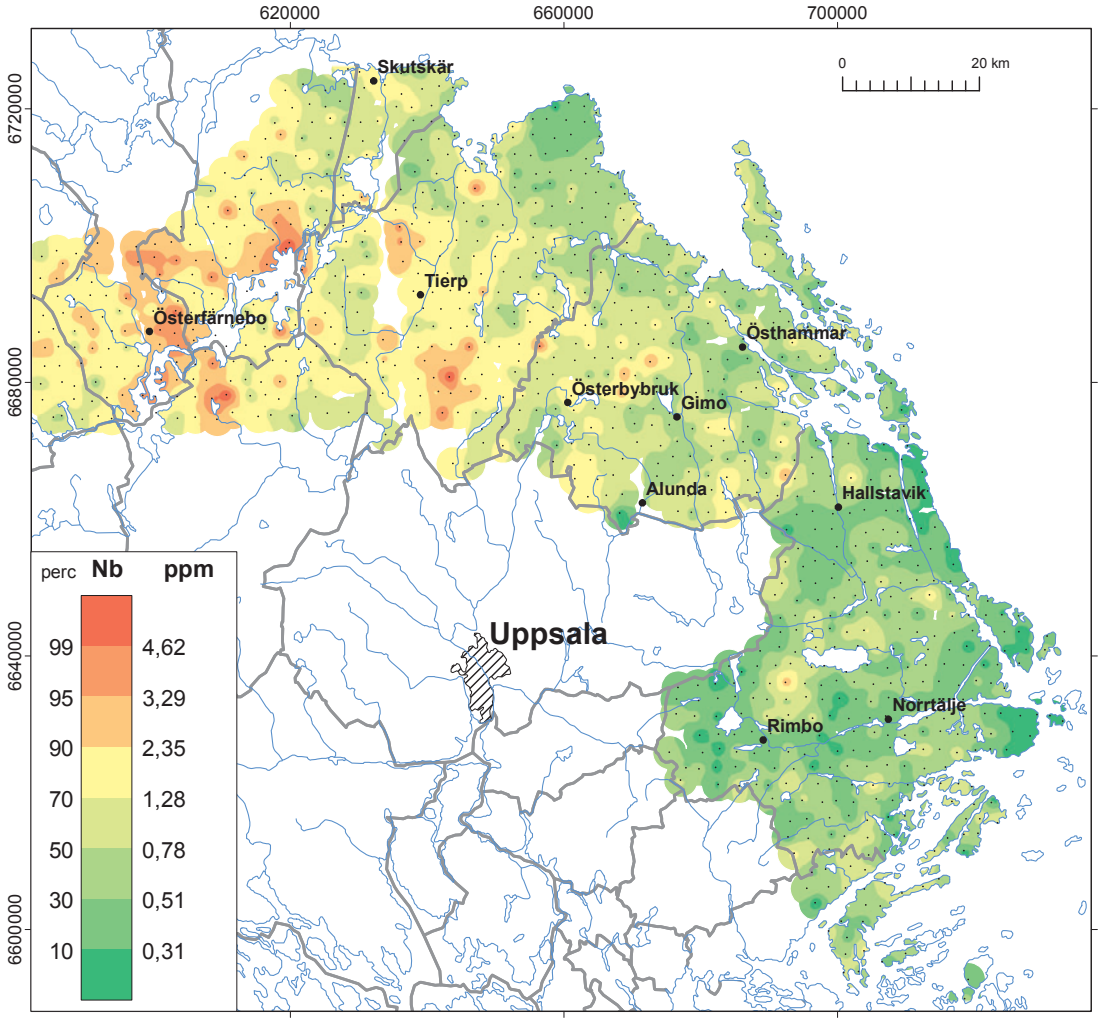

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Lu ppm
99 0,40
95 0,29
90 0,25
70 0,20
50 0,17
30 0,15
10 0,12

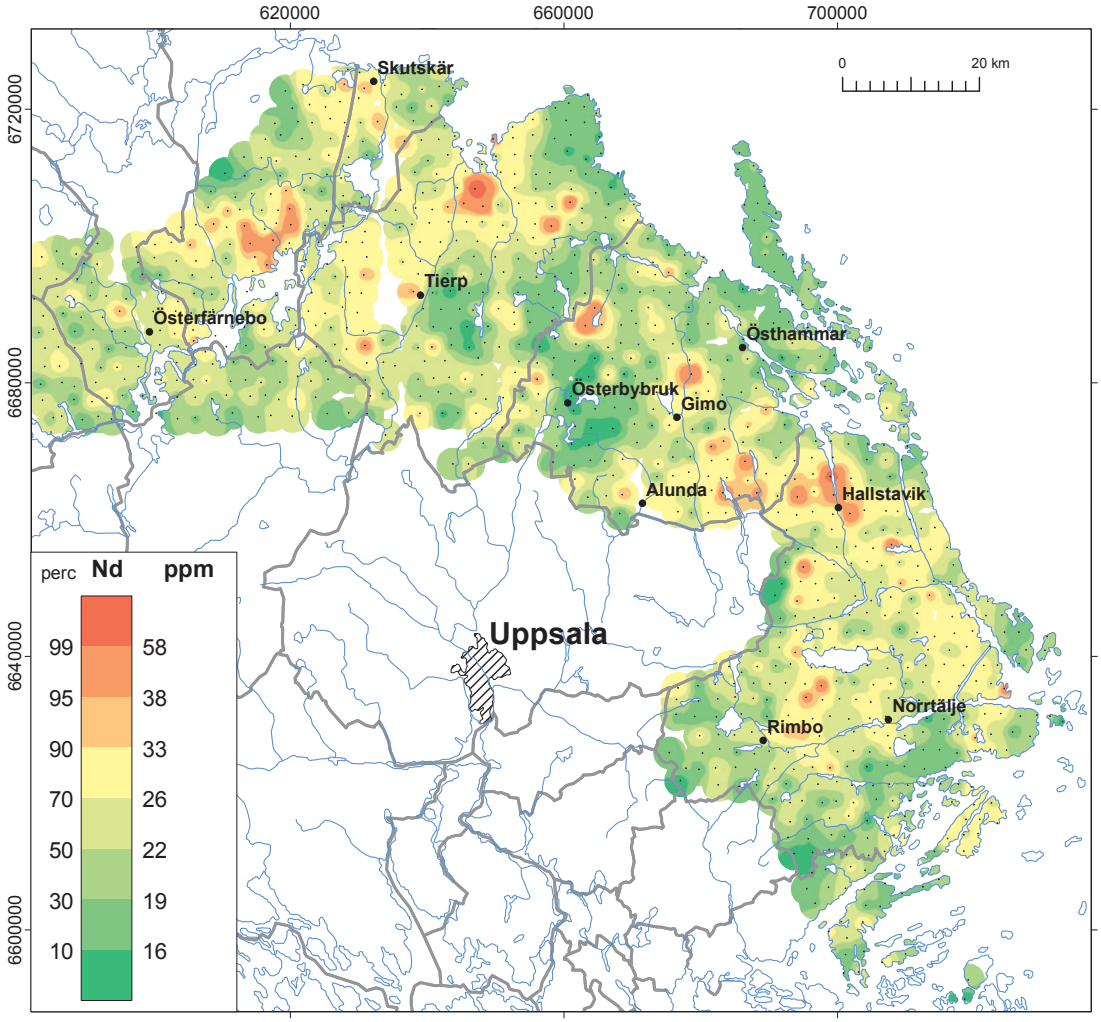

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Mg ppm
99 8541
95 6776
90 5734
70 4167
50 3382
30 2662
10 1941

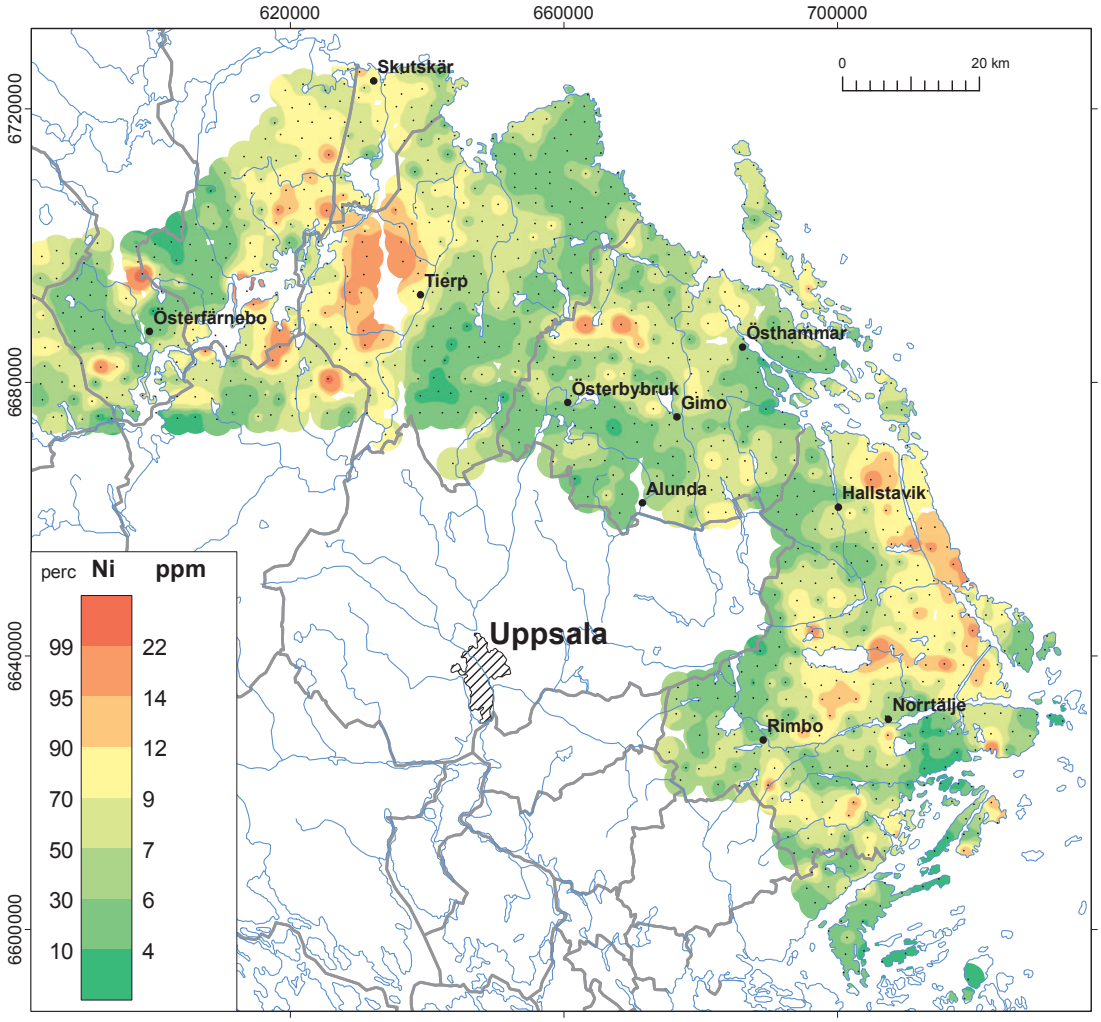

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Mn ppm
99 663
95 515
90 446
70 335
50 273
30 204
10 140

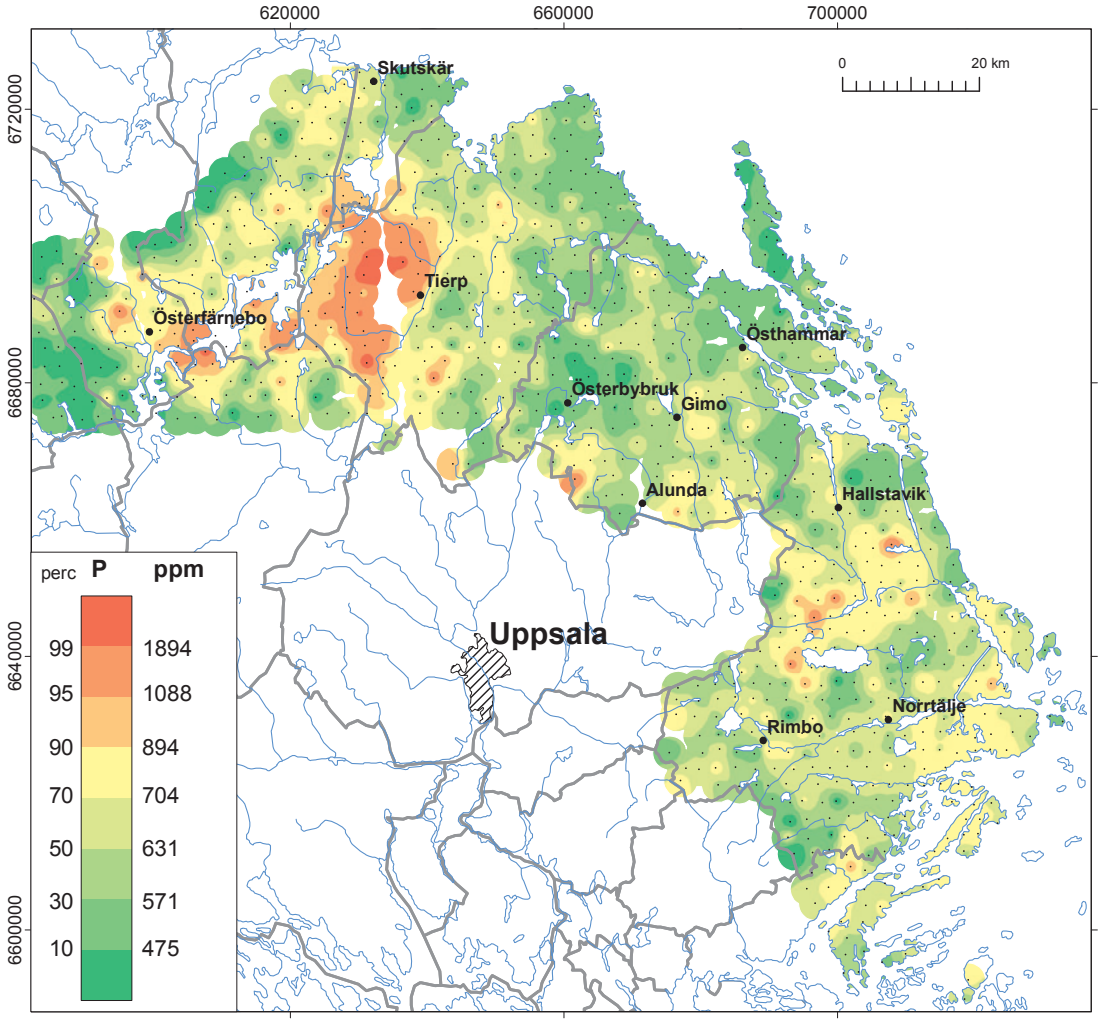

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Mo ppm
99 1,33
95 0,78
90 0,62
70 0,37
50 0,27
30 0,20
10 0,13

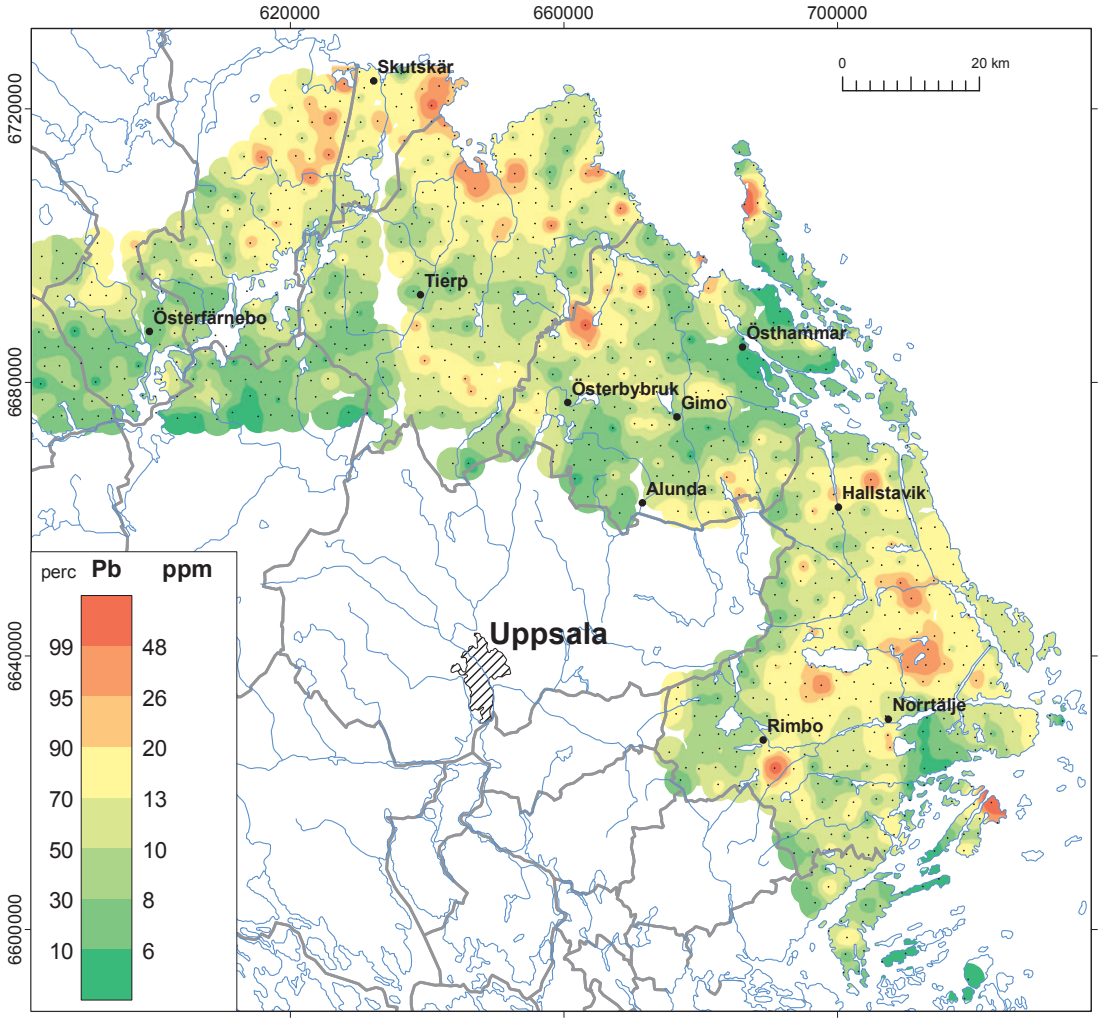

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Na ppm
99 334
95 266
90 233
70 186
50 161
30 141
10 114

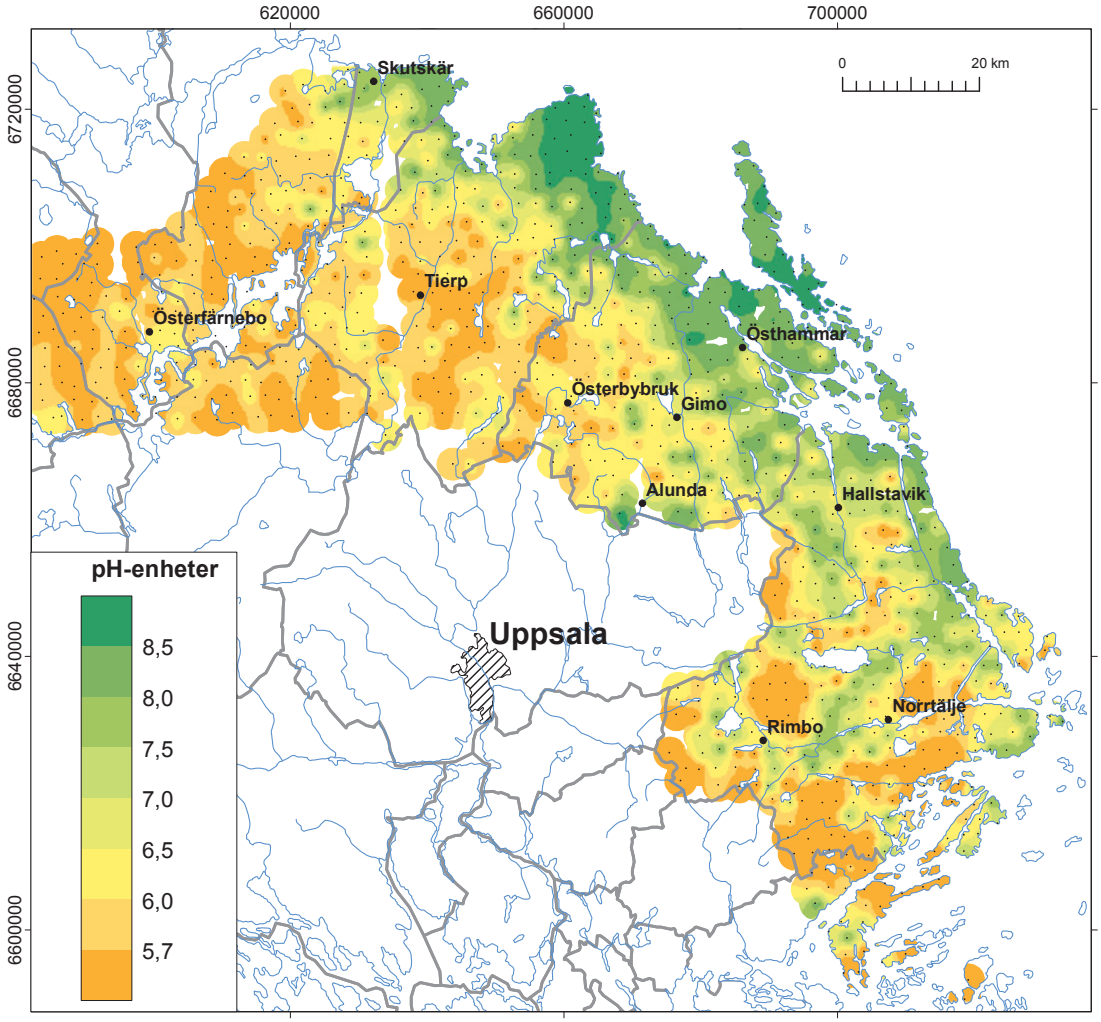

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Nb ppm
99 4,62
95 3,29
90 2,35
70 1,28
50 0,78
30 0,51
10 0,31

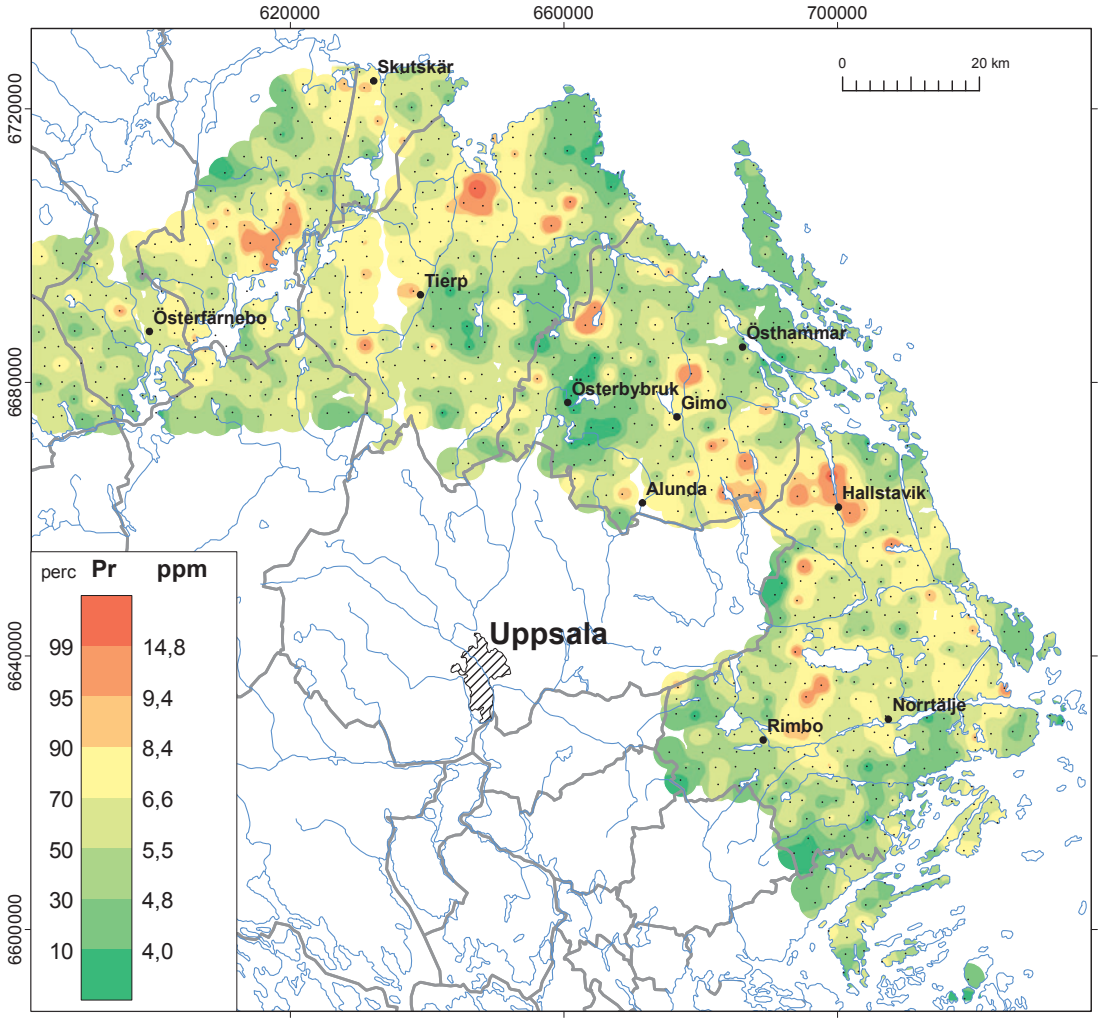

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Nd ppm
99 58
95 38
90 33
70 26
50 22
30 19
10 16

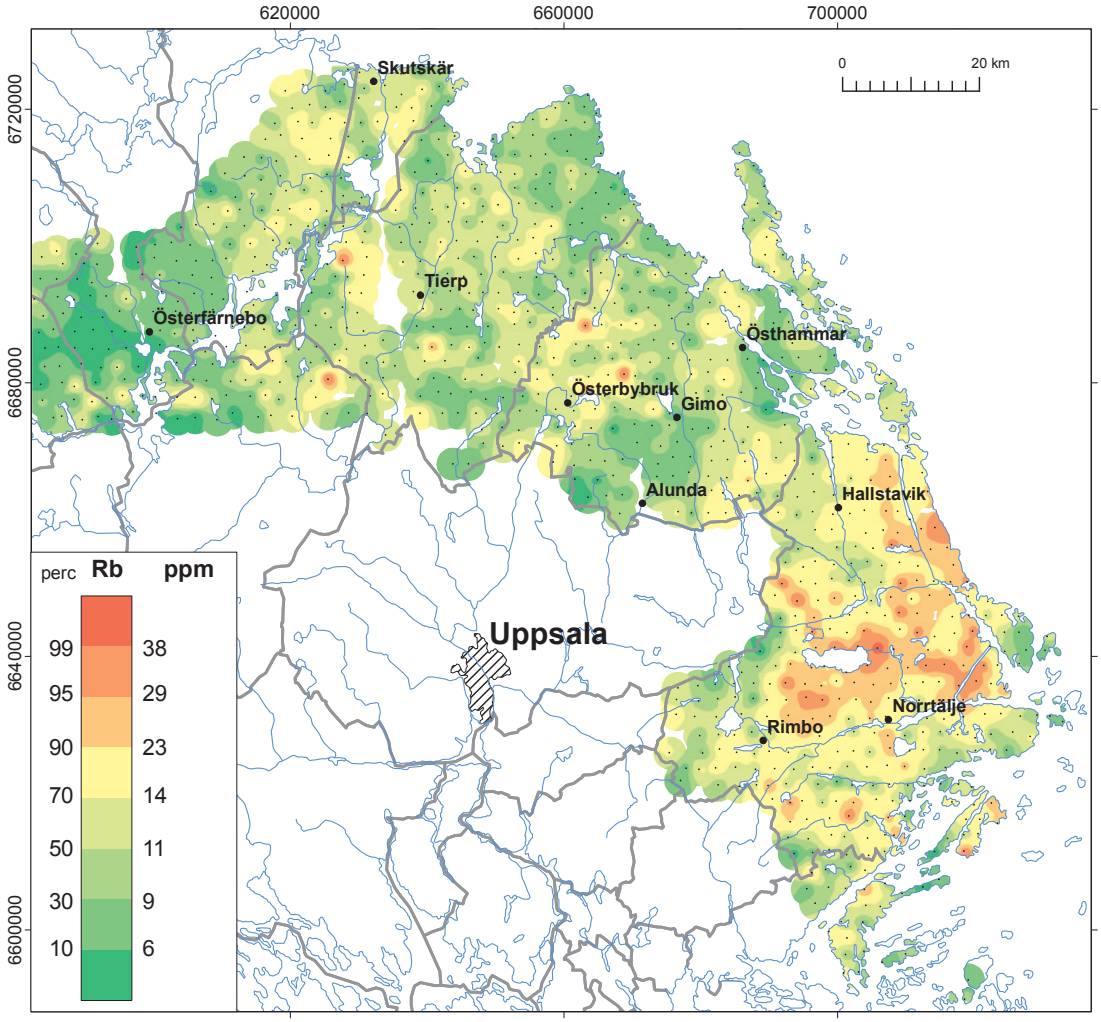

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ni ppm
99 22
95 14
90 12
70 9
50 7
30 6
10 4

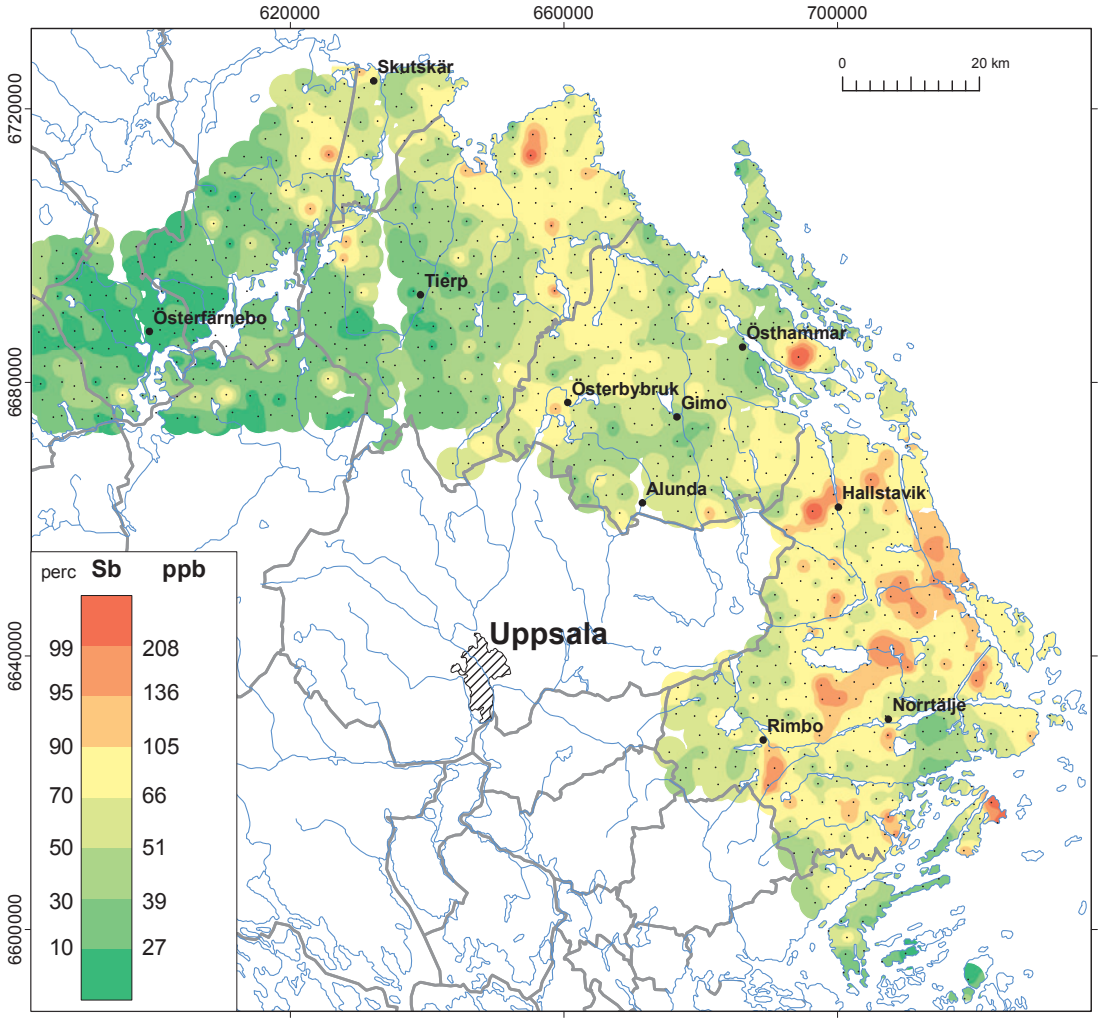

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc P ppm
99 1894
95 1088
90 894
70 704
50 631
30 571
10 475

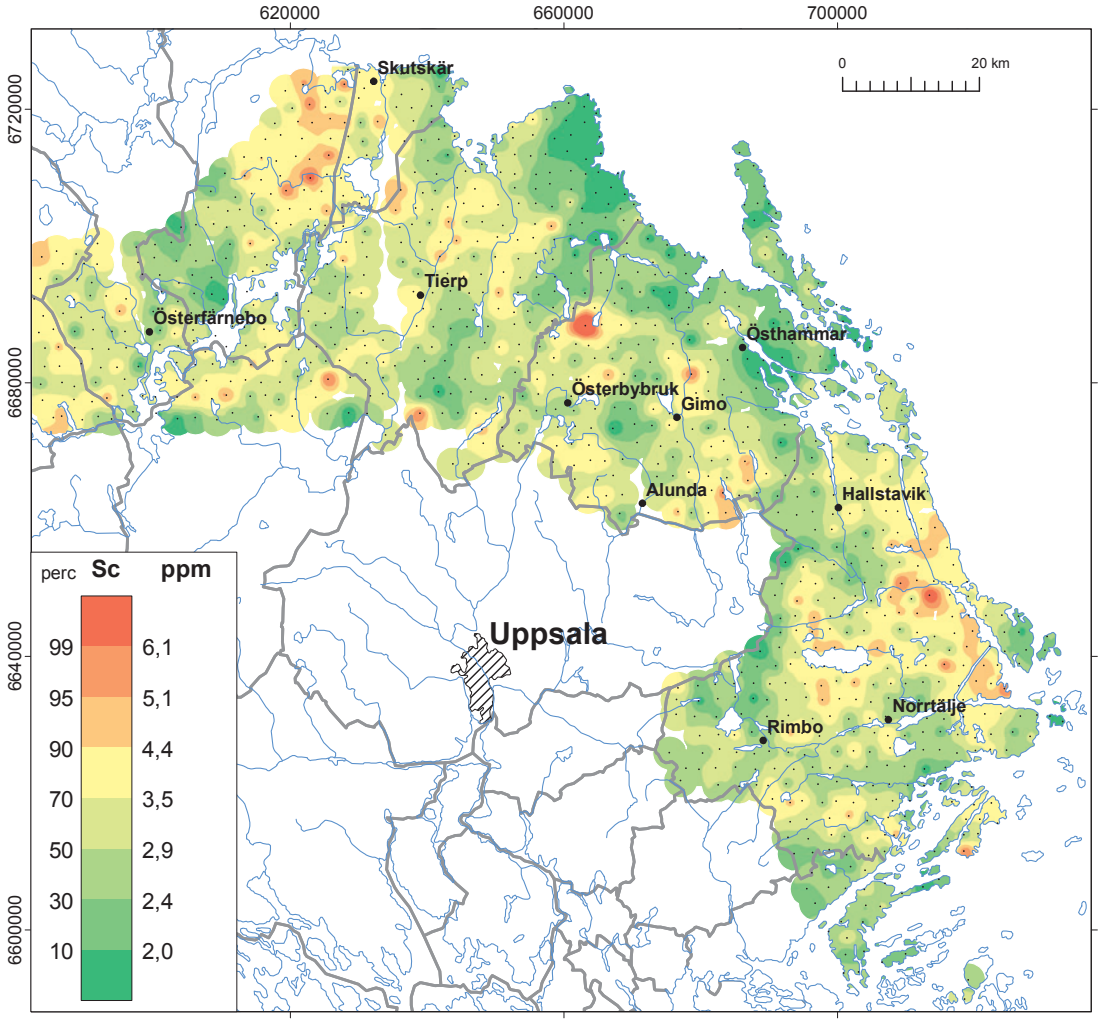

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc
Pb
ppm
99
95
90
70
50
30
10
48
26
20
13
10
8
6

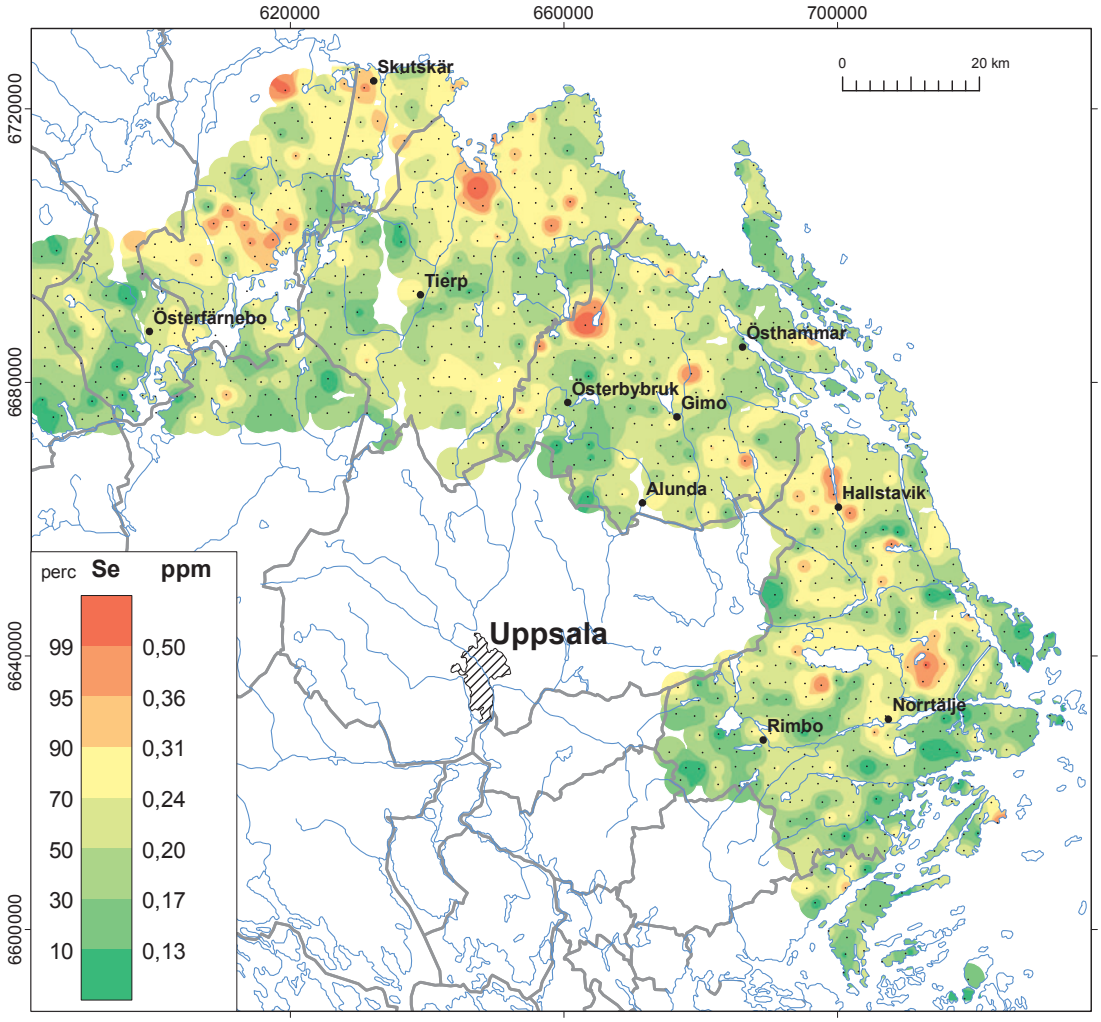

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
pH-enheter
8,5
8,0
7,5
7,0
6,5
6,0
5,7

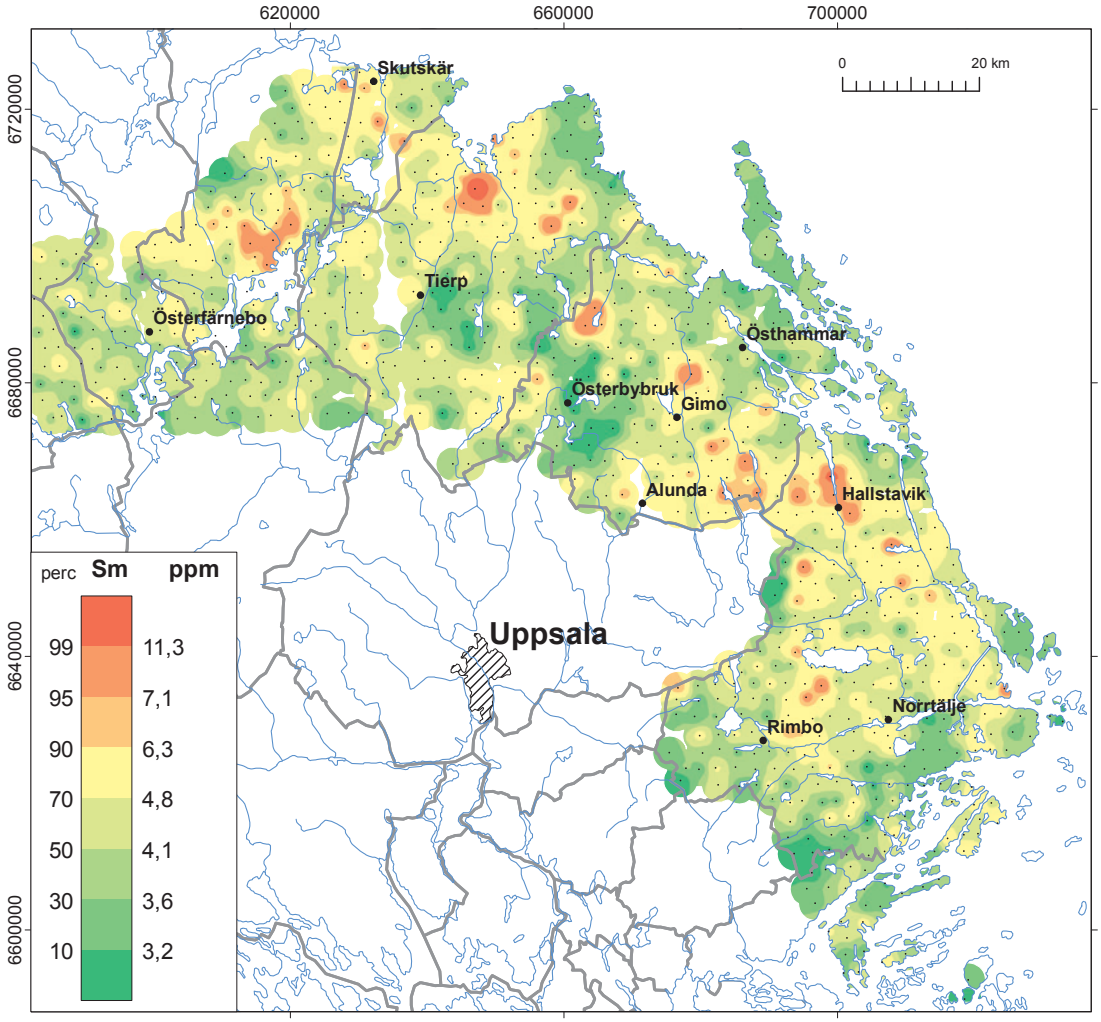

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Pr ppm
99 14,8
95 9,4
90 8,4
70 6,6
50 5,5
30 4,8
10 4,0

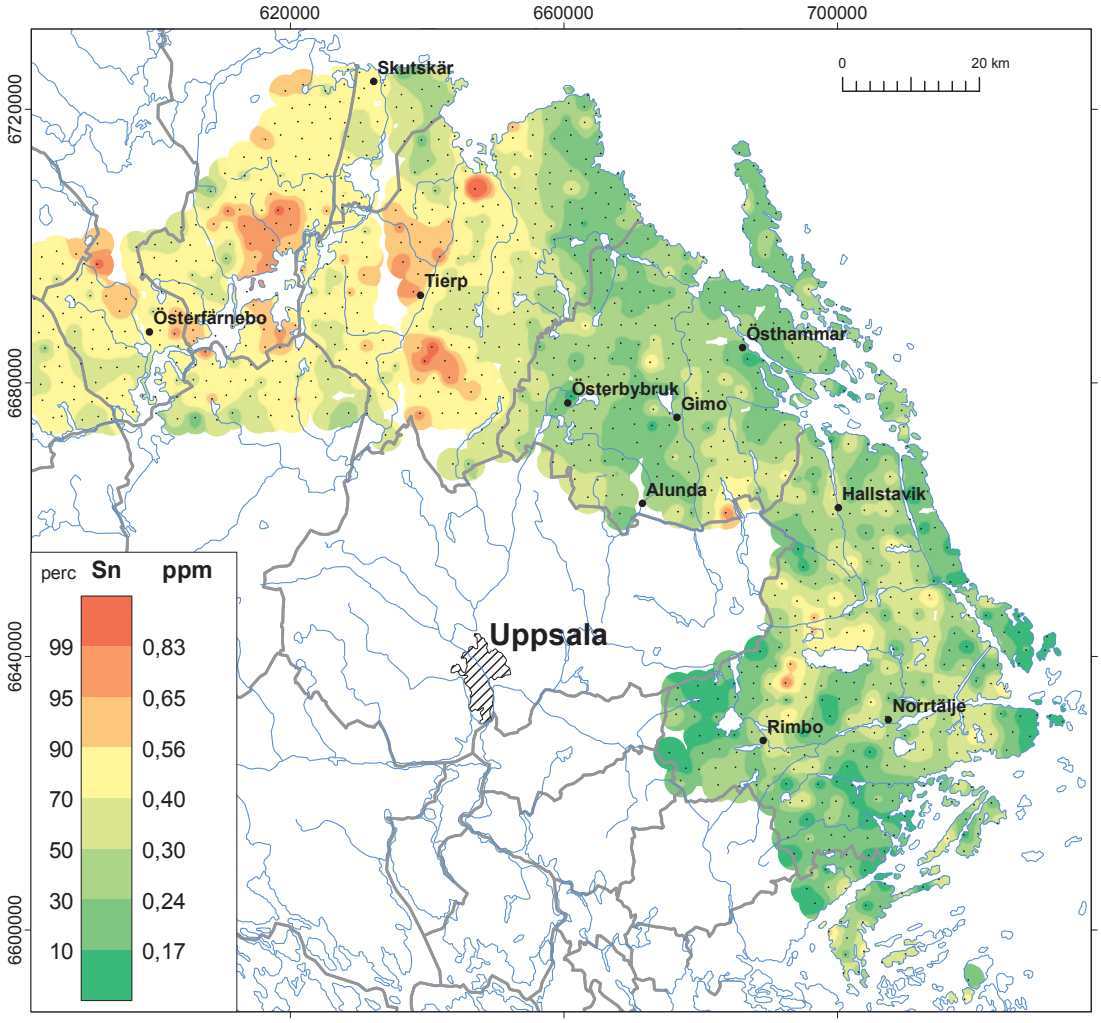

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Rb ppm
99 38
95 29
90 23
70 14
50 11
30 9
10 6

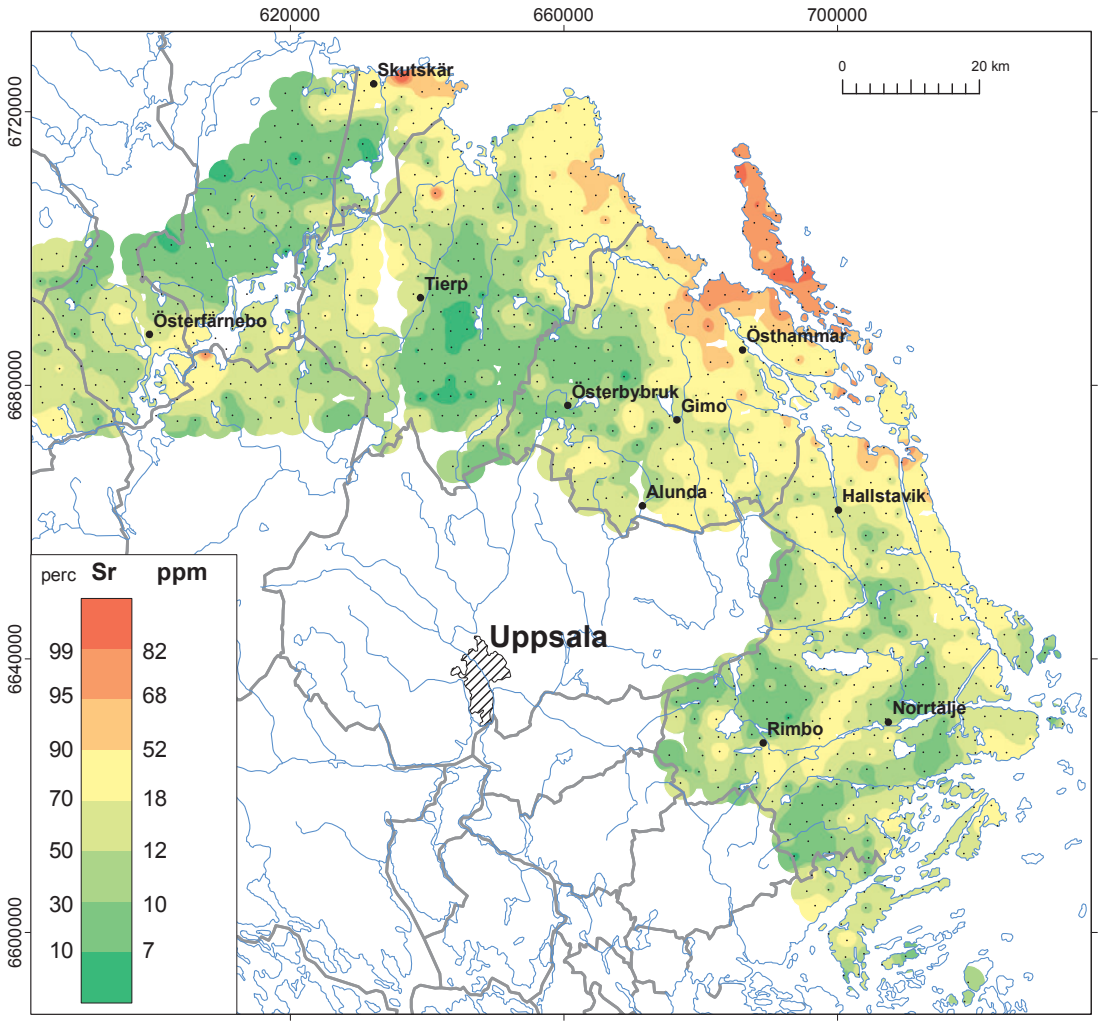

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Sb ppb
99 208
95 136
90 105
70 66
50 51
30 39
10 27

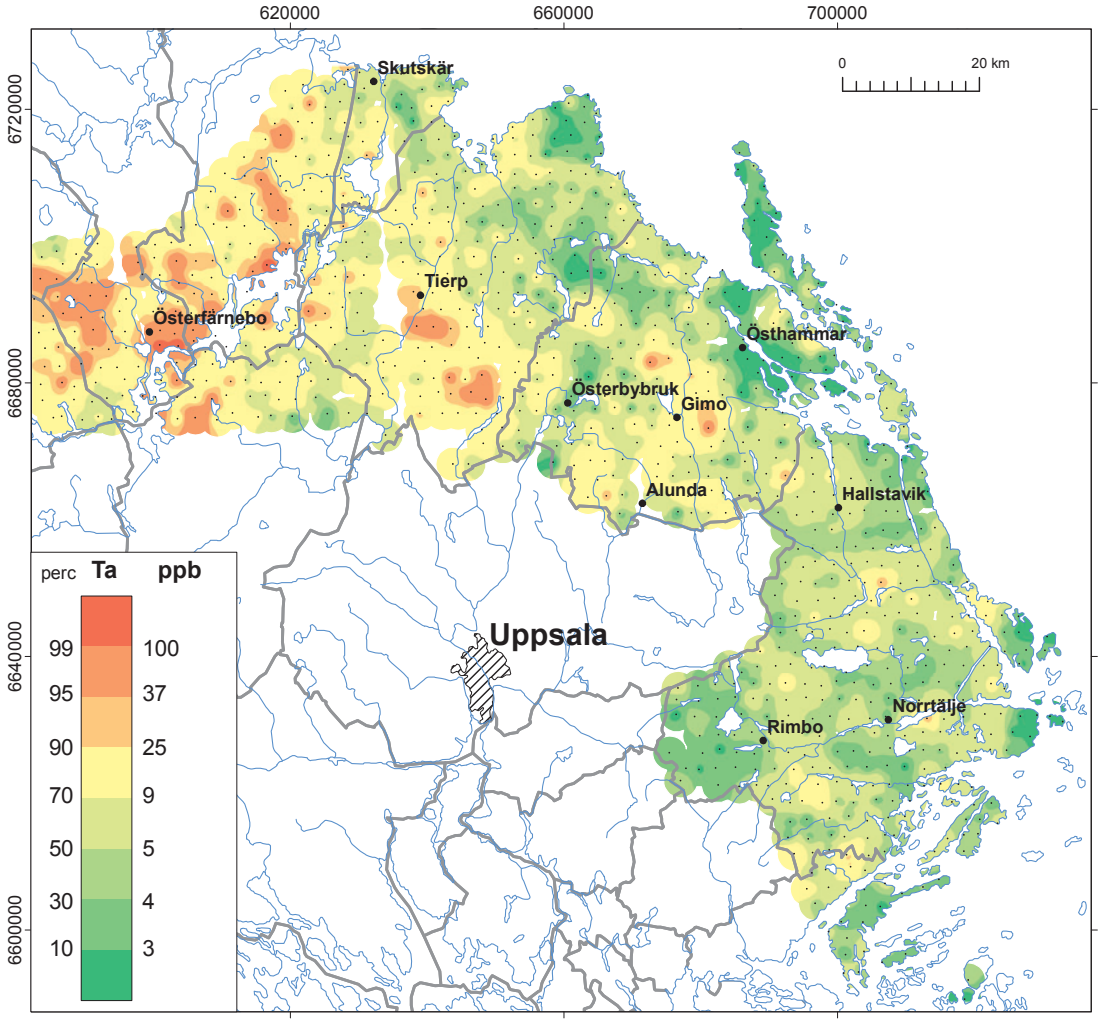

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Sc ppm
99 6,1
95 5,1
90 4,4
70 3,5
50 2,9
30 2,4
10 2,0

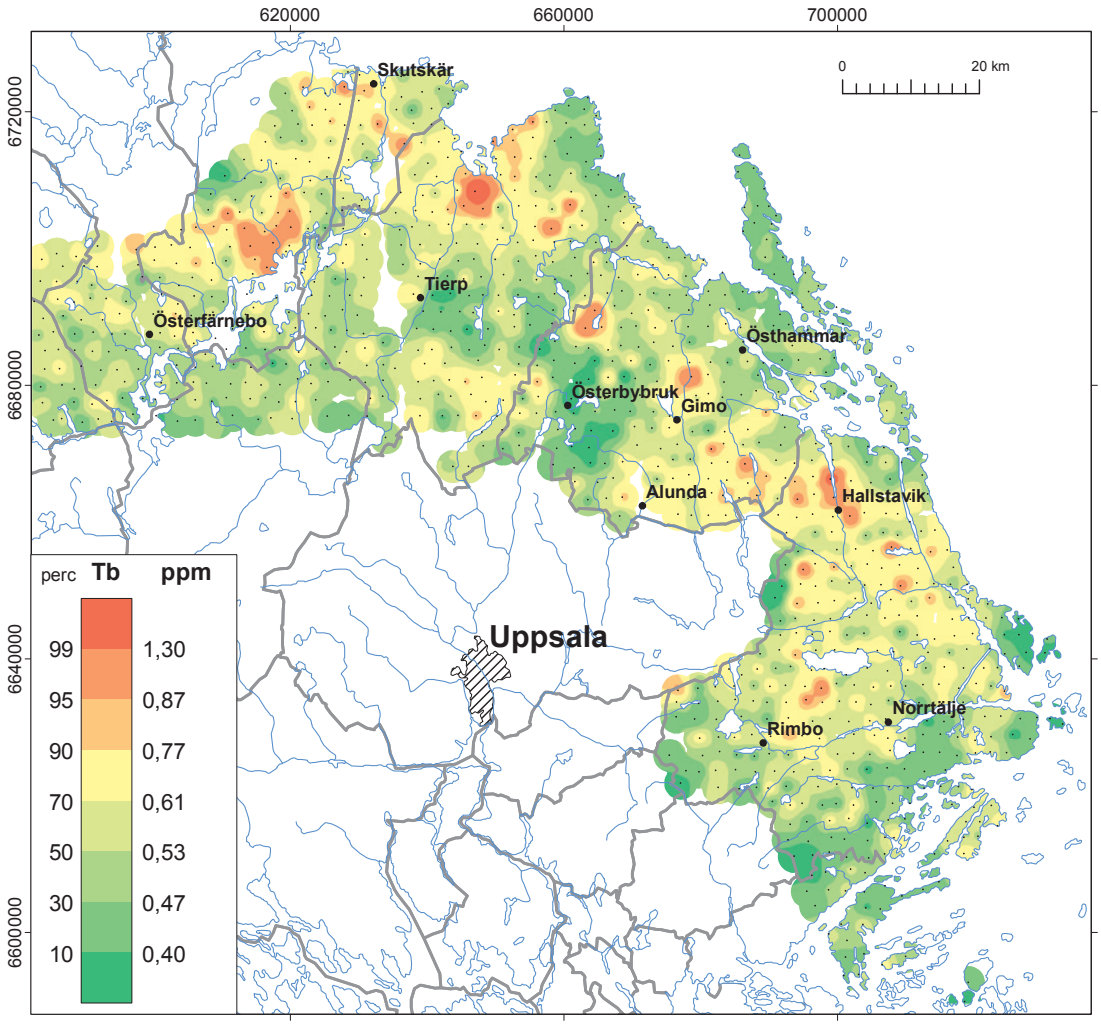

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Se ppm
99 0,50
95 0,36
90 0,31
70 0,24
50 0,20
30 0,17
10 0,13

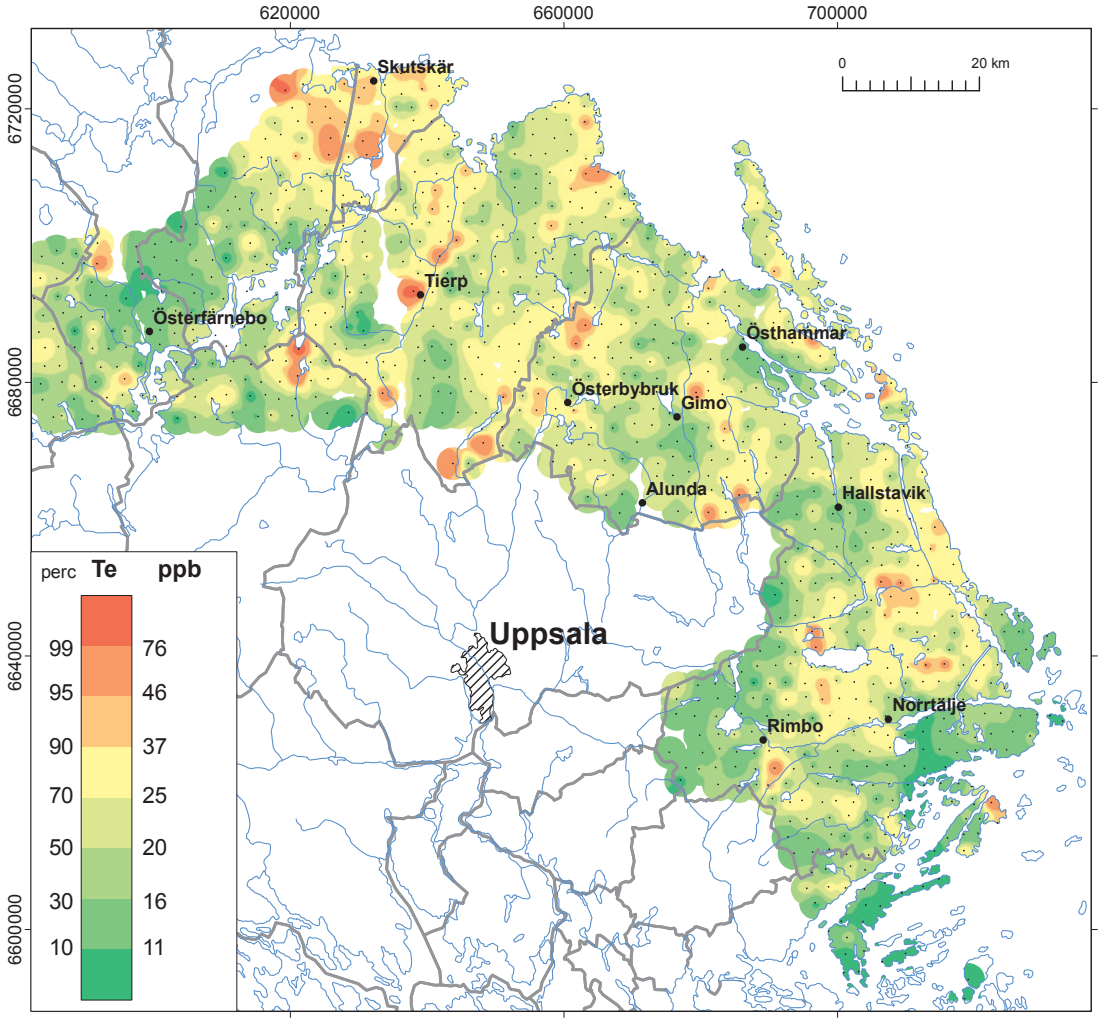

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Sm ppm
99 11,3
95 7,1
90 6,3
70 4,8
50 4,1
30 3,6
10 3,2

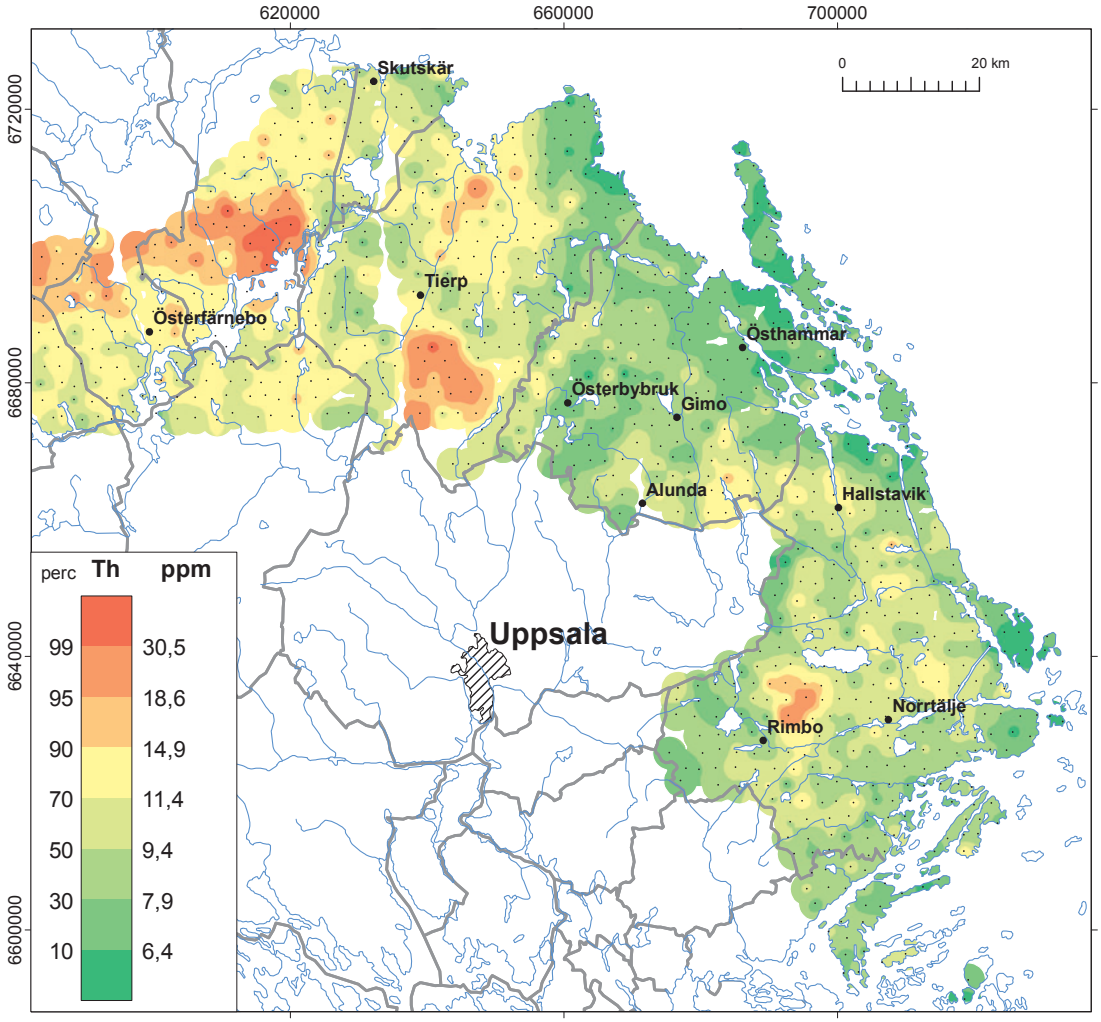

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Sn ppm
99 0,83
95 0,65
90 0,56
70 0,40
50 0,30
30 0,24
10 0,17

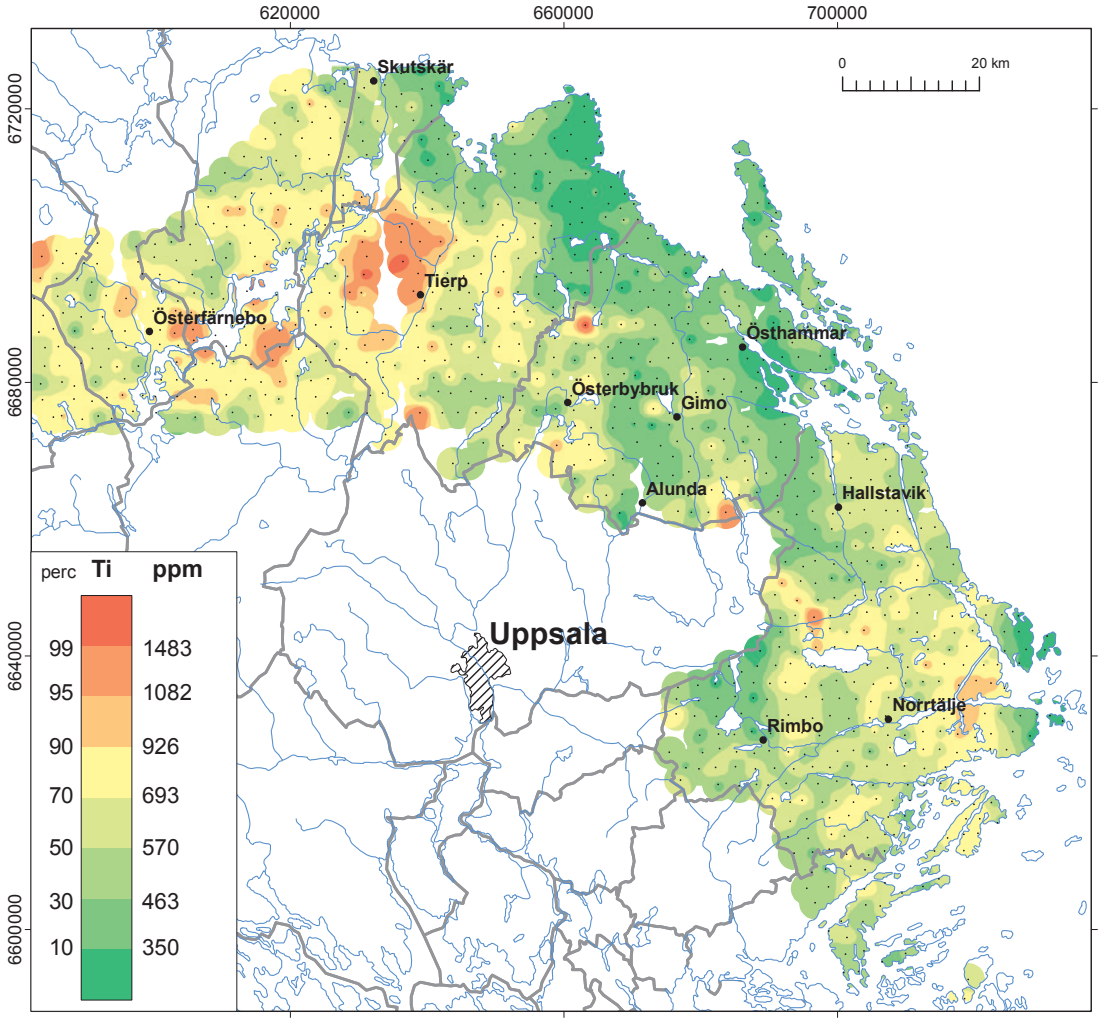

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Sr ppm
99 82
95 68
90 52
70 18
50 12
30 10
10 7

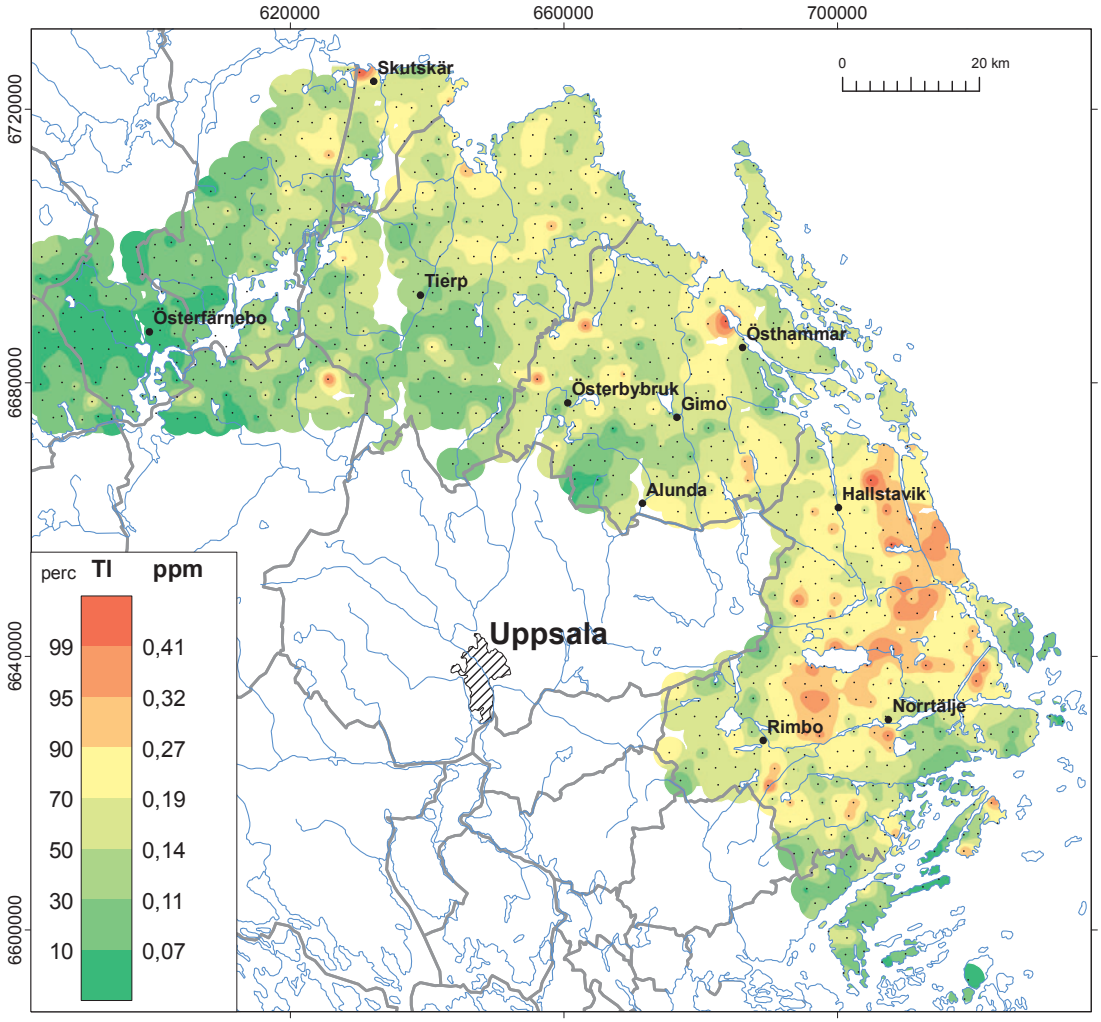

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ta ppb
99 100
95 37
90 25
70 9
50 5
30 4
10 3

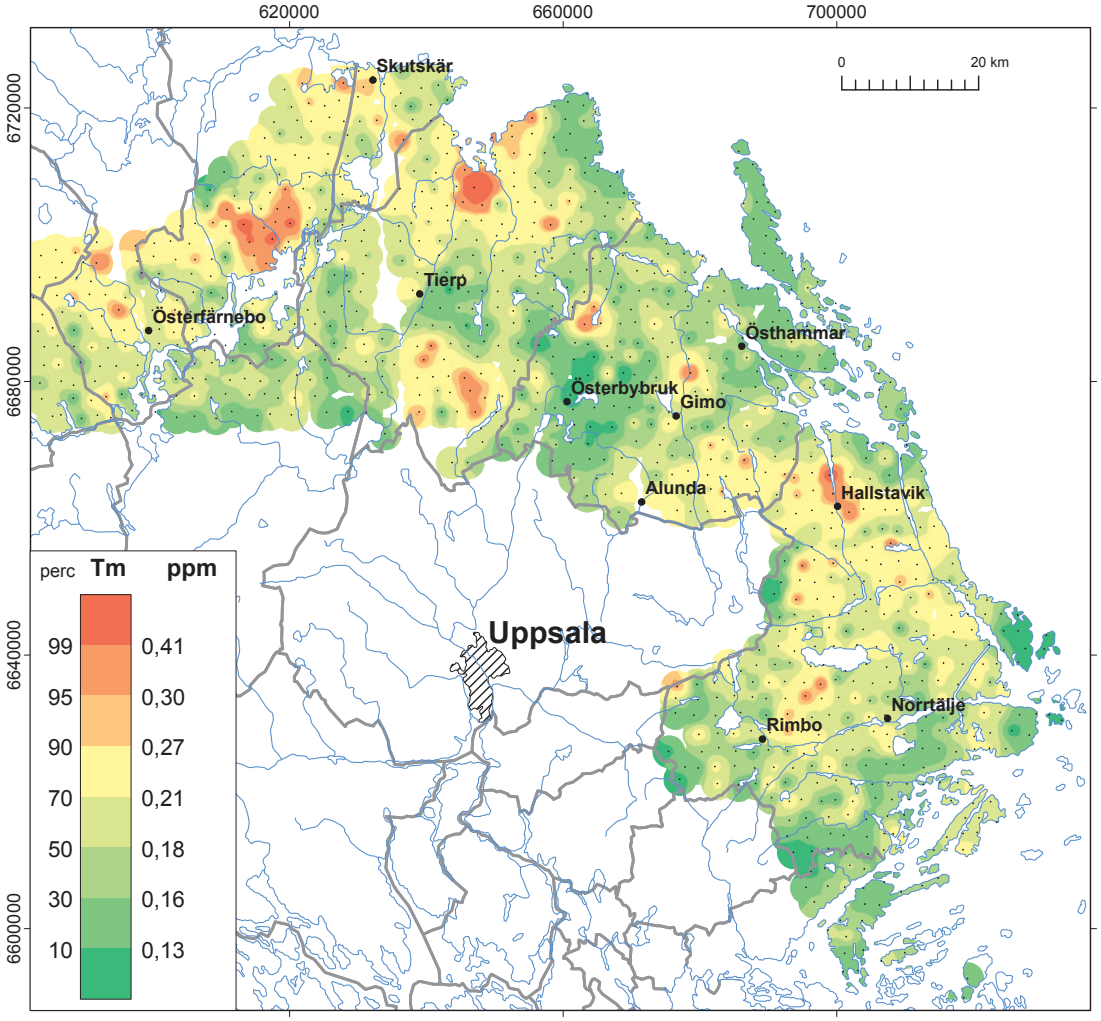

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Tb ppm
99 1,30
95 0,87
90 0,77
70 0,61
50 0,53
30 0,47
10 0,40

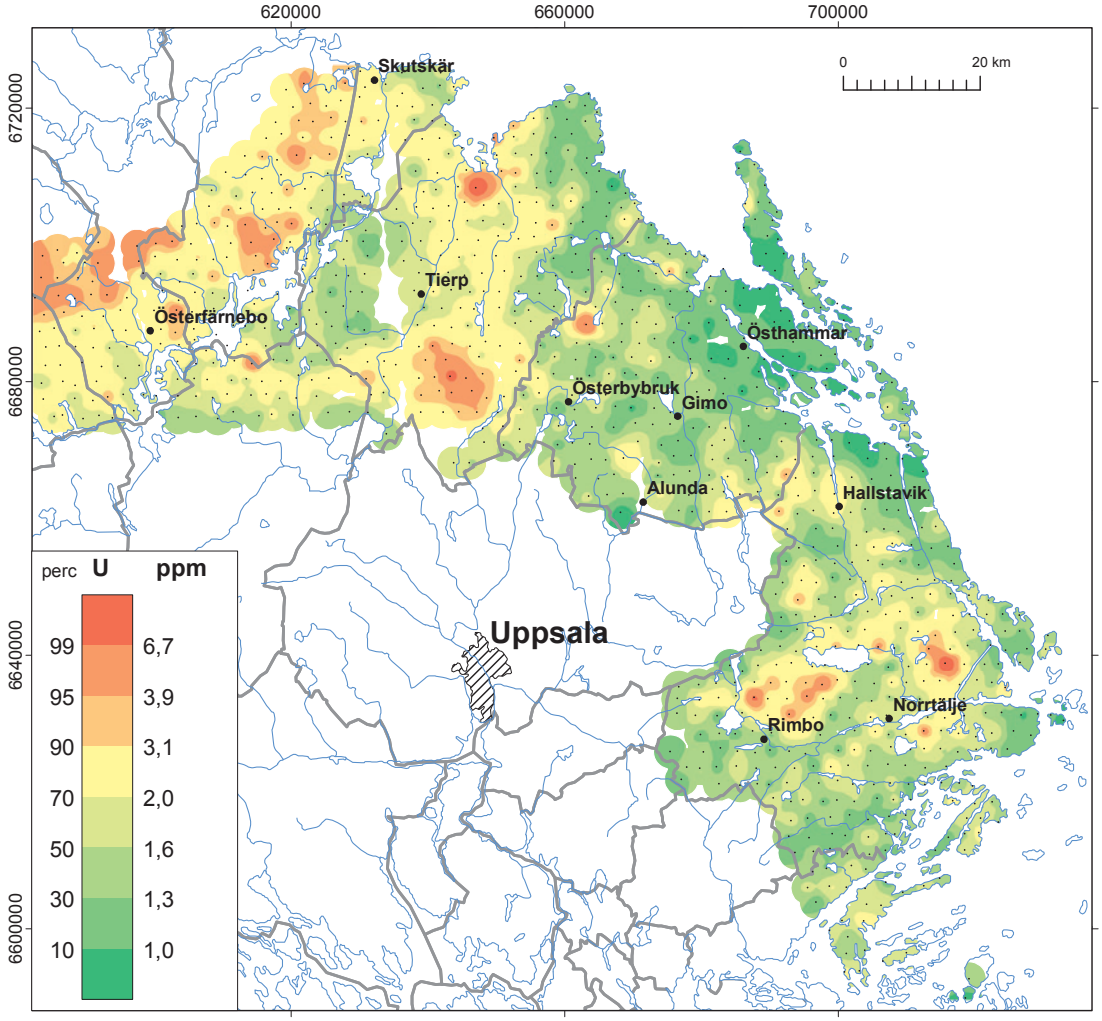

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Te ppb
99 76
95 46
90 37
70 25
50 20
30 16
10 11

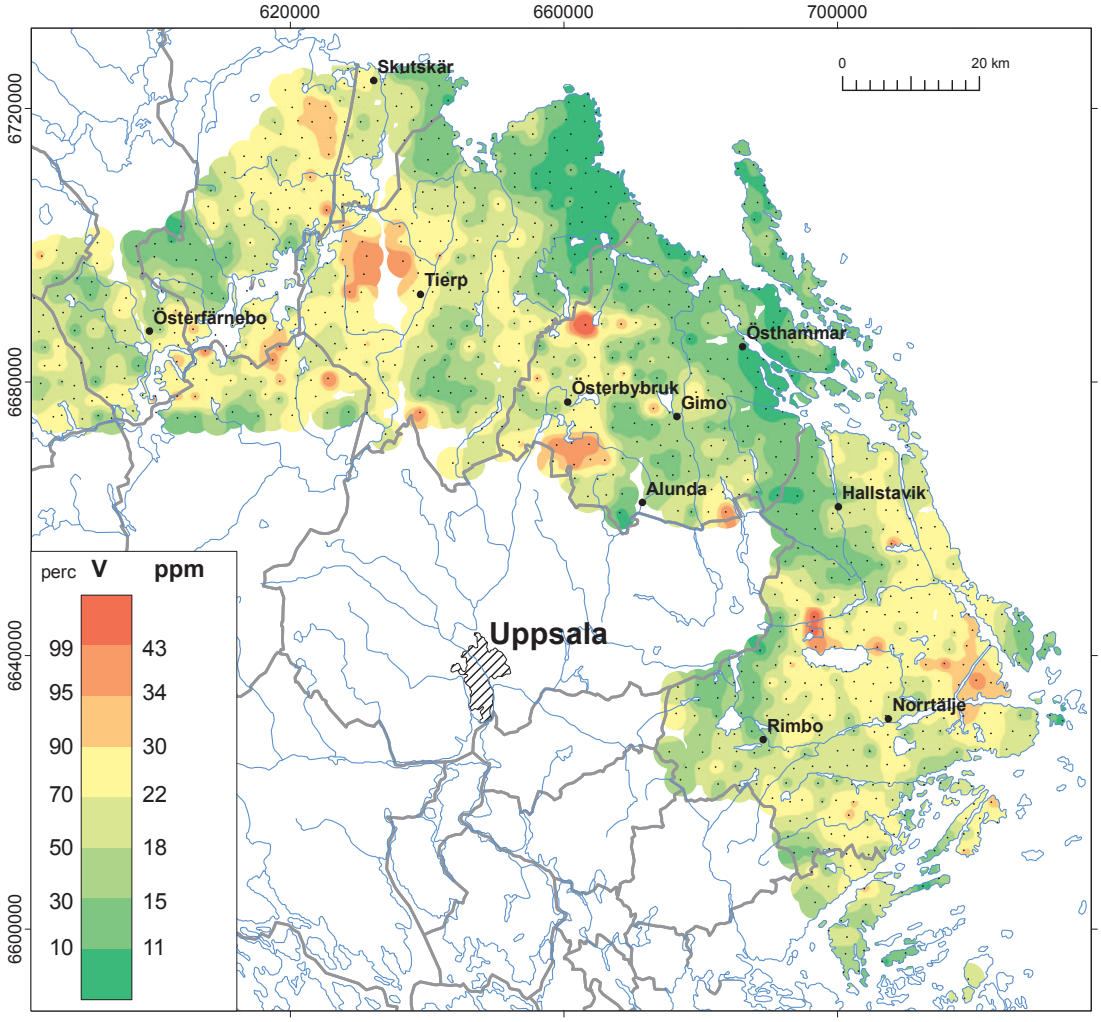

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Th ppm
99 30,5
95 18,6
90 14,9
70 11,4
50 9,4
30 7,9
10 6,4

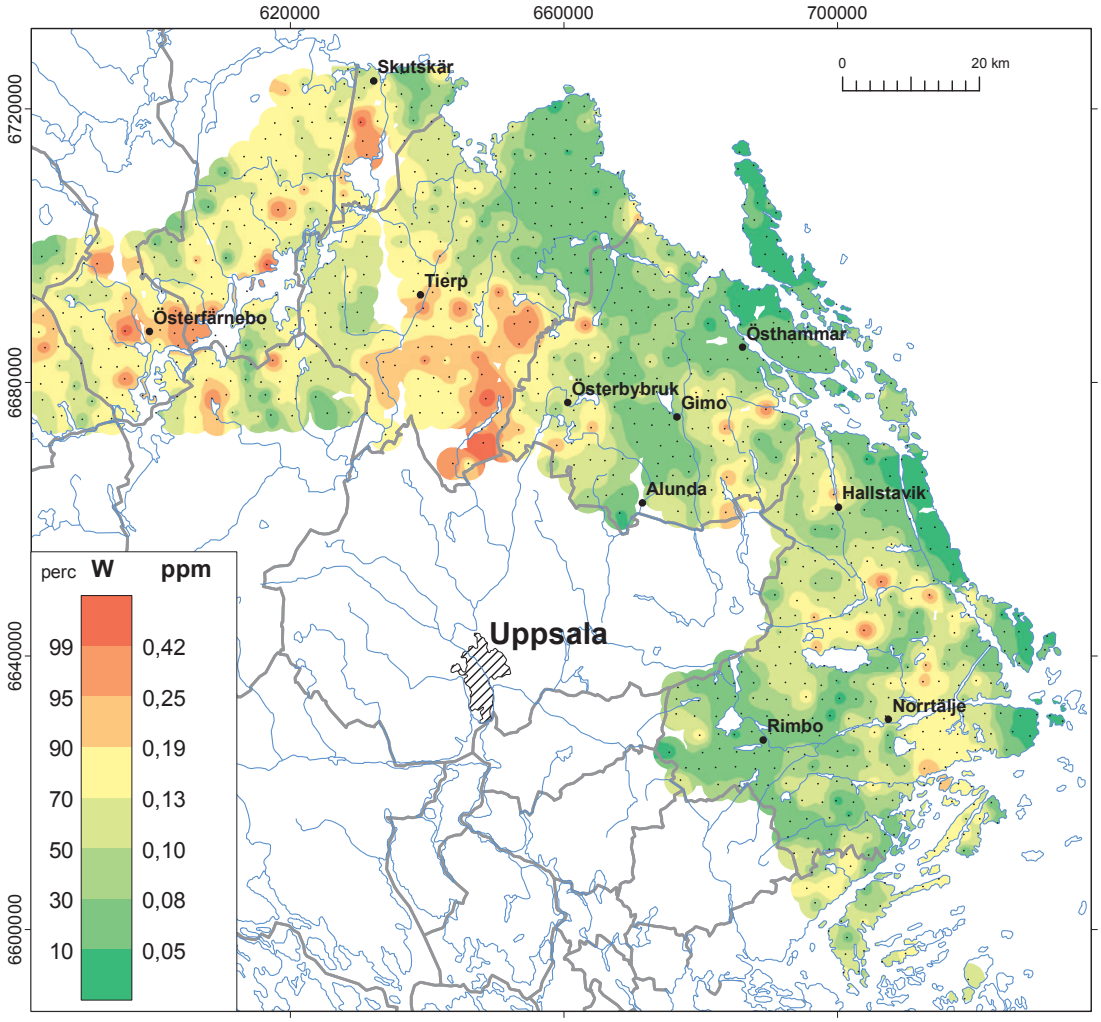

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Ti ppm
99 1483
95 1082
90 926
70 693
50 570
30 463
10 350

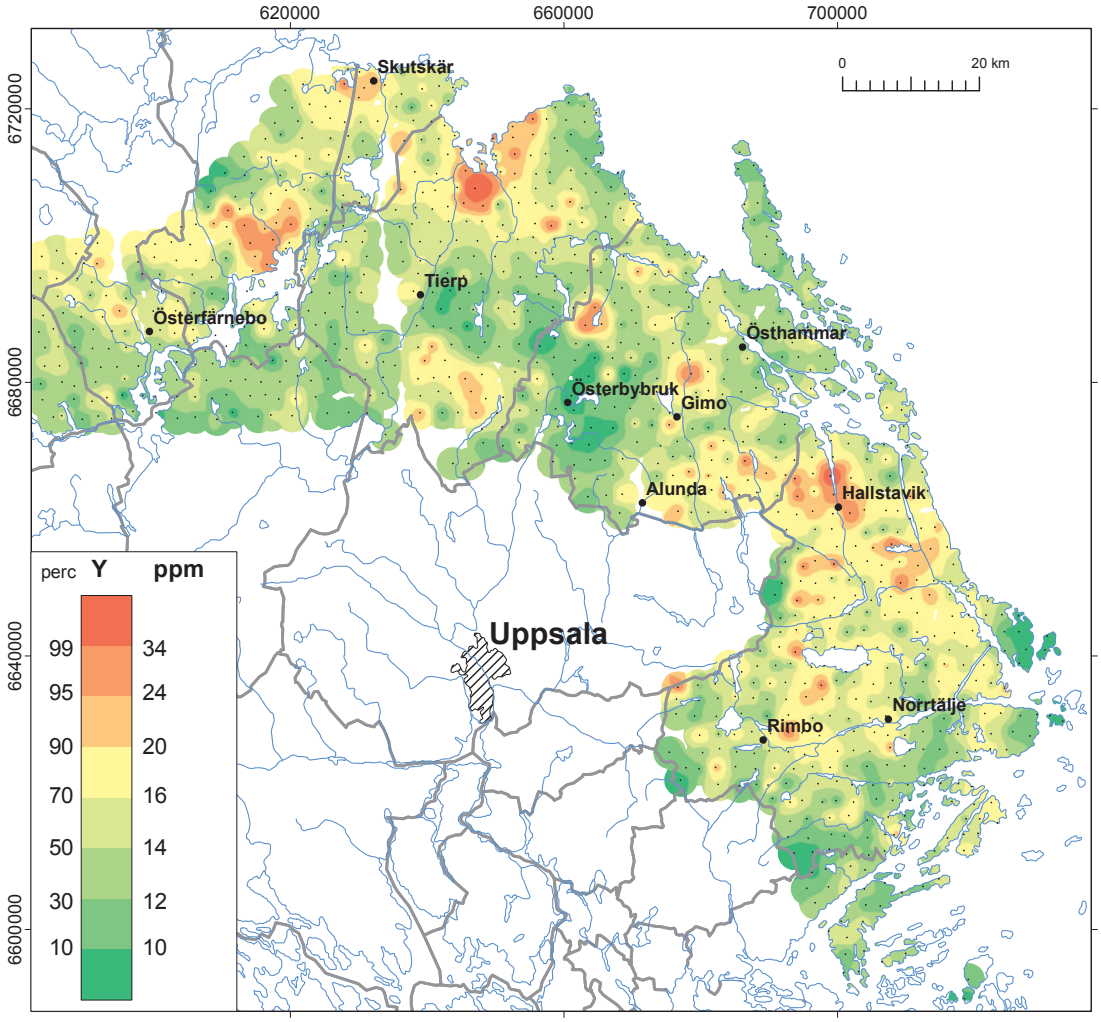

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Tl ppm
99 0,41
95 0,32
90 0,27
70 0,19
50 0,14
30 0,11
10 0,07

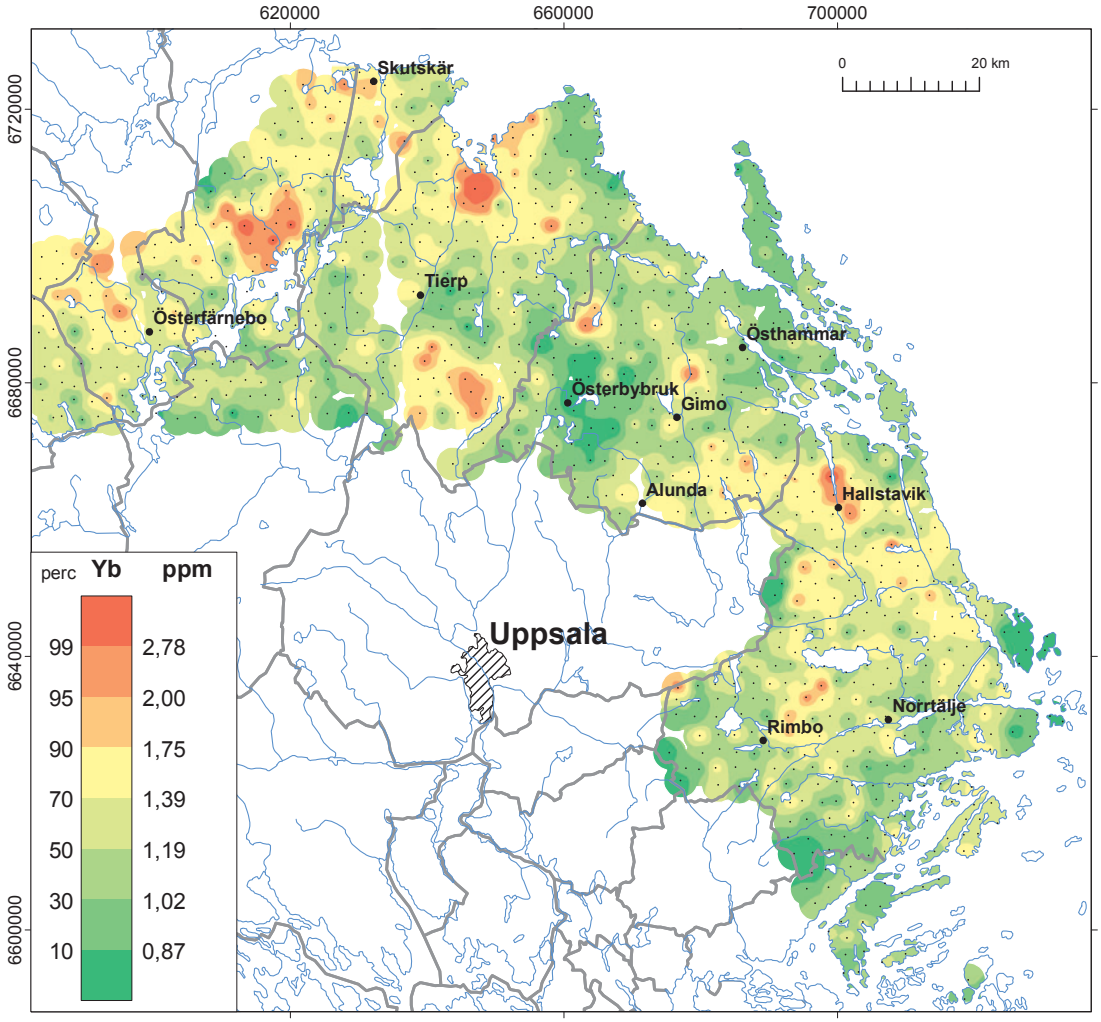

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Tm ppm
99 0,41
95 0,30
90 0,27
70 0,21
50 0,18
30 0,16
10 0,13

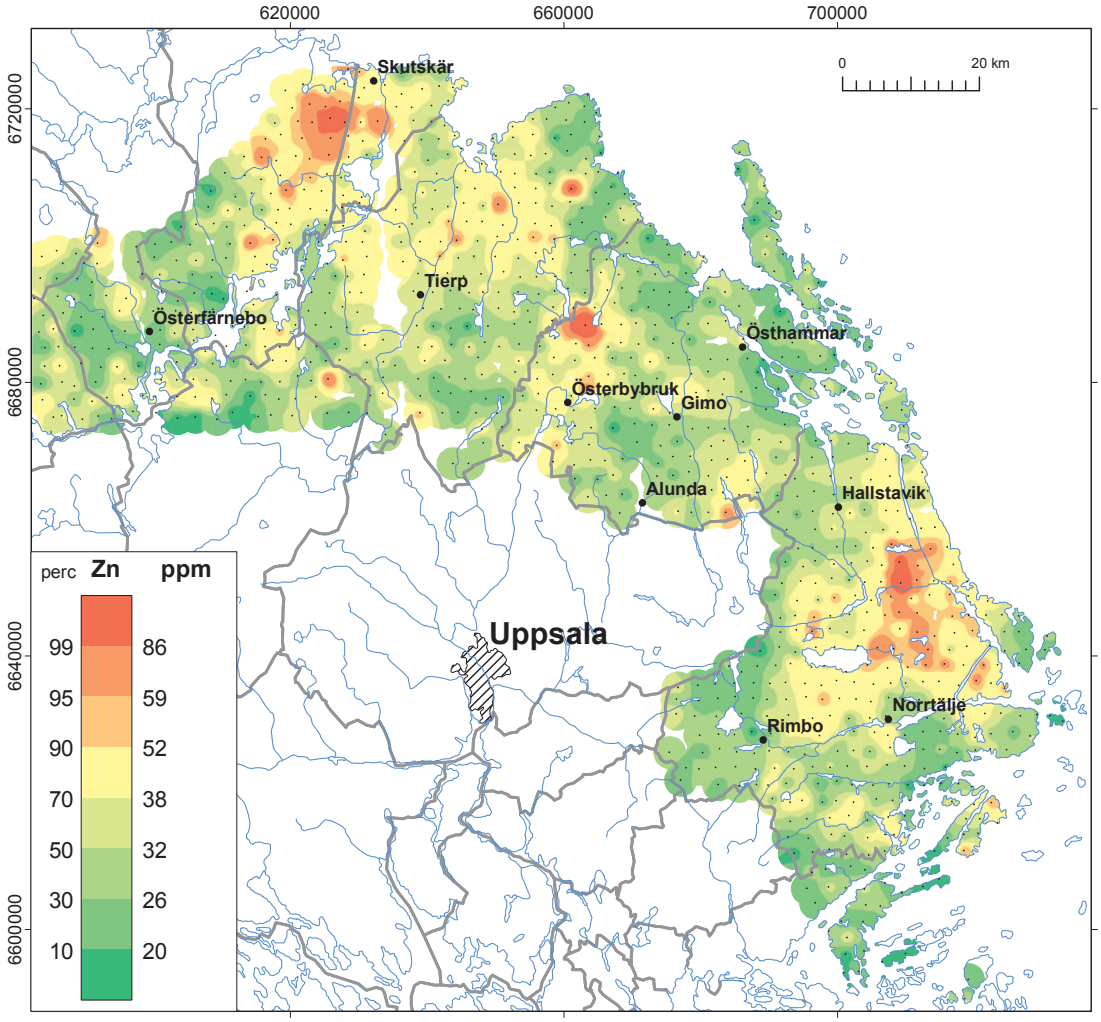

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc U ppm
99 6,7
95 3,9
90 3,1
70 2,0
50 1,6
30 1,3
10 1,0

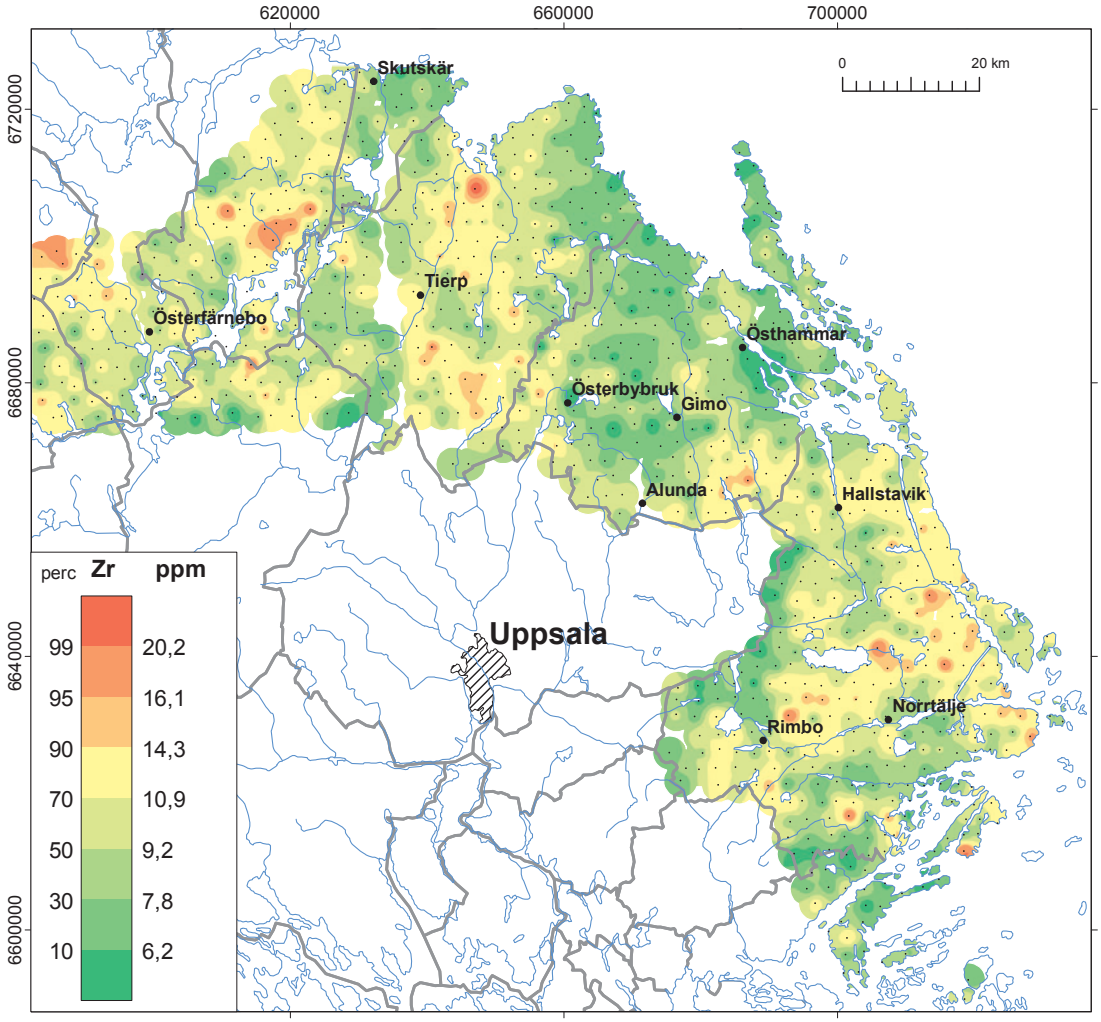

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc V ppm
99 43
95 34
90 30
70 22
50 18
30 15
10 11


620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc W ppm
99 0,42
95 0,25
90 0,19
70 0,13
50 0,10
30 0,08
10 0,05

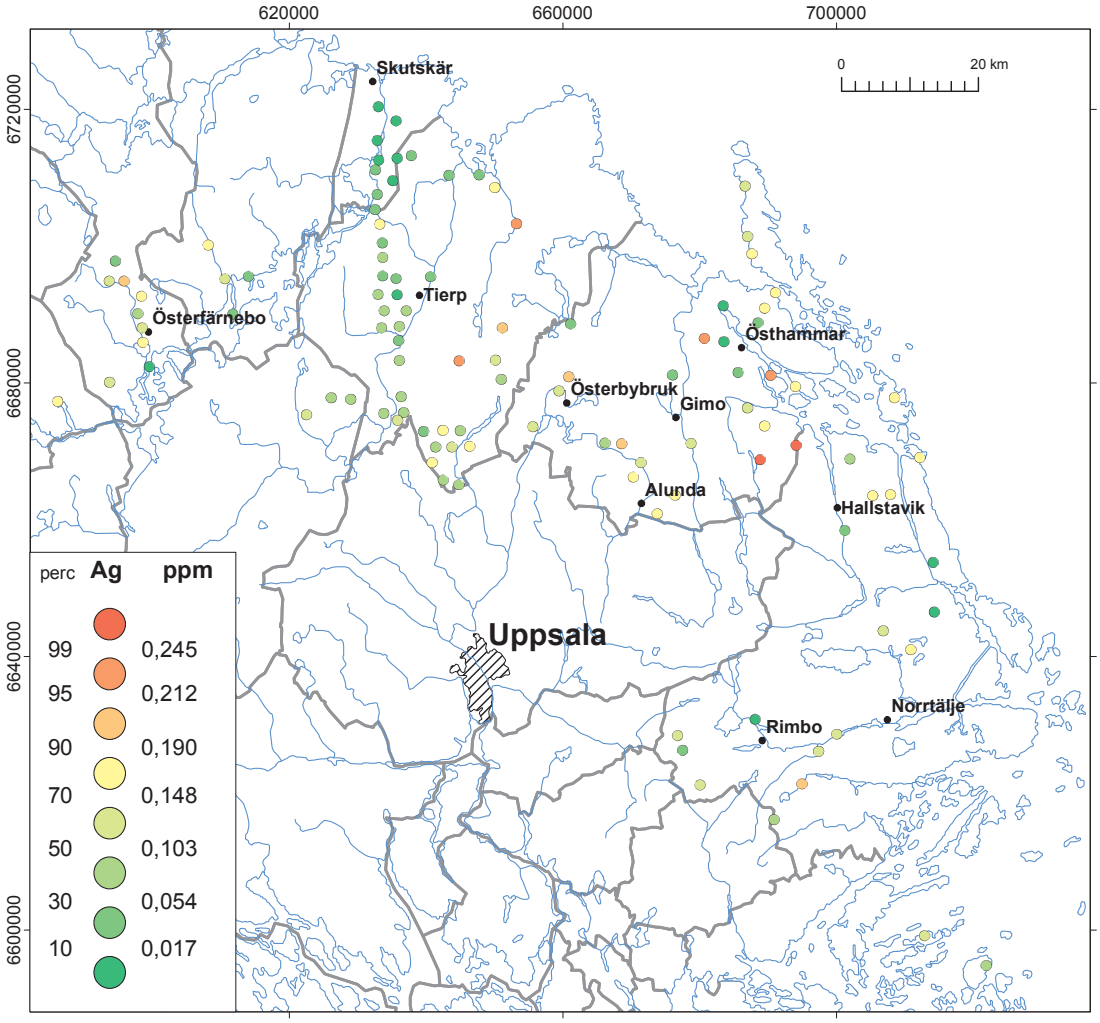

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Y ppm
99 34
95 24
90 20
70 16
50 14
30 12
10 10

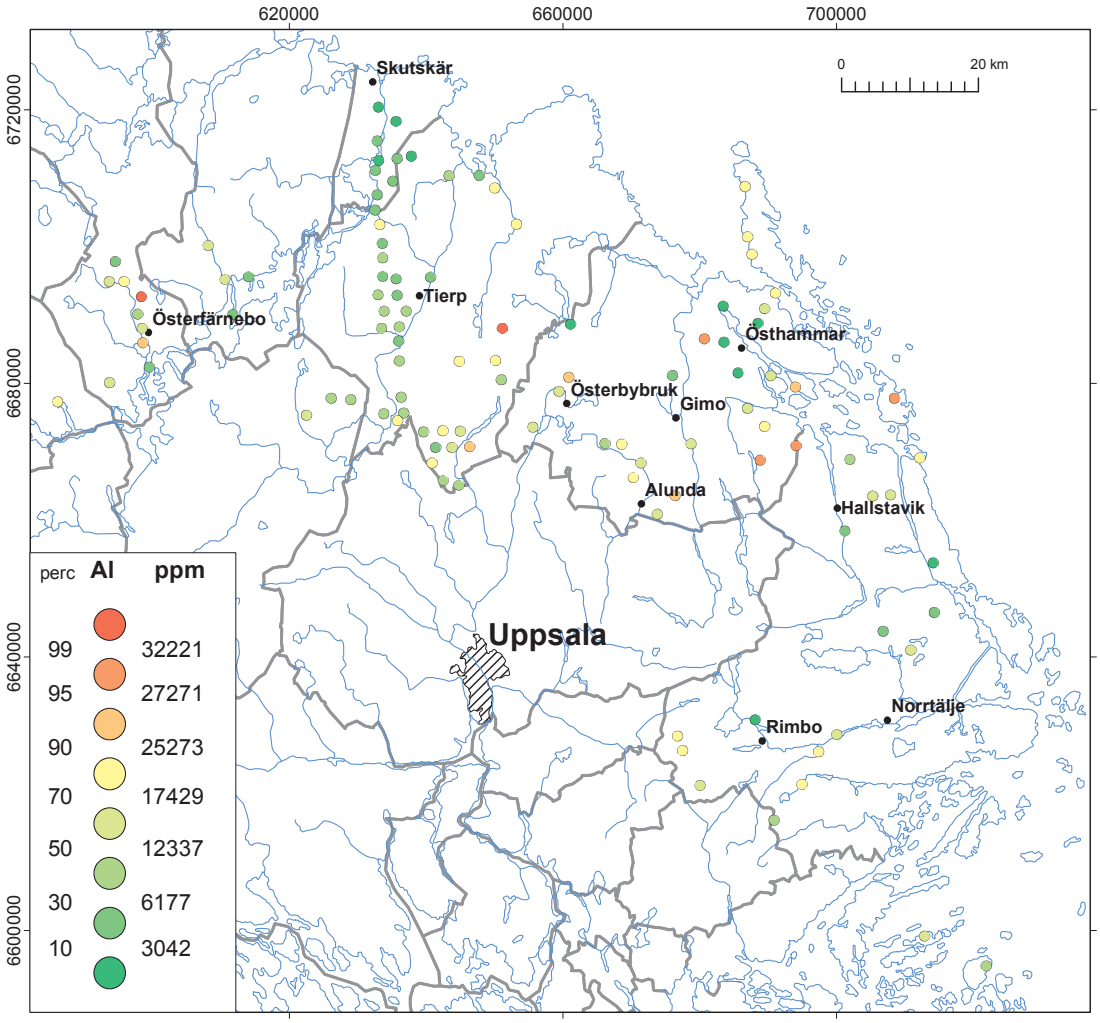

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Yb ppm
99 2,78
95 2,00
90 1,75
70 1,39
50 1,19
30 1,02
10 0,87

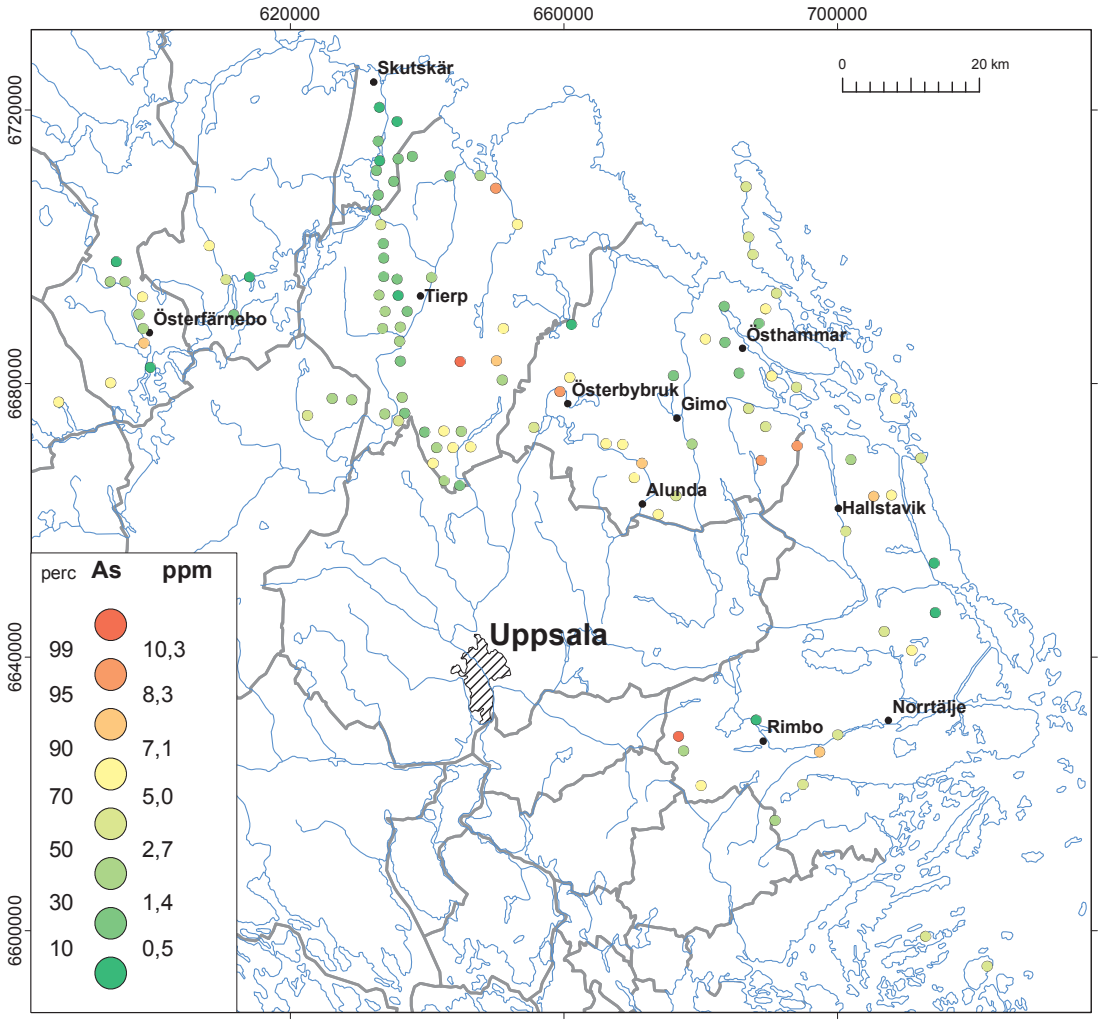

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Zn ppm
99 86
95 59
90 52
70 38
50 32
30 26
10 20

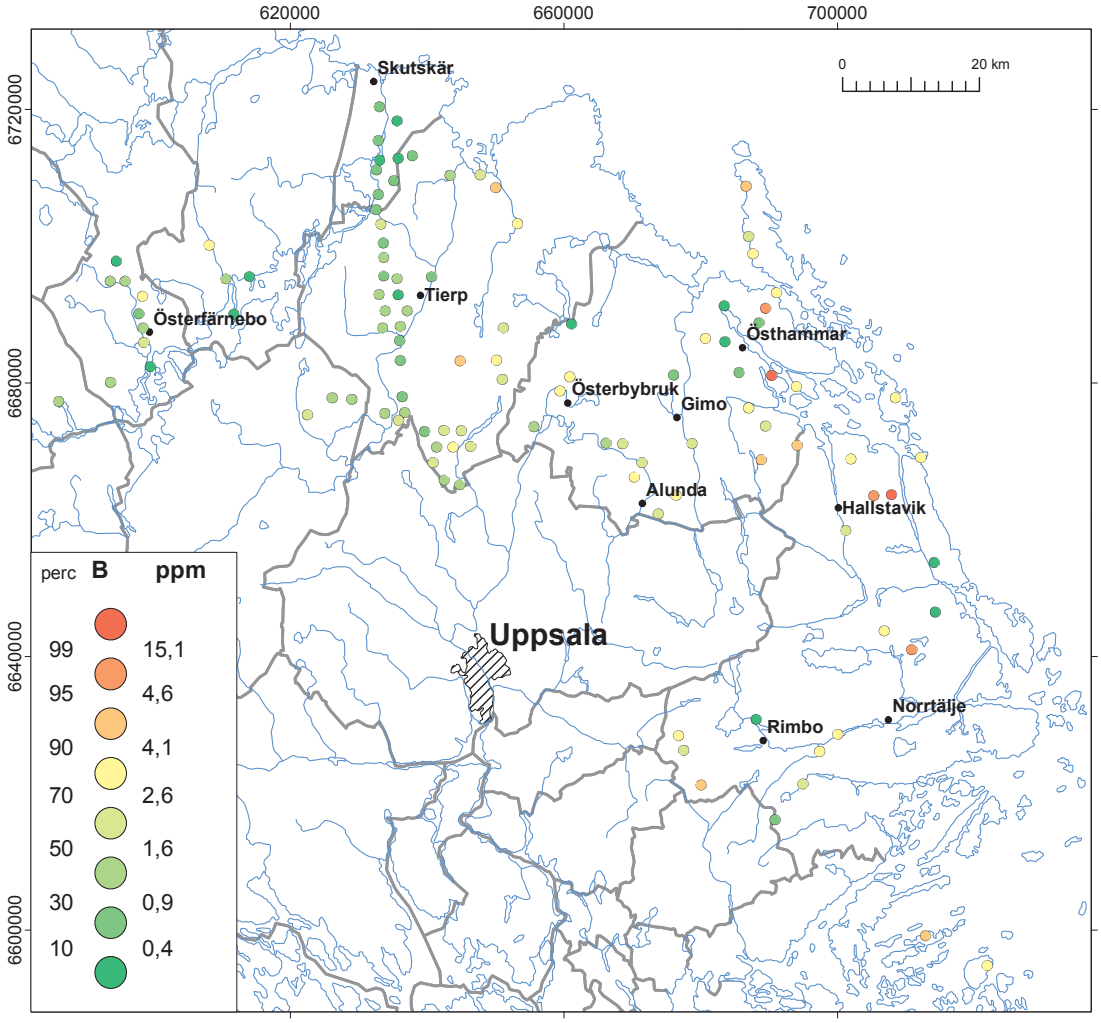

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Norrtälje
Rimbo
perc Zr ppm
99 20,2
95 16,1
90 14,3
70 10,9
50 9,2
30 7,8
10 6,2

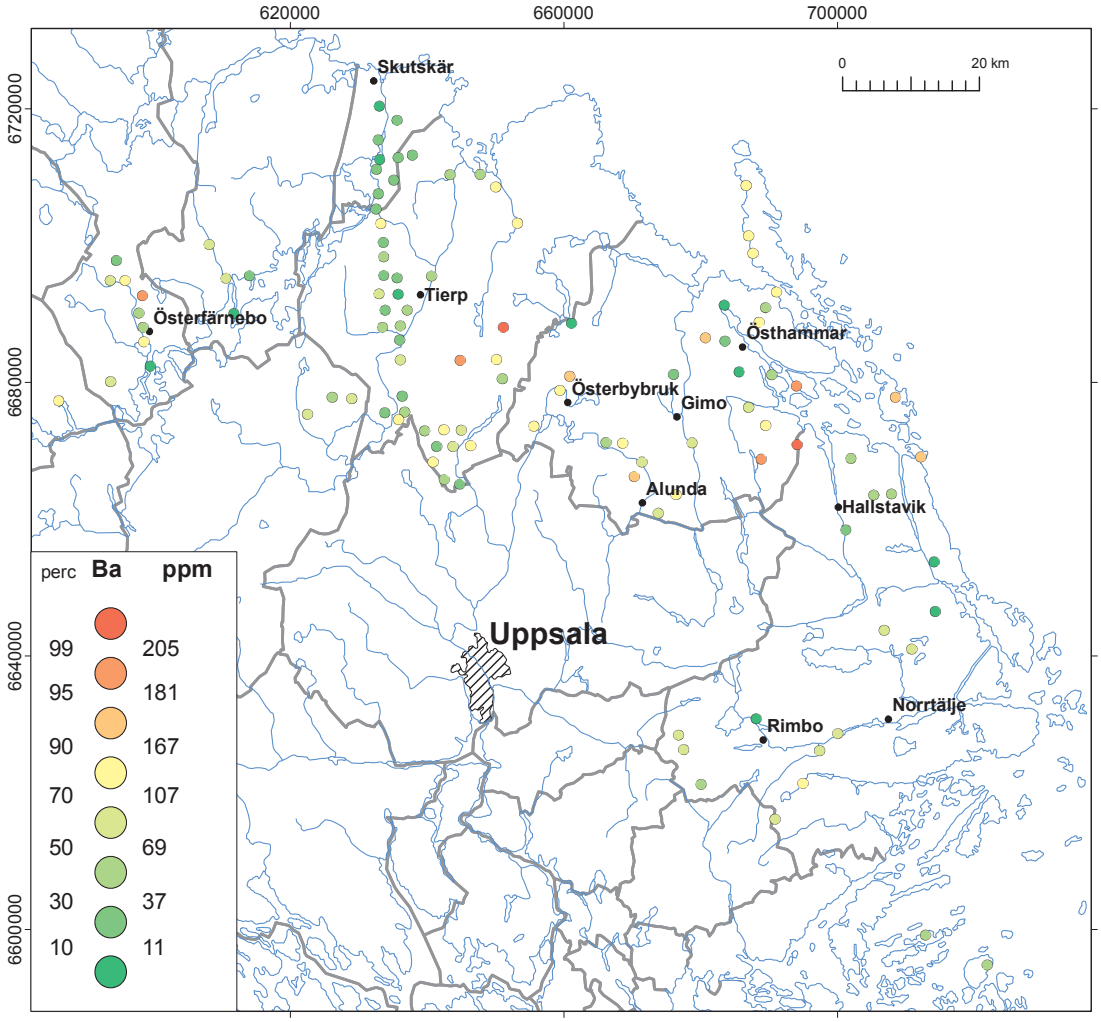
Förekomst av huvud- och spårelement samt pH i sediment

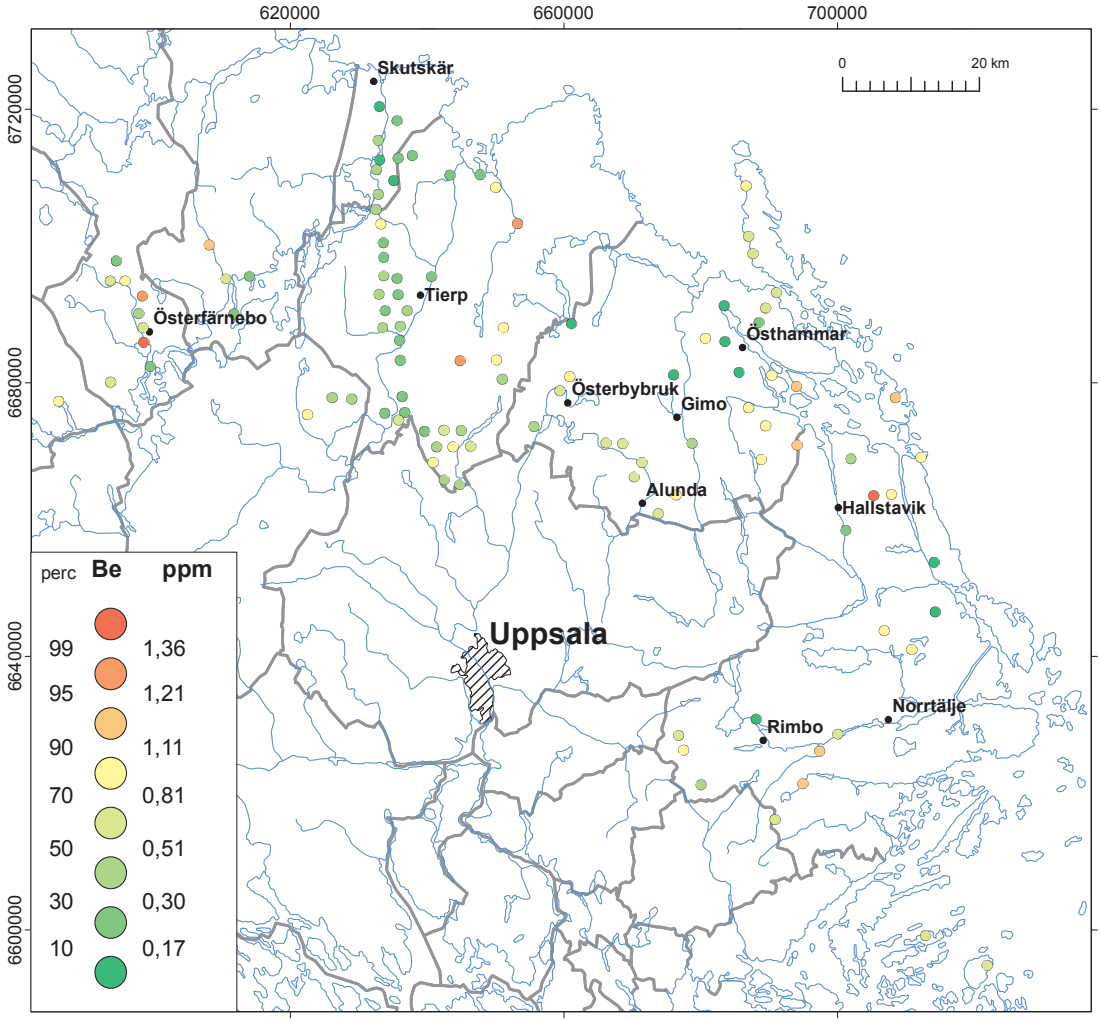


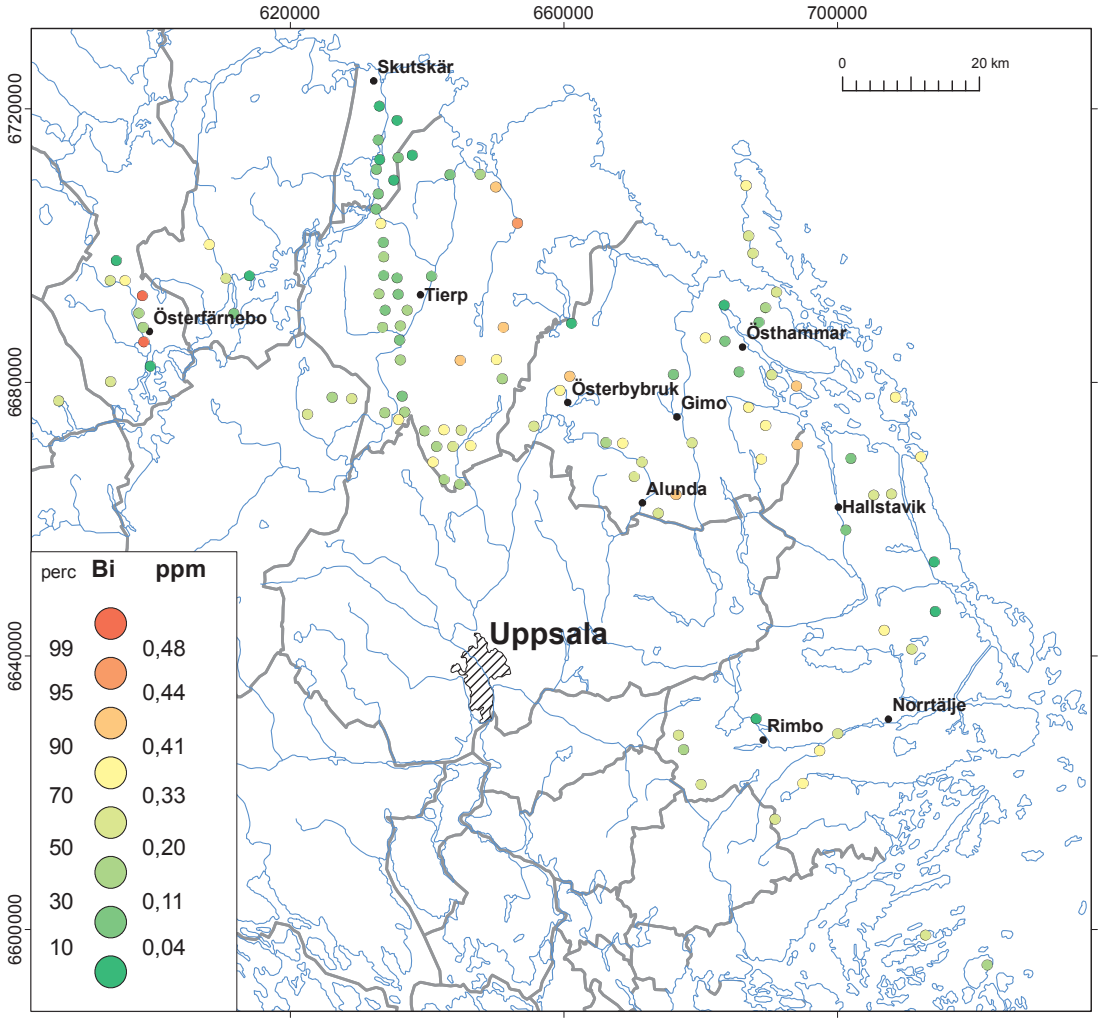


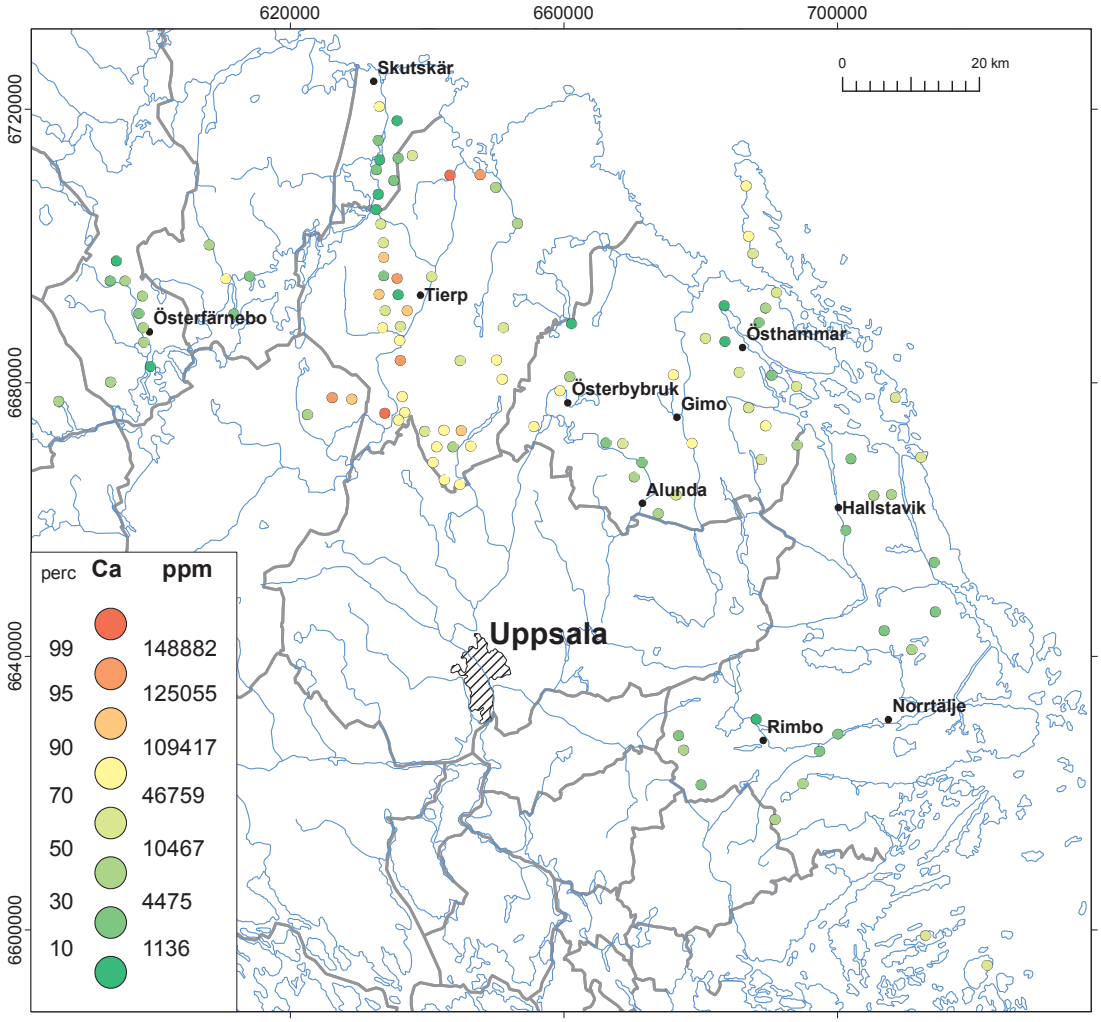

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc As ppm
99 10,3
95 8,3
90 7,1
70 5,0
50 2,7
30 1,4
10 0,5

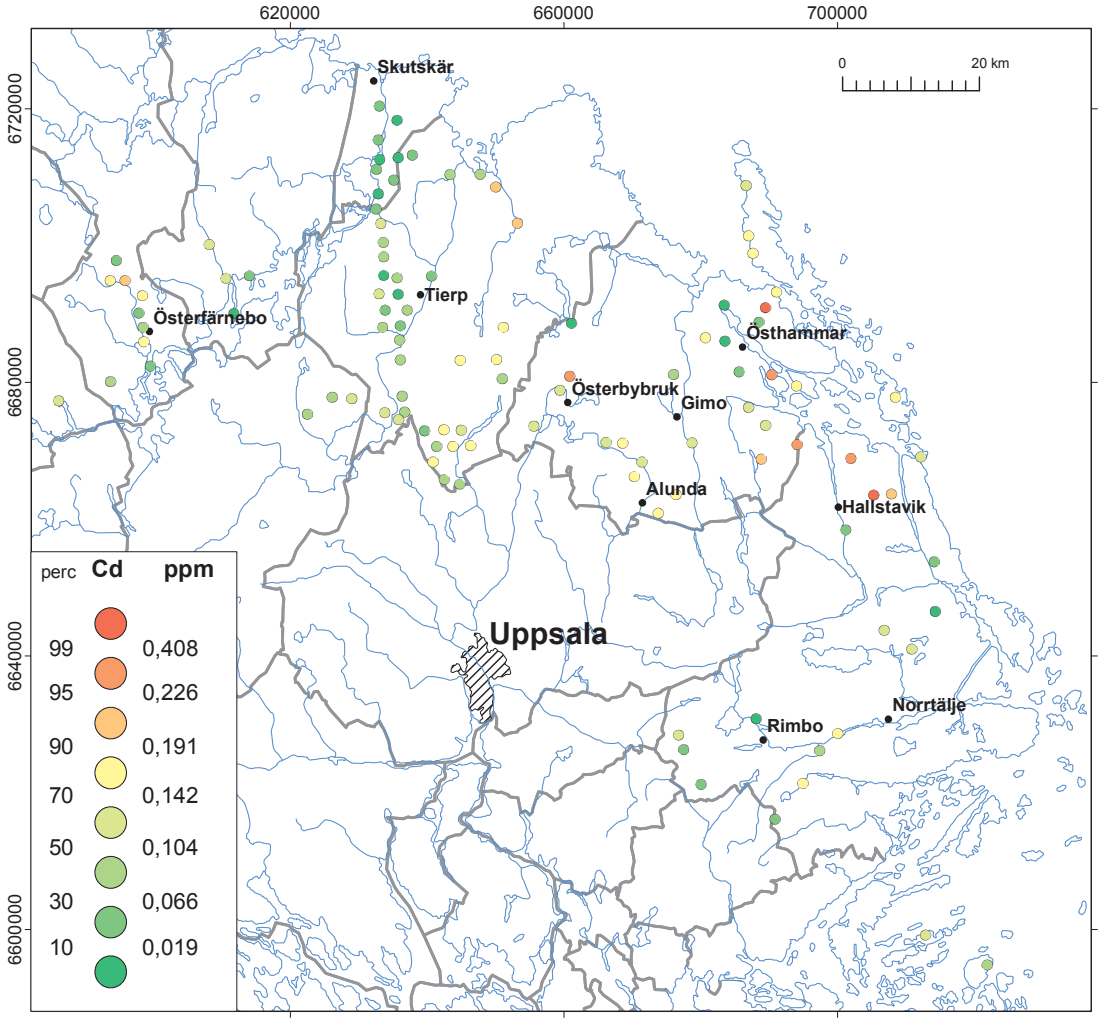

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc B ppm
99 15,1
95 4,6
90 4,1
70 2,6
50 1,6
30 0,9
10 0,4

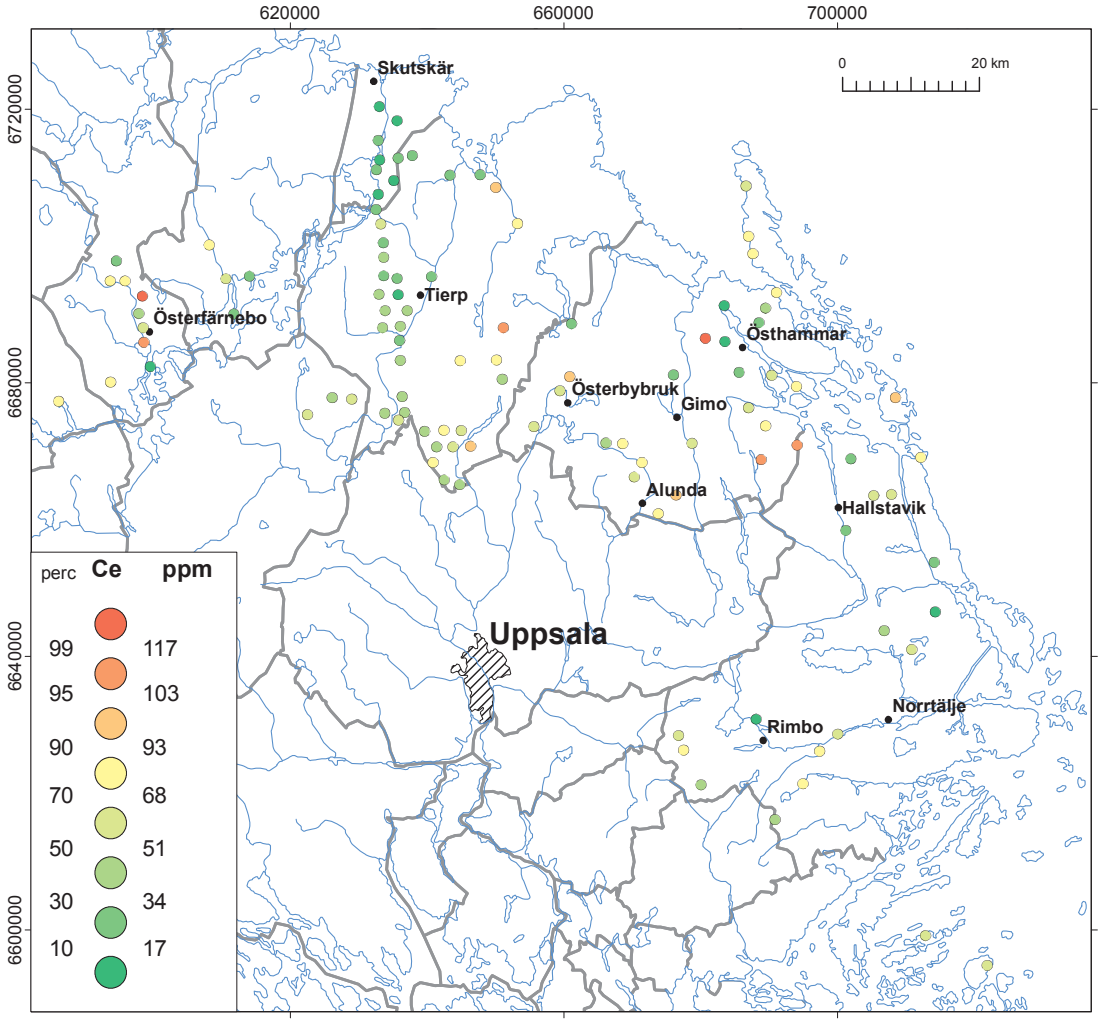

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Ba ppm
99 205
95 181
90 167
70 107
50 69
30 37
10 11

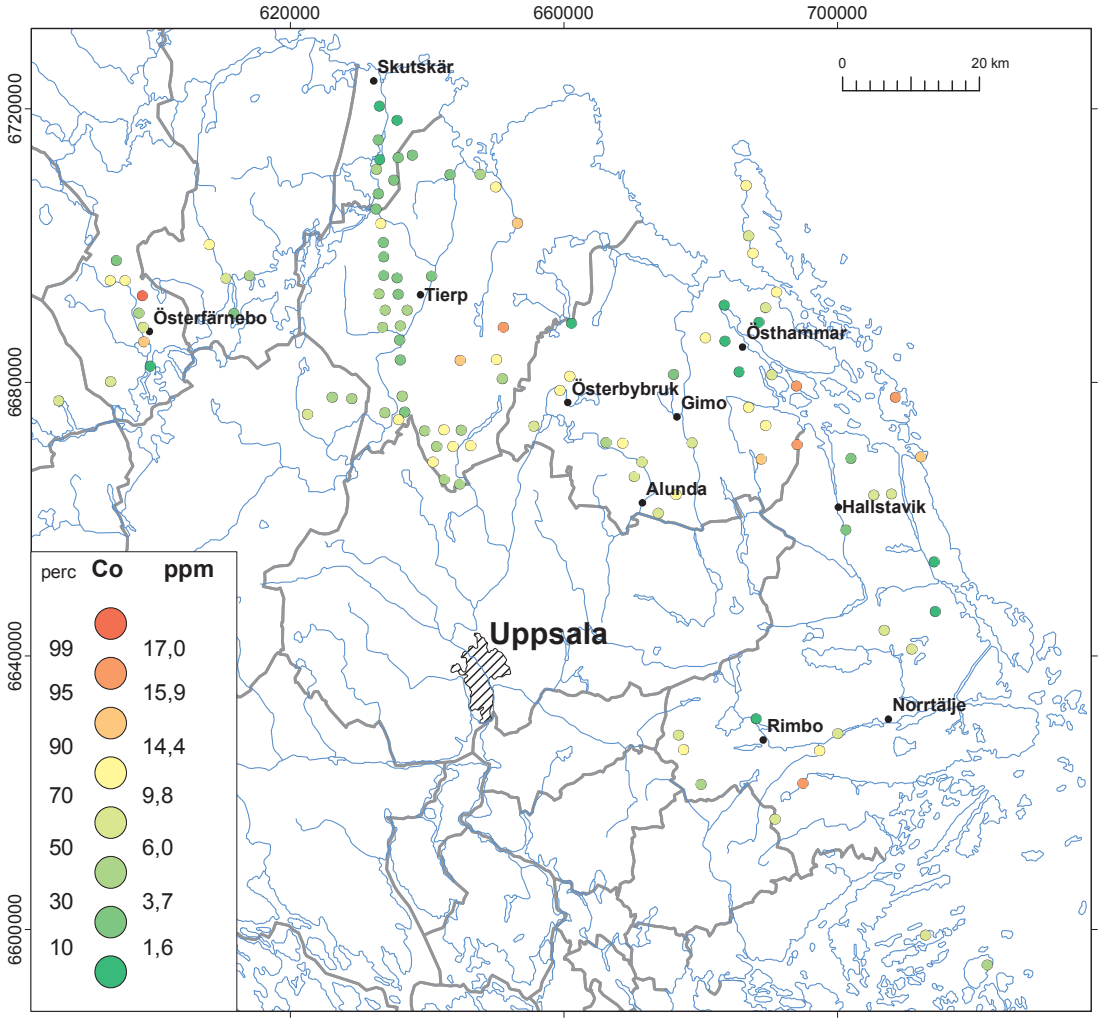

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Be ppm
99 1,36
95 1,21
90 1,11
70 0,81
50 0,51
30 0,30
10 0,17

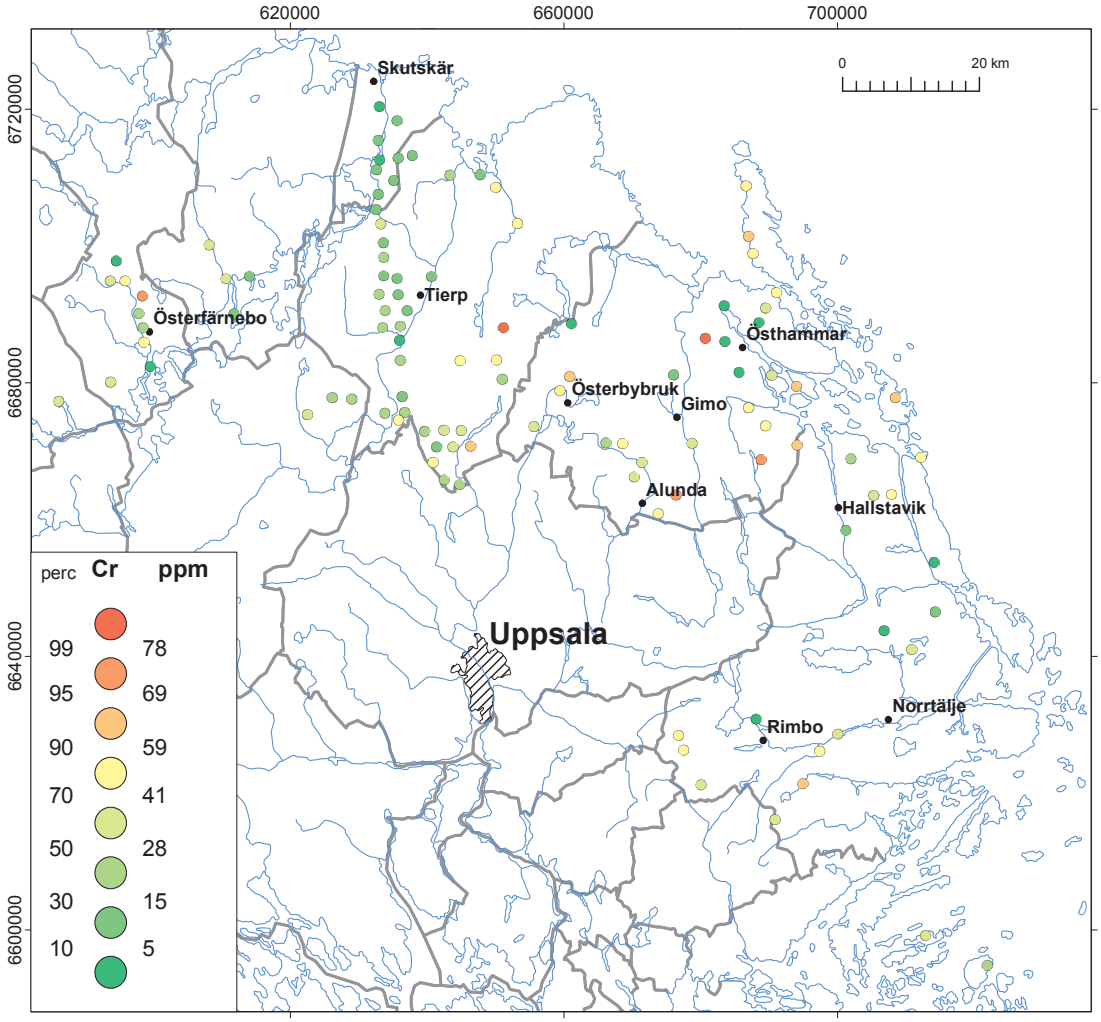

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Bi
ppm
99
0,48
95
0,44
90
0,41
70
0,33
50
0,20
30
0,11
10
0,04

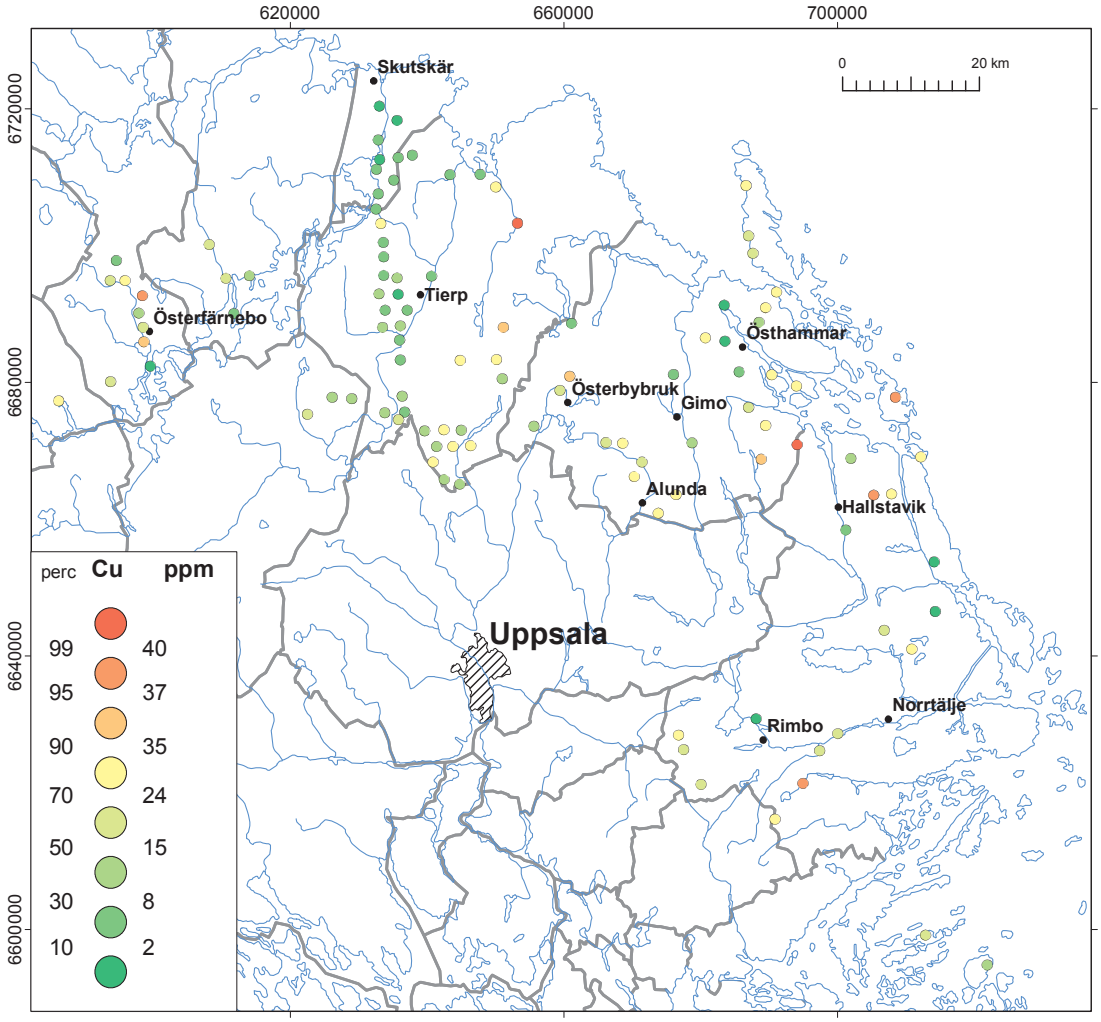

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Ca
ppm
99
148882
95
125055
90
109417
70
46759
50
10467
30
4475
10
1136

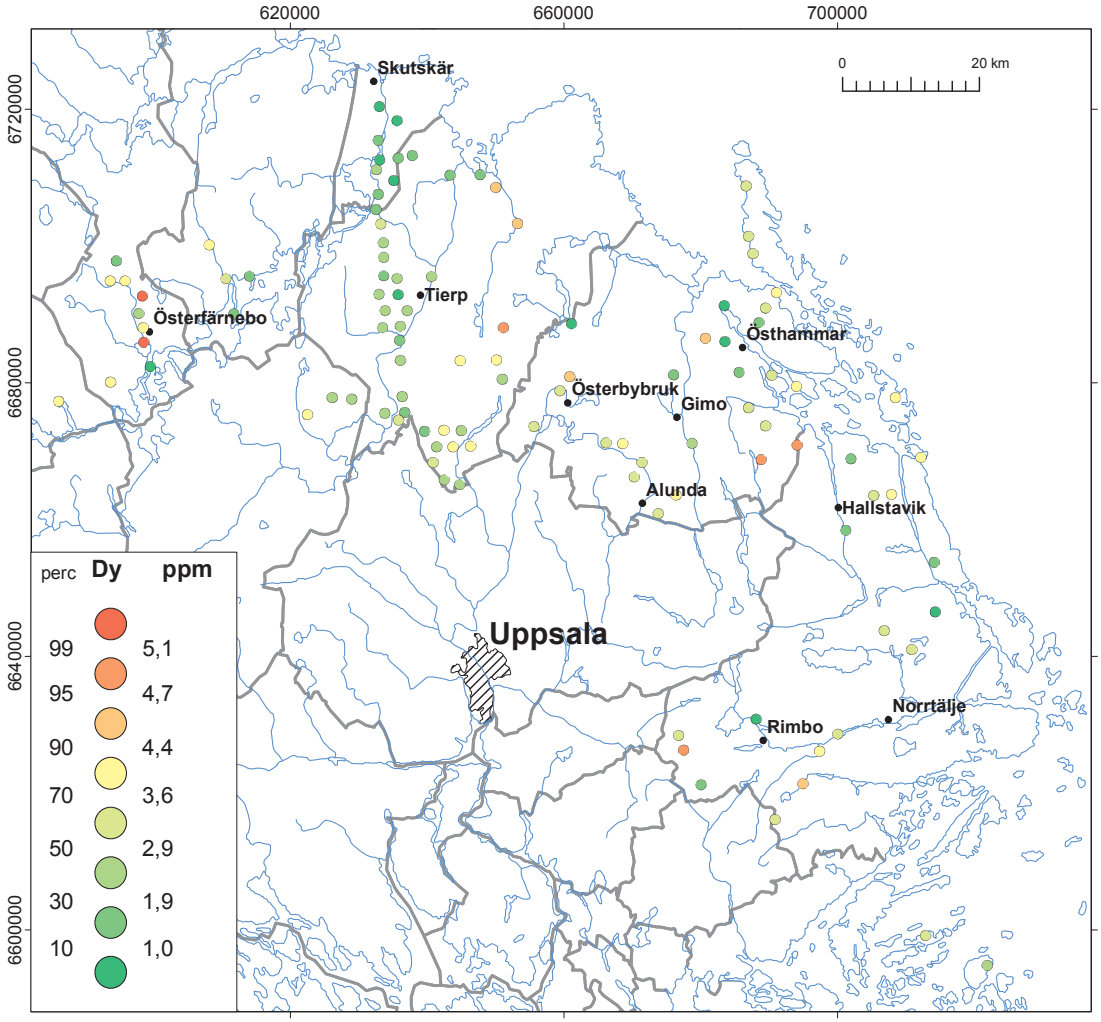

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Österbybruk
Gimo
Östhammar
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Cd ppm
99 0,408
95 0,226
90 0,191
70 0,142
50 0,104
30 0,066
10 0,019

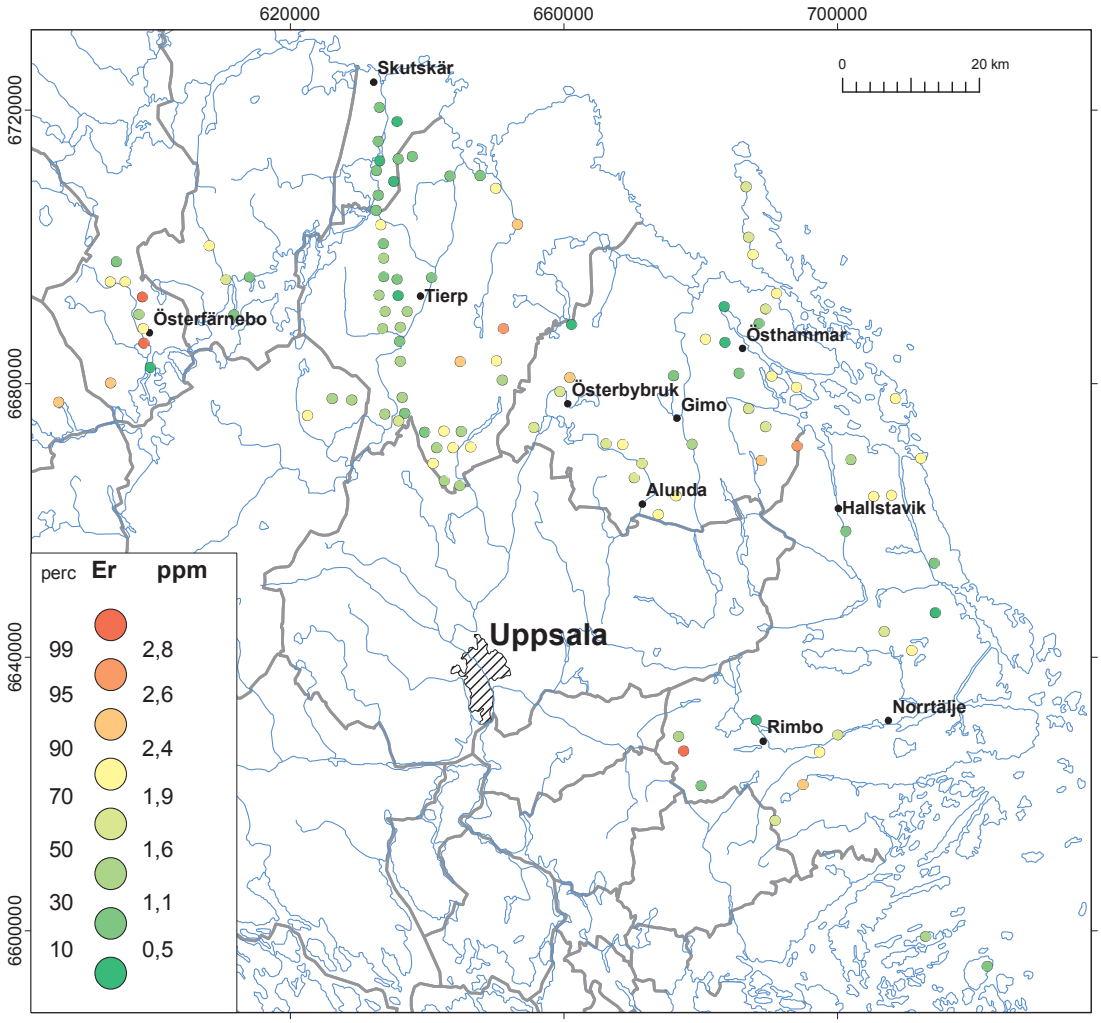

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Österbybruk
Gimo
Östhammar
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Ce ppm
99 117
95 103
90 93
70 68
50 51
30 34
10 17

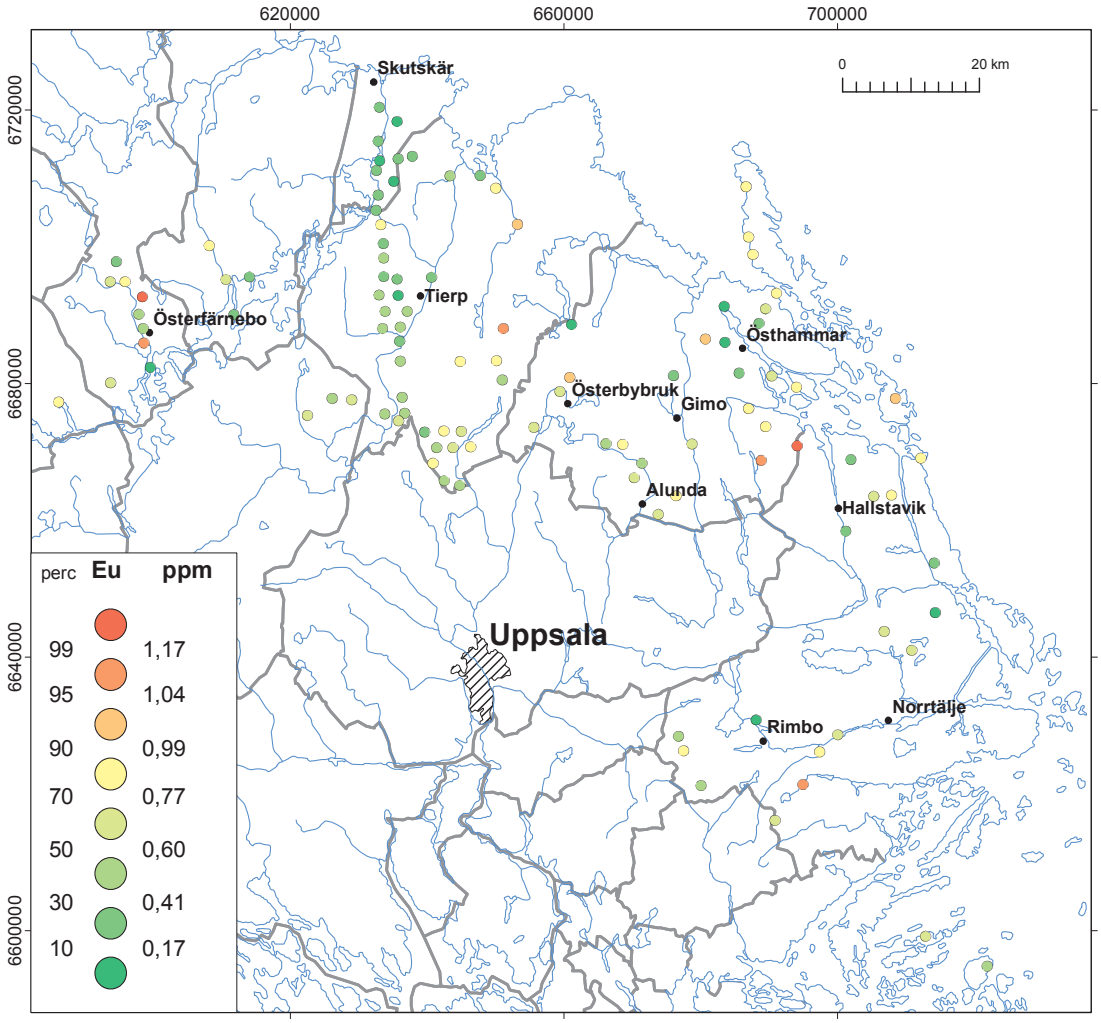

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Co
ppm
99
17,0
95
15,9
90
14,4
70
9,8
50
6,0
30
3,7
10
1,6

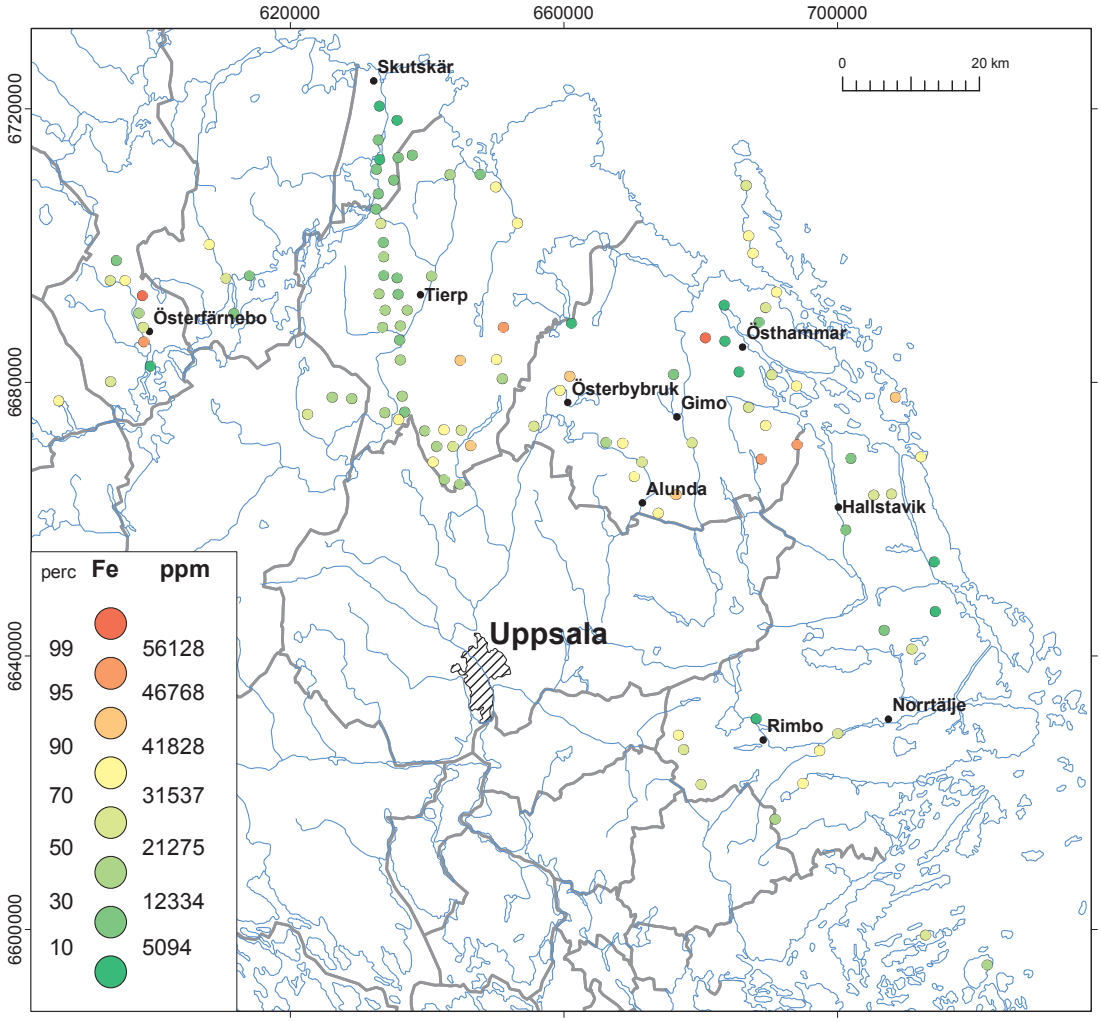

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Cr
ppm
99
78
95
69
90
59
70
41
50
28
30
15
10
5

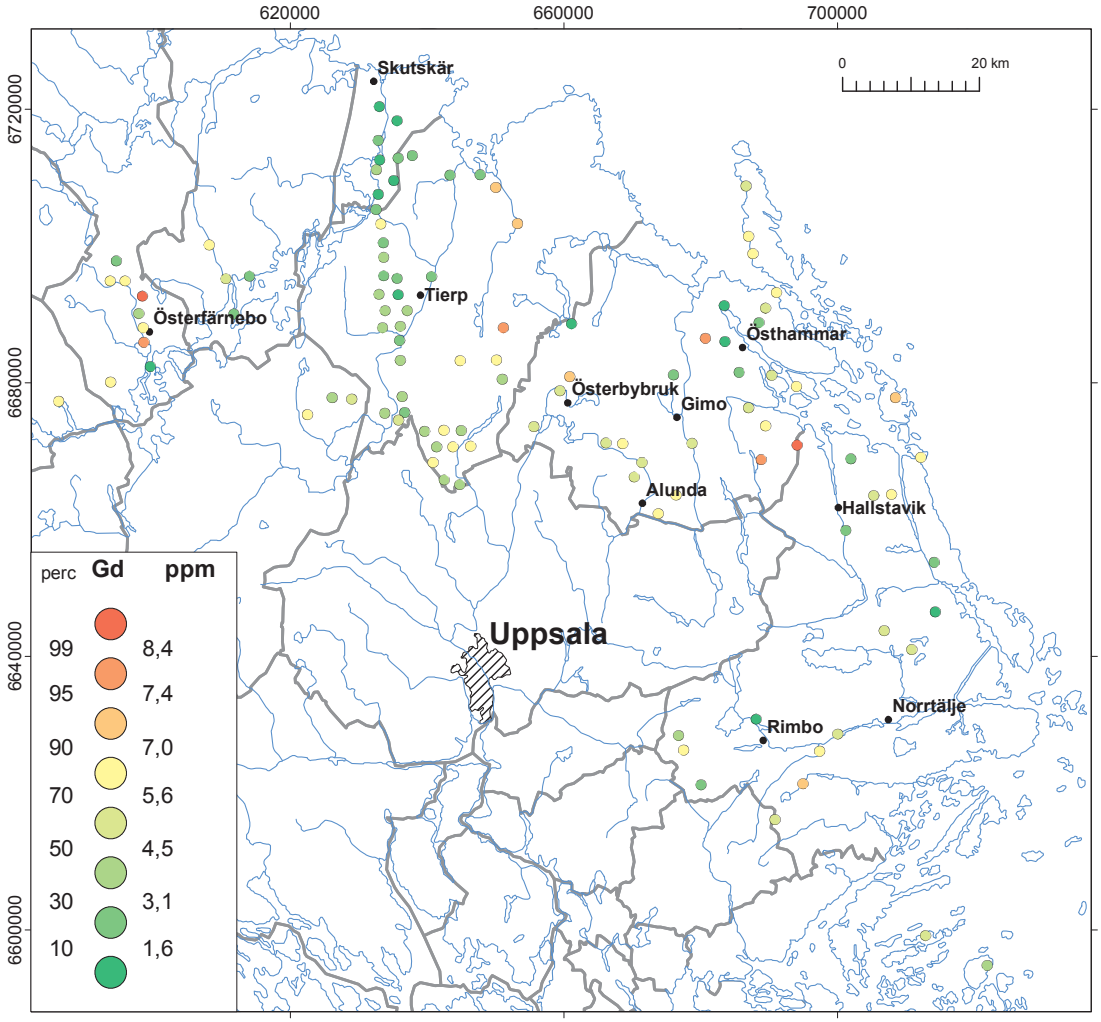

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Cu ppm
99 40
95 37
90 35
70 24
50 15
30 8
10 2

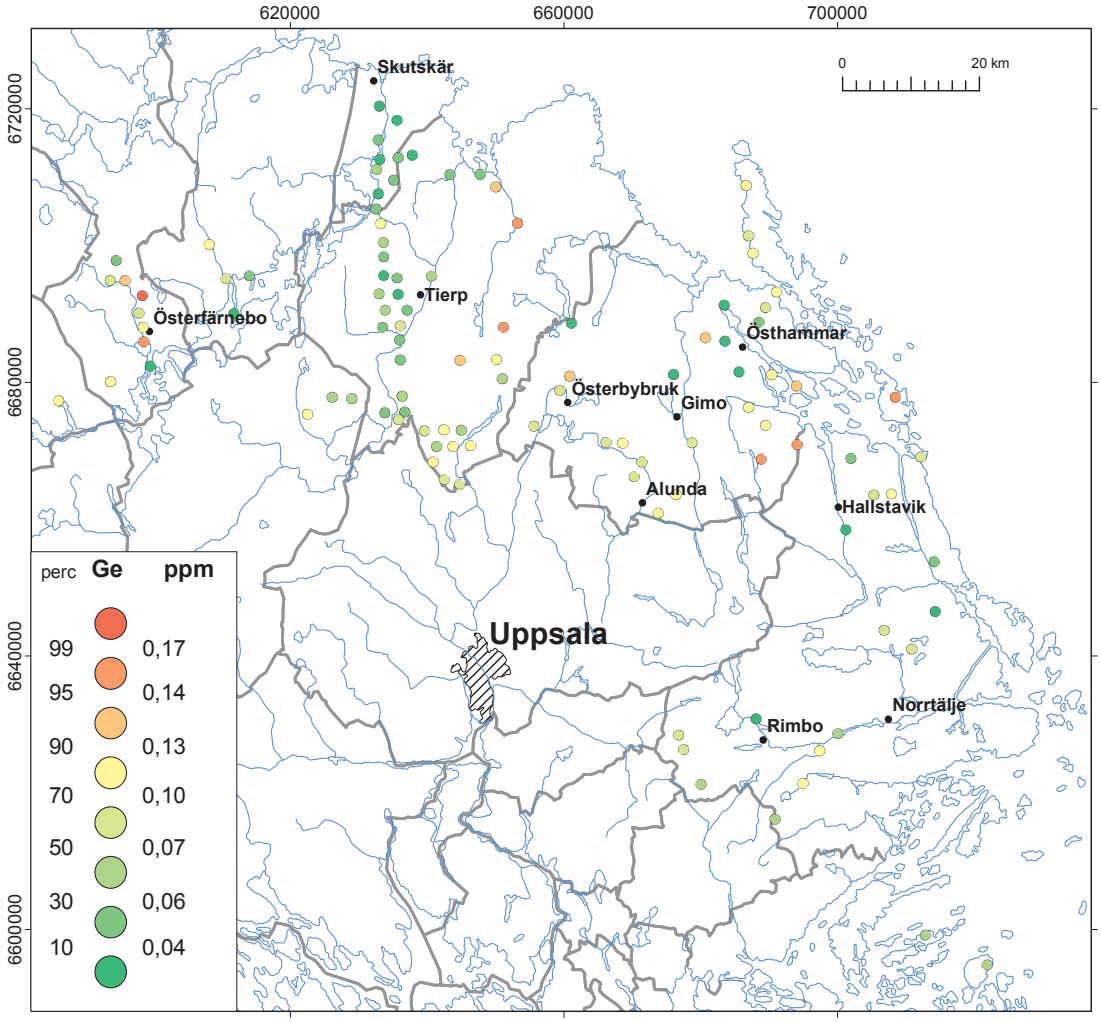

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Dy ppm
99 5,1
95 4,7
90 4,4
70 3,6
50 2,9
30 1,9
10 1,0

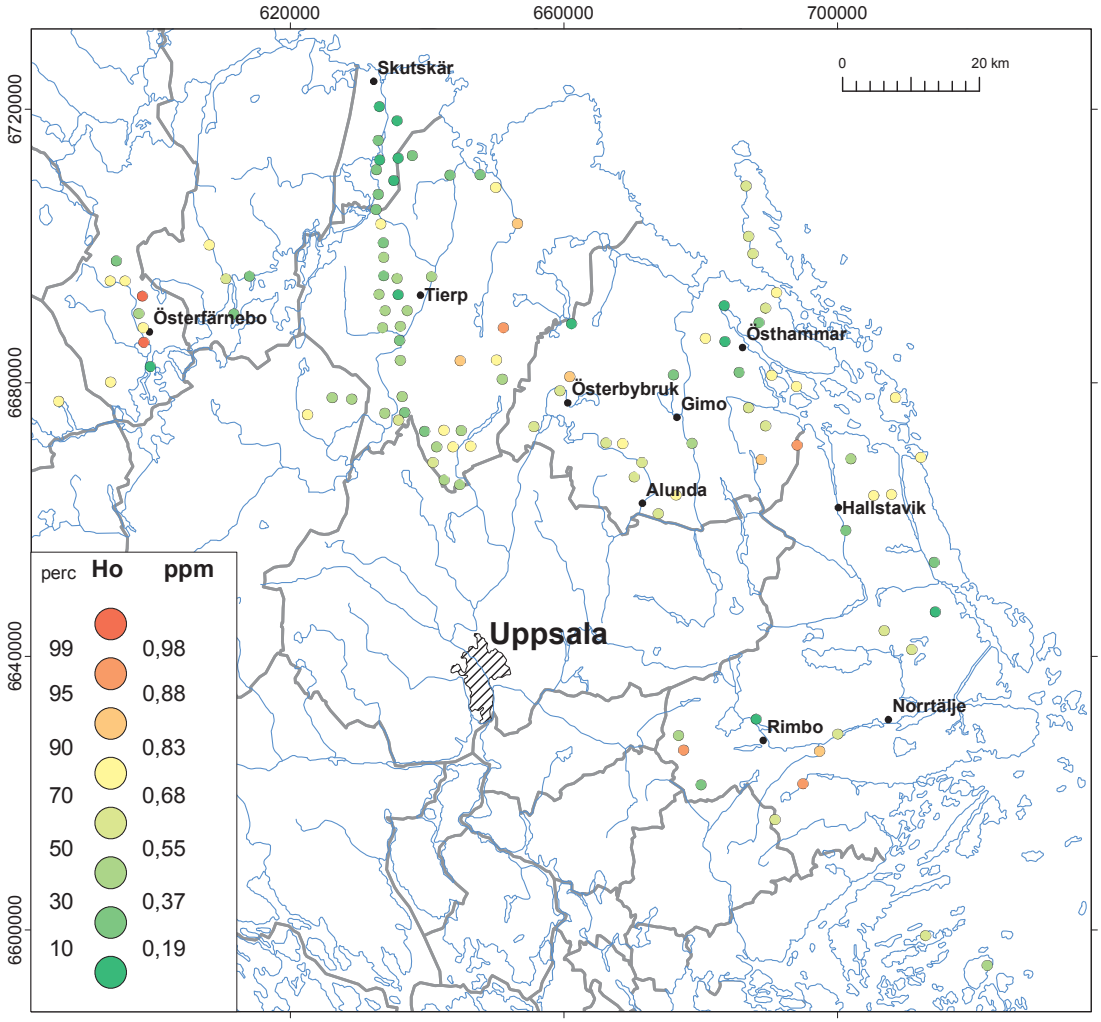

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Er
ppm
99
2,8
95
2,6
90
2,4
70
1,9
50
1,6
30
1,1
10
0,5

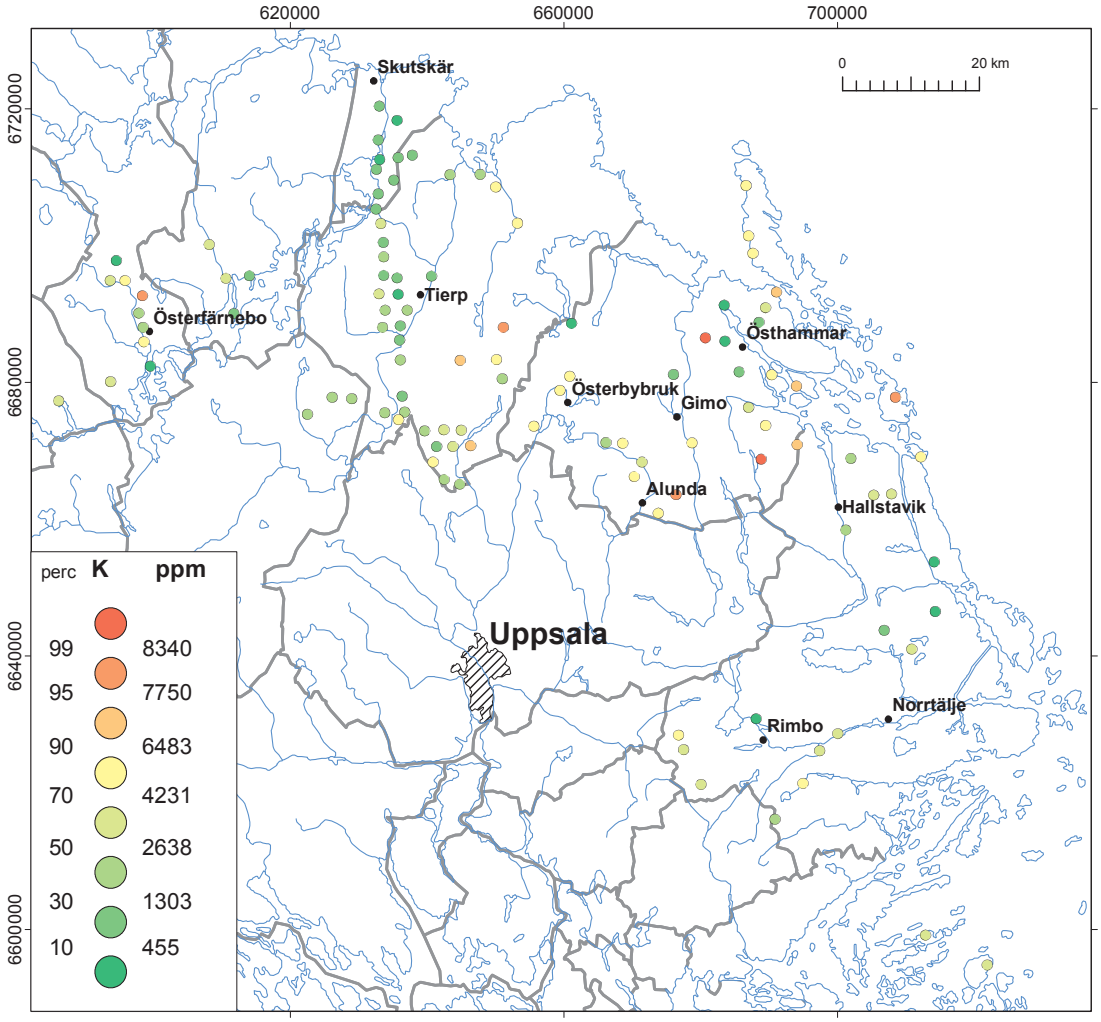

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Eu
ppm
99
1,17
95
1,04
90
0,99
70
0,77
50
0,60
30
0,41
10
0,17

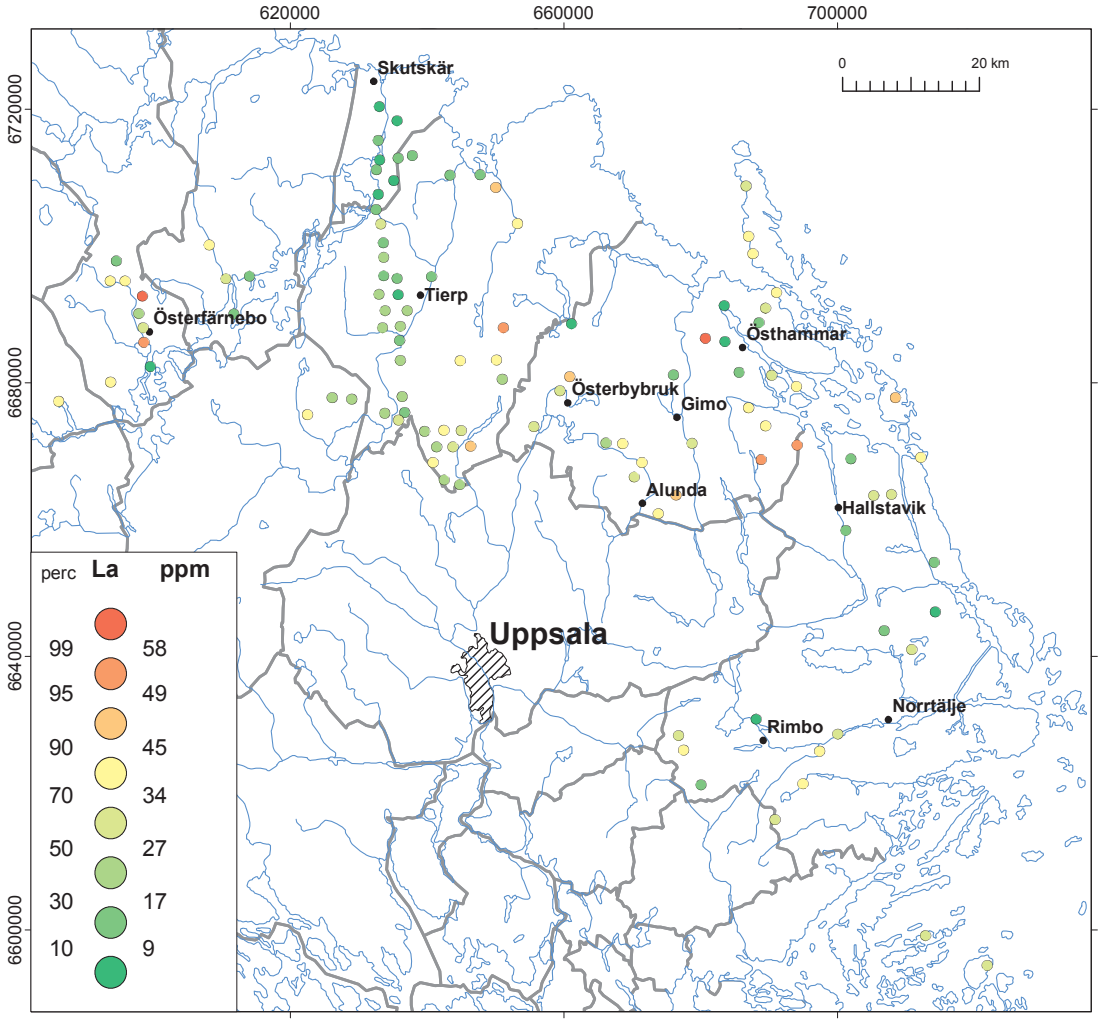

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Fe
ppm
99
56128
95
46768
90
41828
70
31537
50
21275
30
12334
10
5094

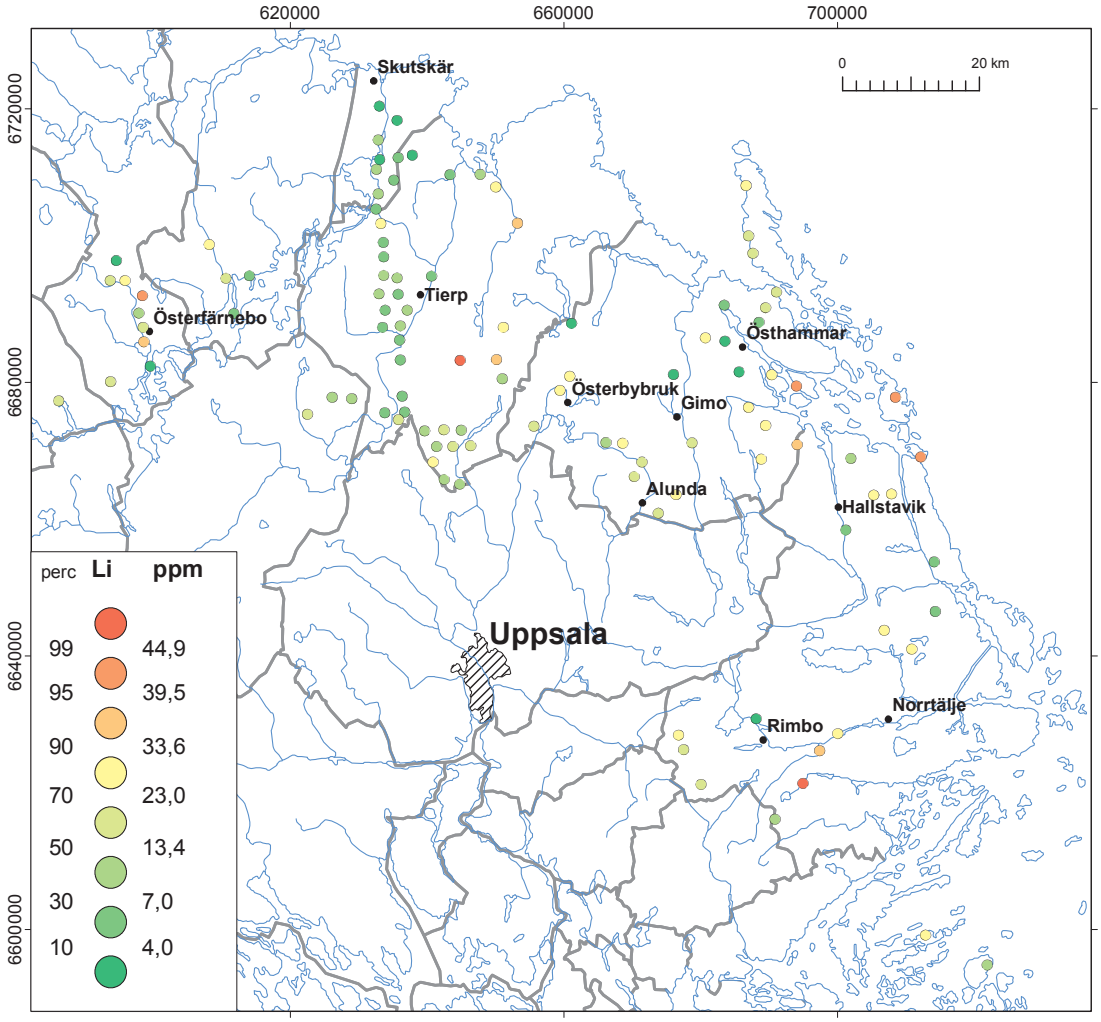

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Gd
ppm
99
8,4
95
7,4
90
7,0
70
5,6
50
4,5
30
3,1
10
1,6

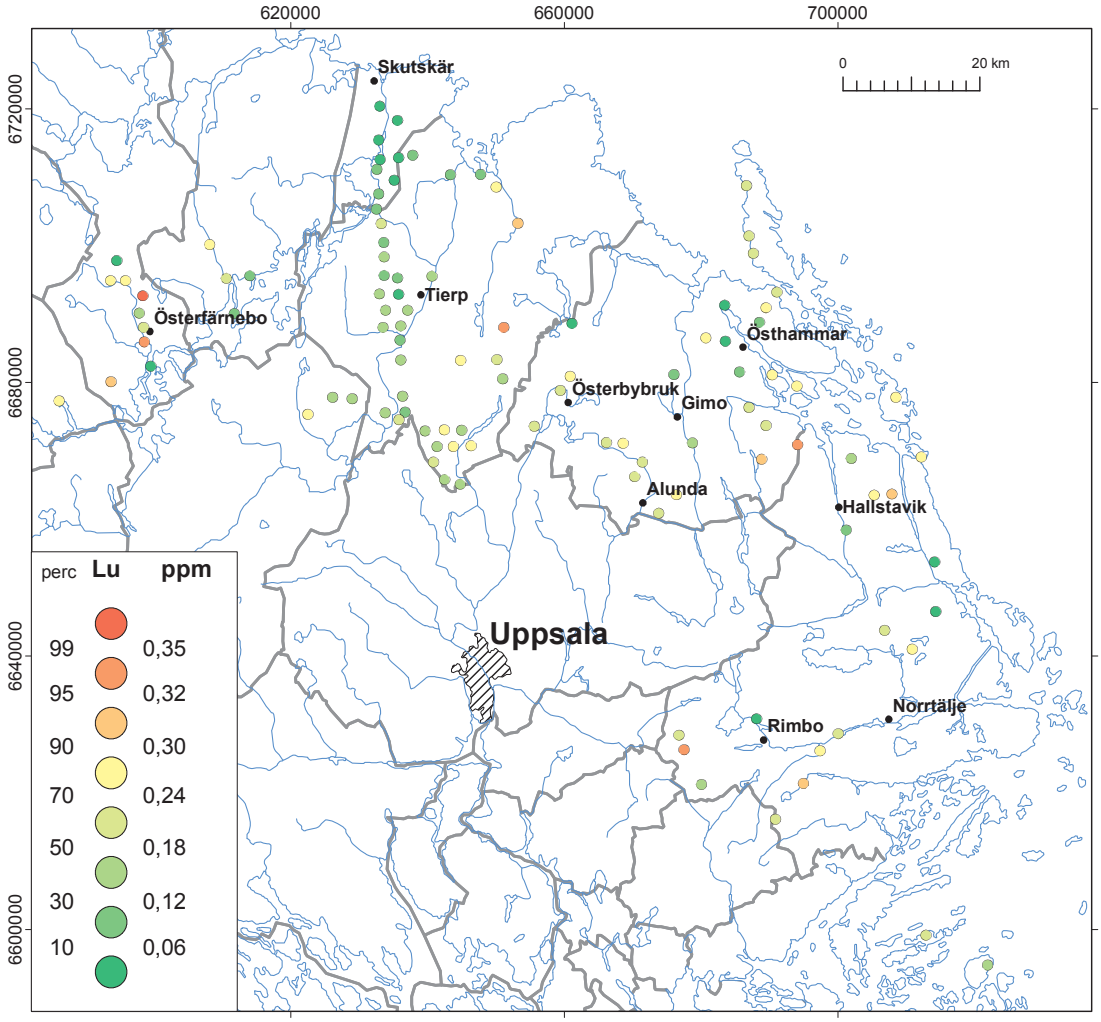

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Ge ppm
99 0,17
95 0,14
90 0,13
70 0,10
50 0,07
30 0,06
10 0,04

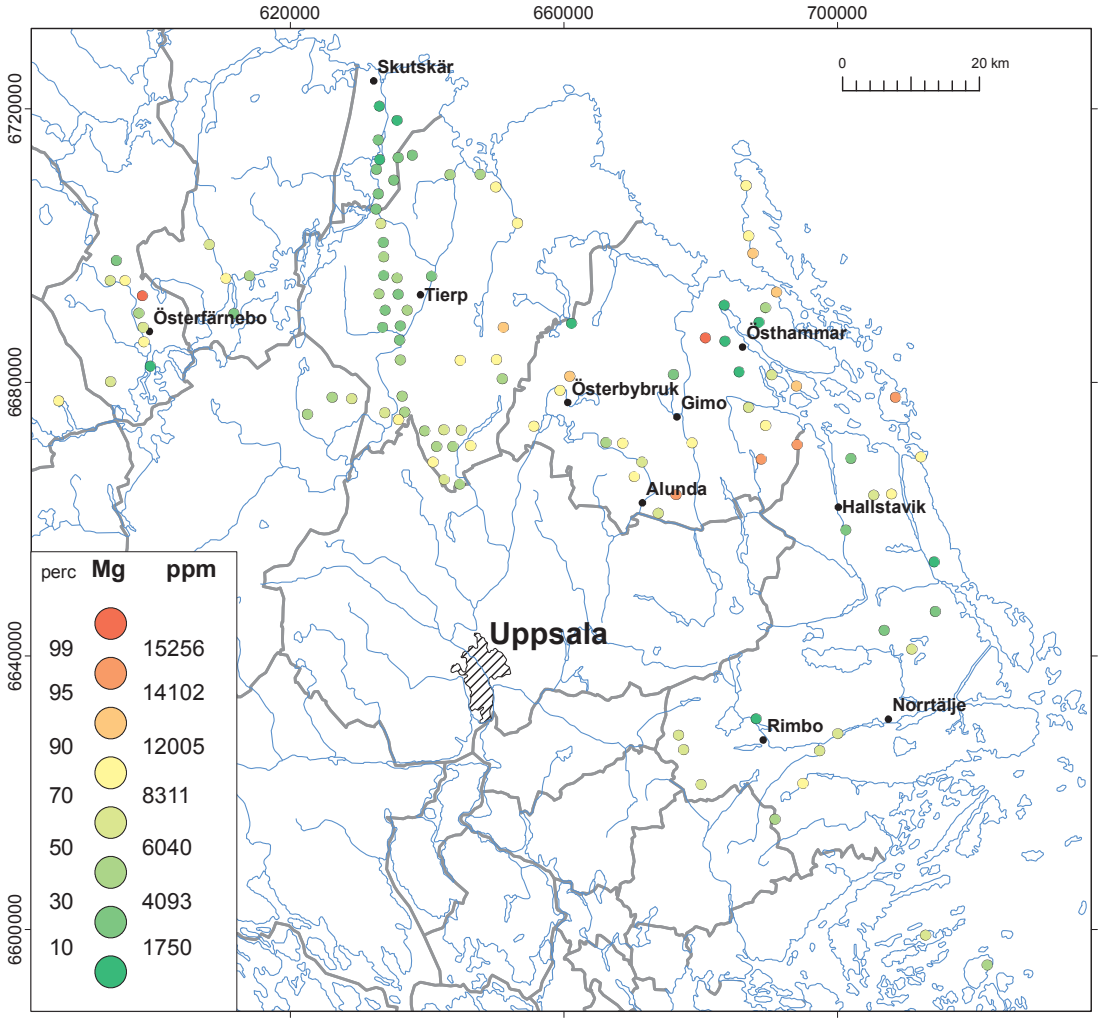

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Ho ppm
99 0,98
95 0,88
90 0,83
70 0,68
50 0,55
30 0,37
10 0,19

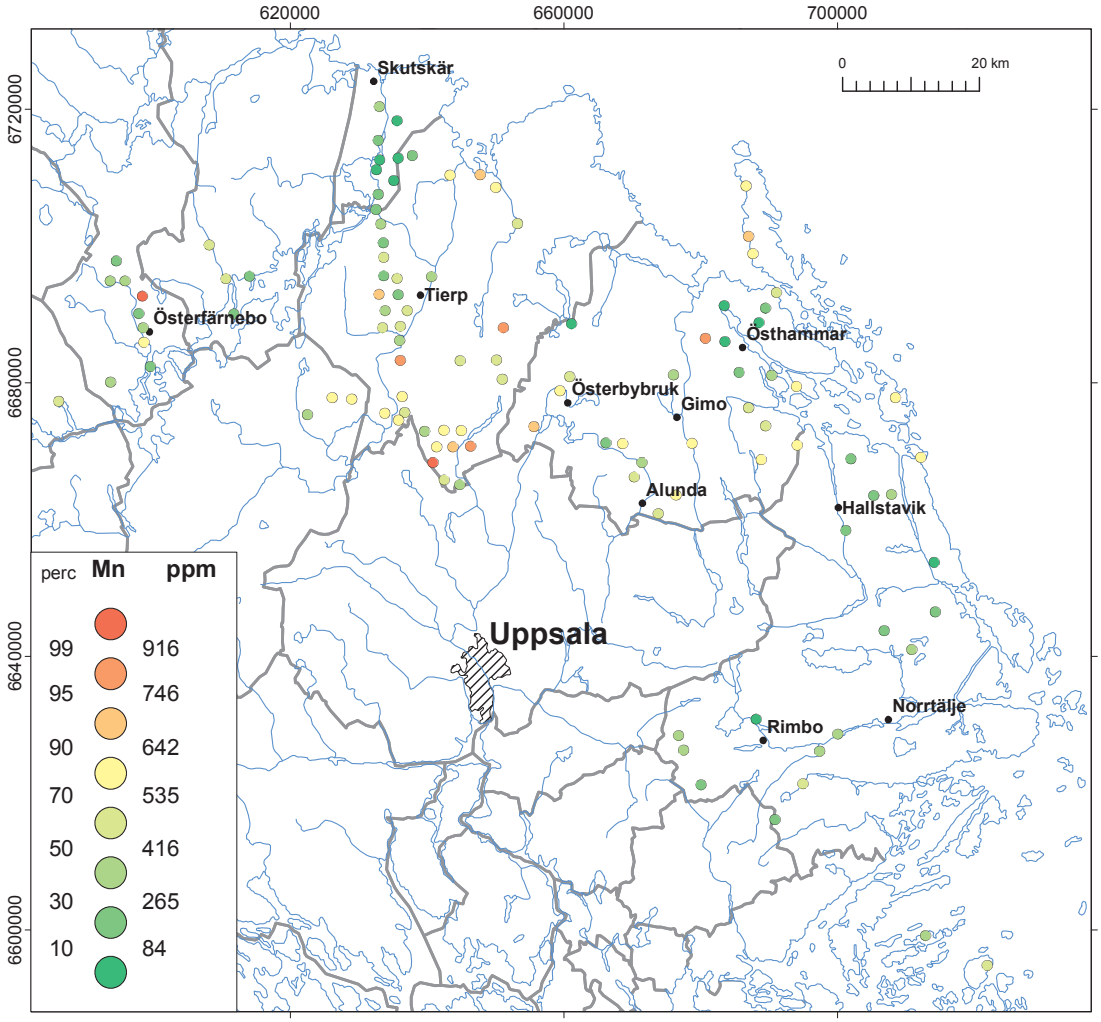

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
K
ppm
99
8340
95
7750
90
6483
70
4231
50
2638
30
1303
10
455

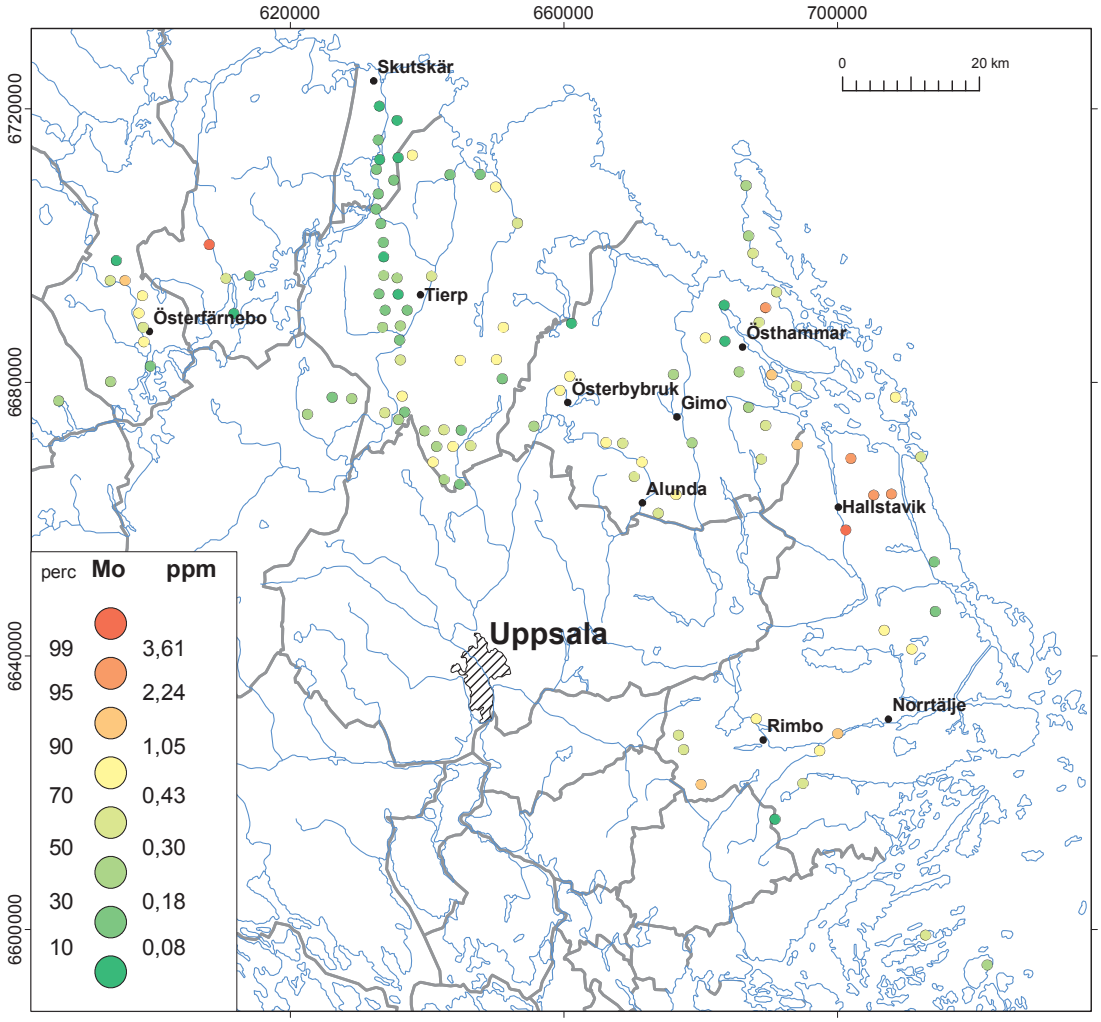

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
La
ppm
99
58
95
49
90
45
70
34
50
27
30
17
10
9

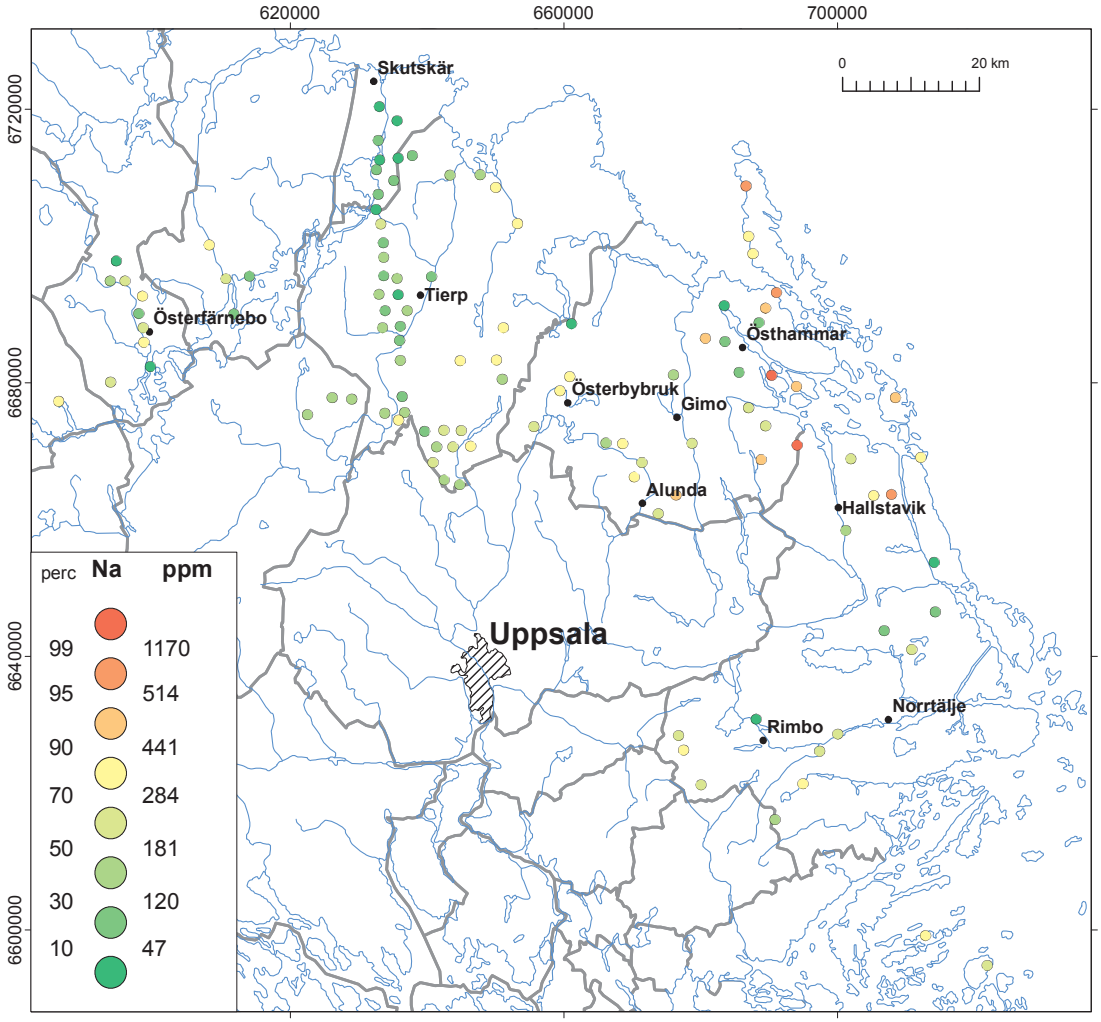

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Li ppm
99 44,9
95 39,5
90 33,6
70 23,0
50 13,4
30 7,0
10 4,0

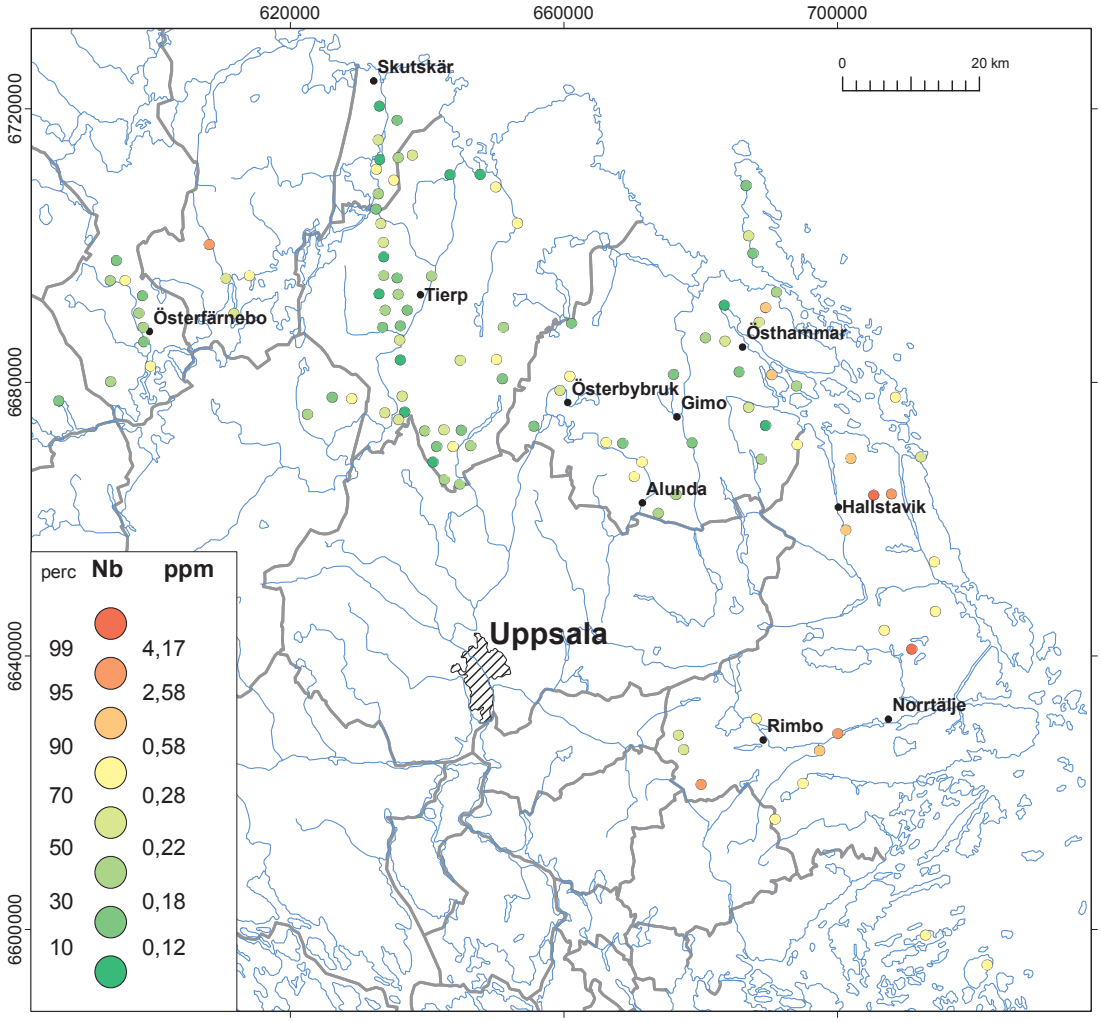

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Lu ppm
99 0,35
95 0,32
90 0,30
70 0,24
50 0,18
30 0,12
10 0,06

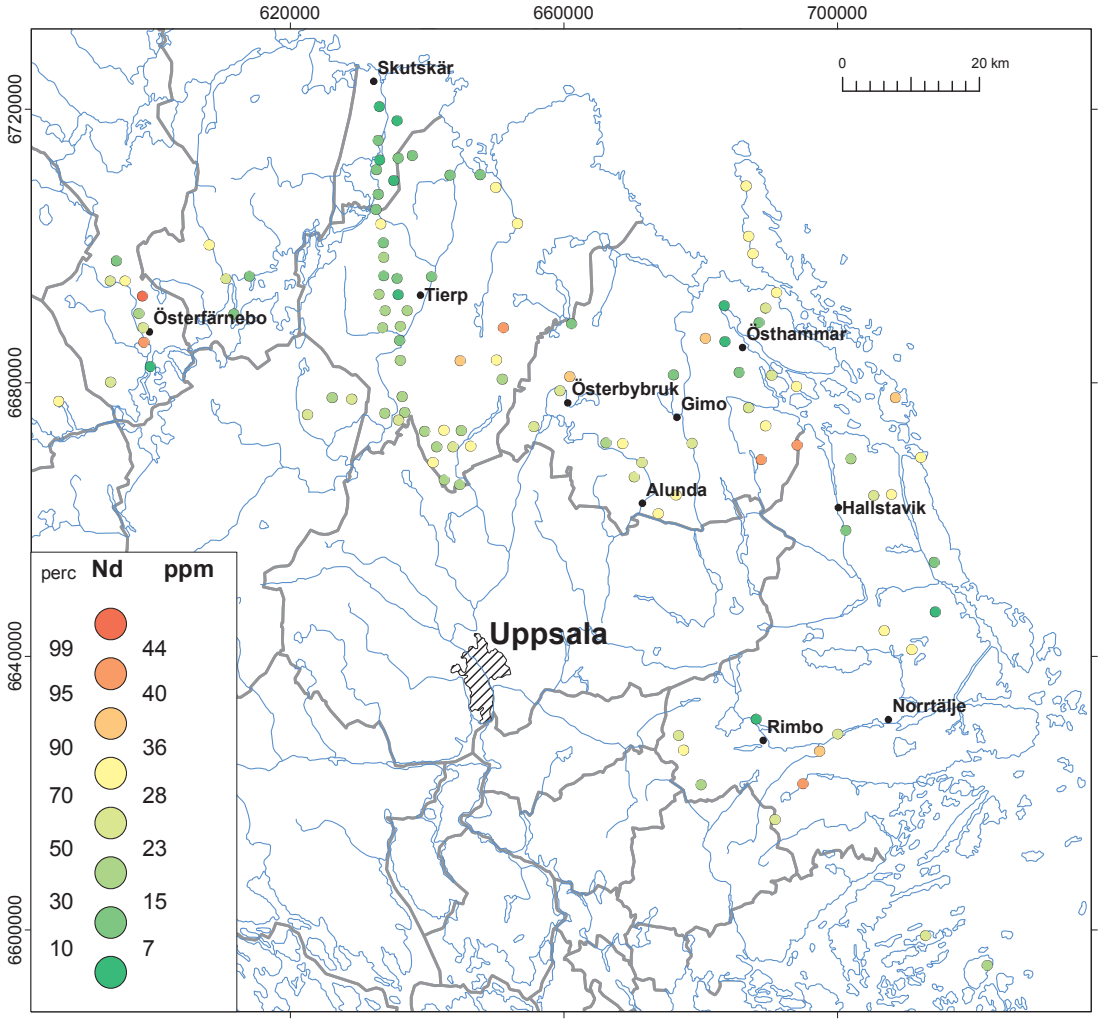

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Mg
ppm
99
15256
95
14102
90
12005
70
8311
50
6040
30
4093
10
1750

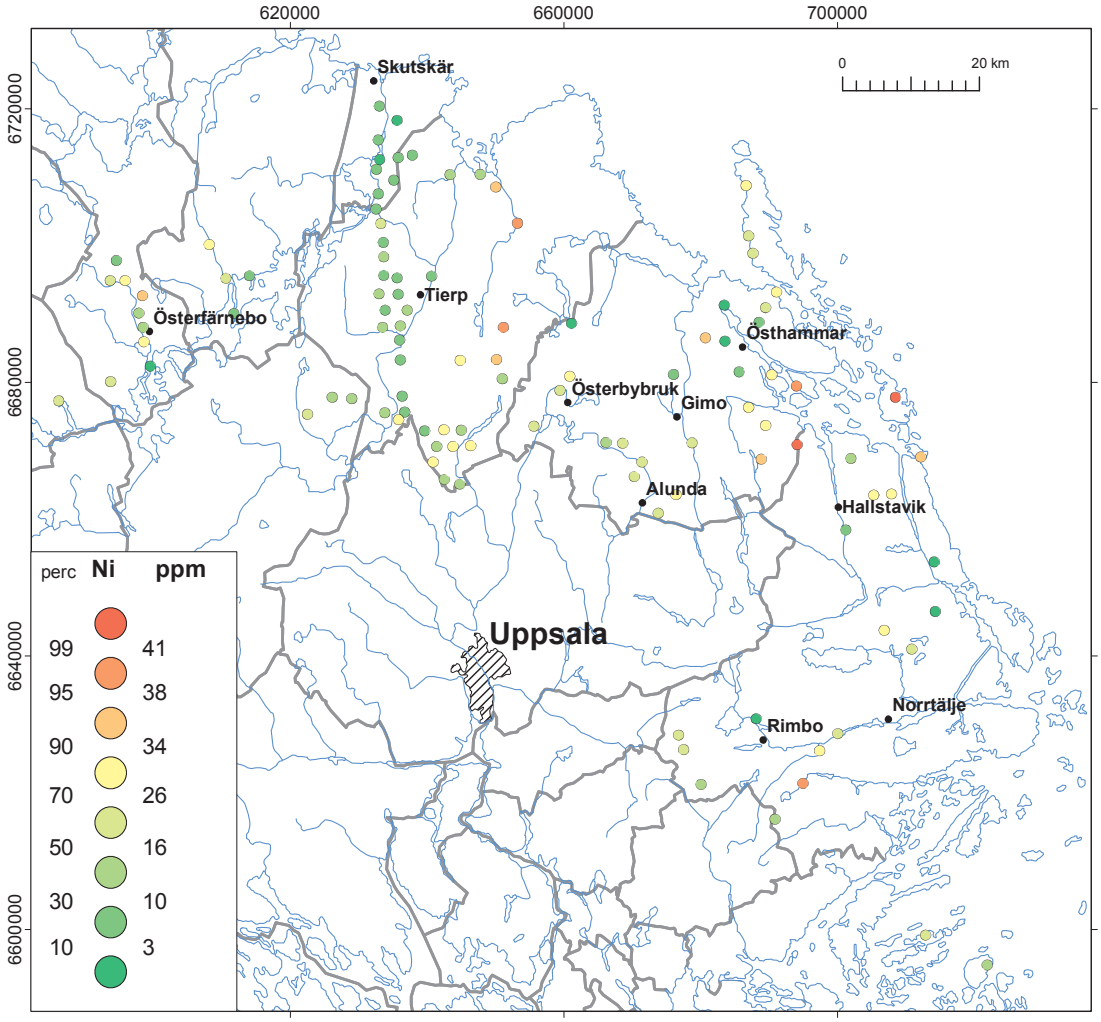

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Mn
ppm
99
916
95
746
90
642
70
535
50
416
30
265
10
84

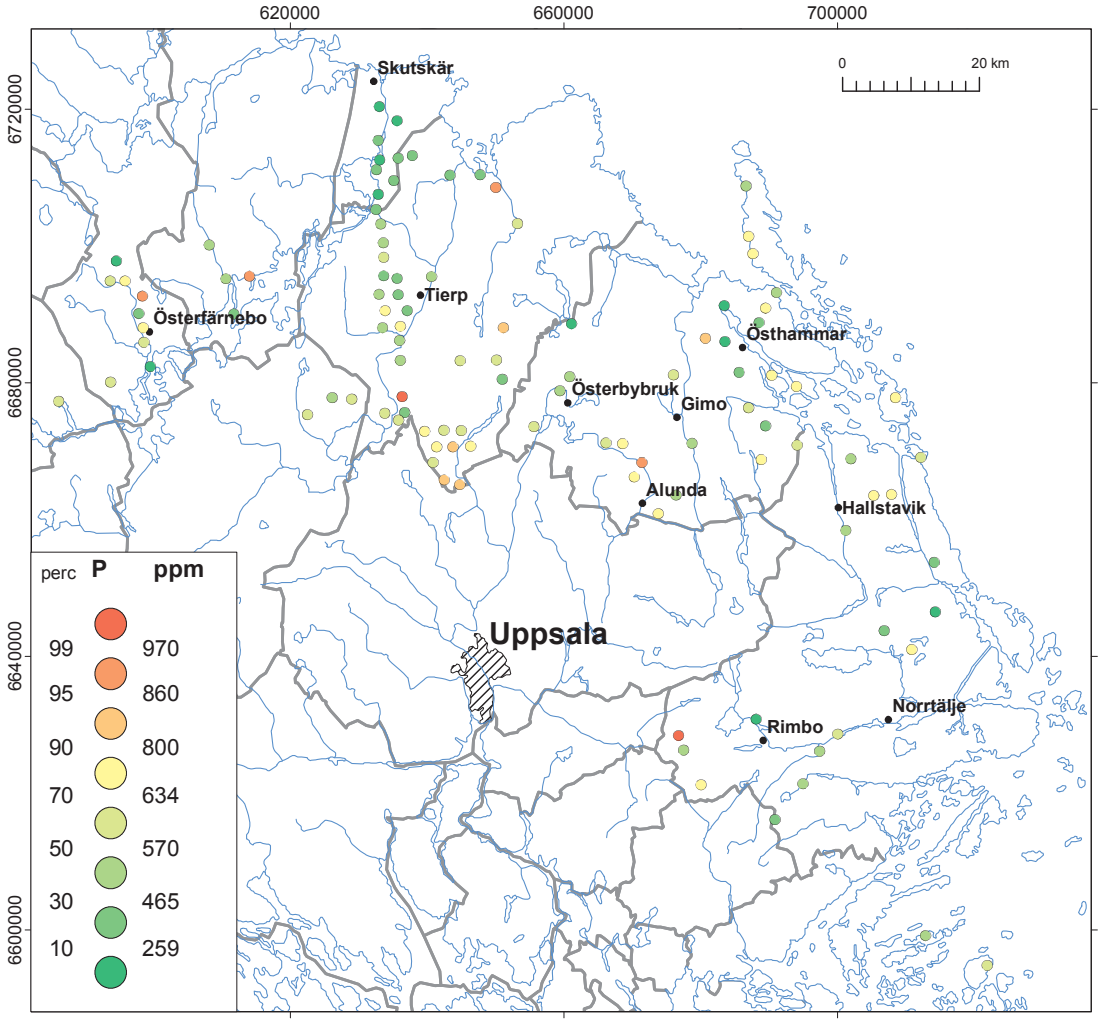

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Mo
ppm
99
3,61
95
2,24
90
1,05
70
0,43
50
0,30
30
0,18
10
0,08

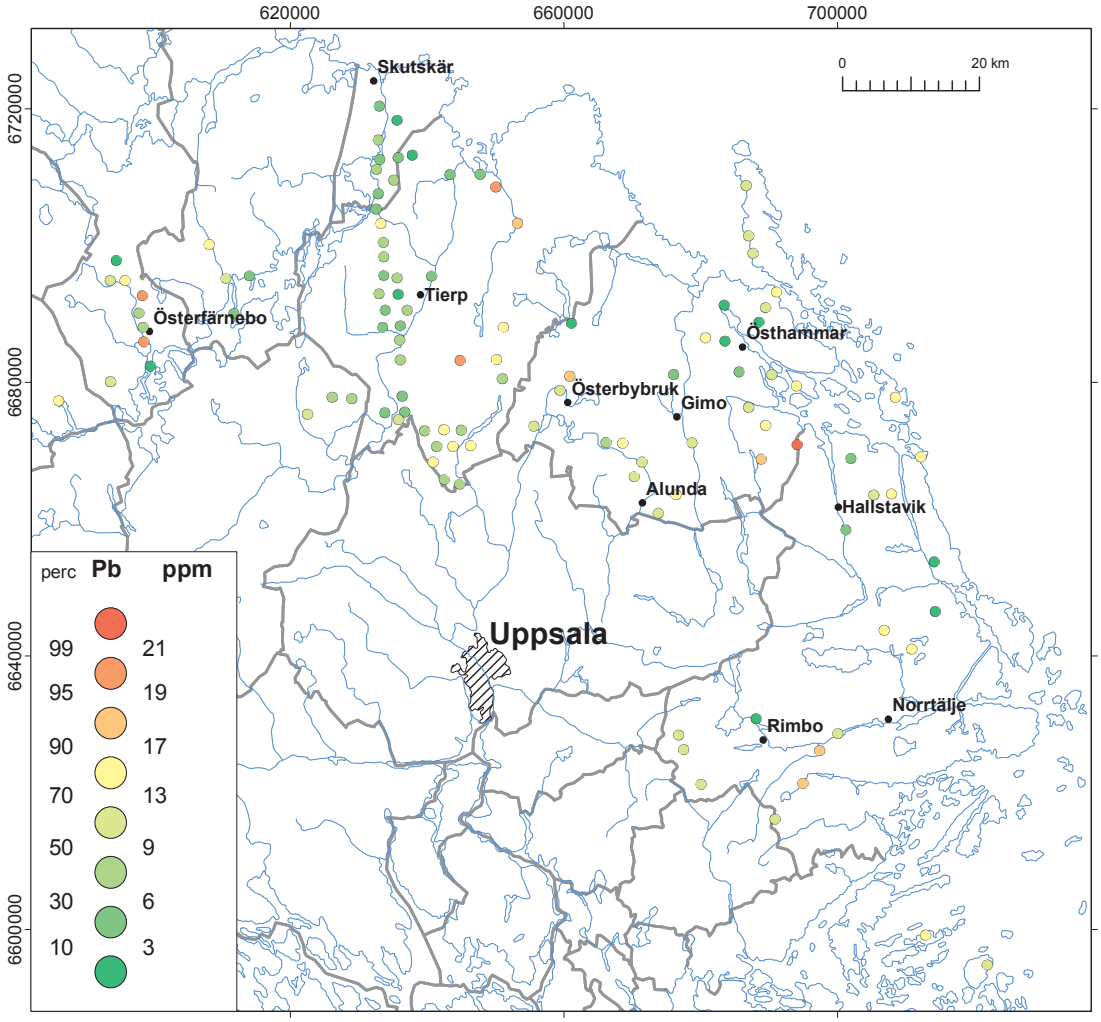

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Na
ppm
99
1170
95
514
90
441
70
284
50
181
30
120
10
47

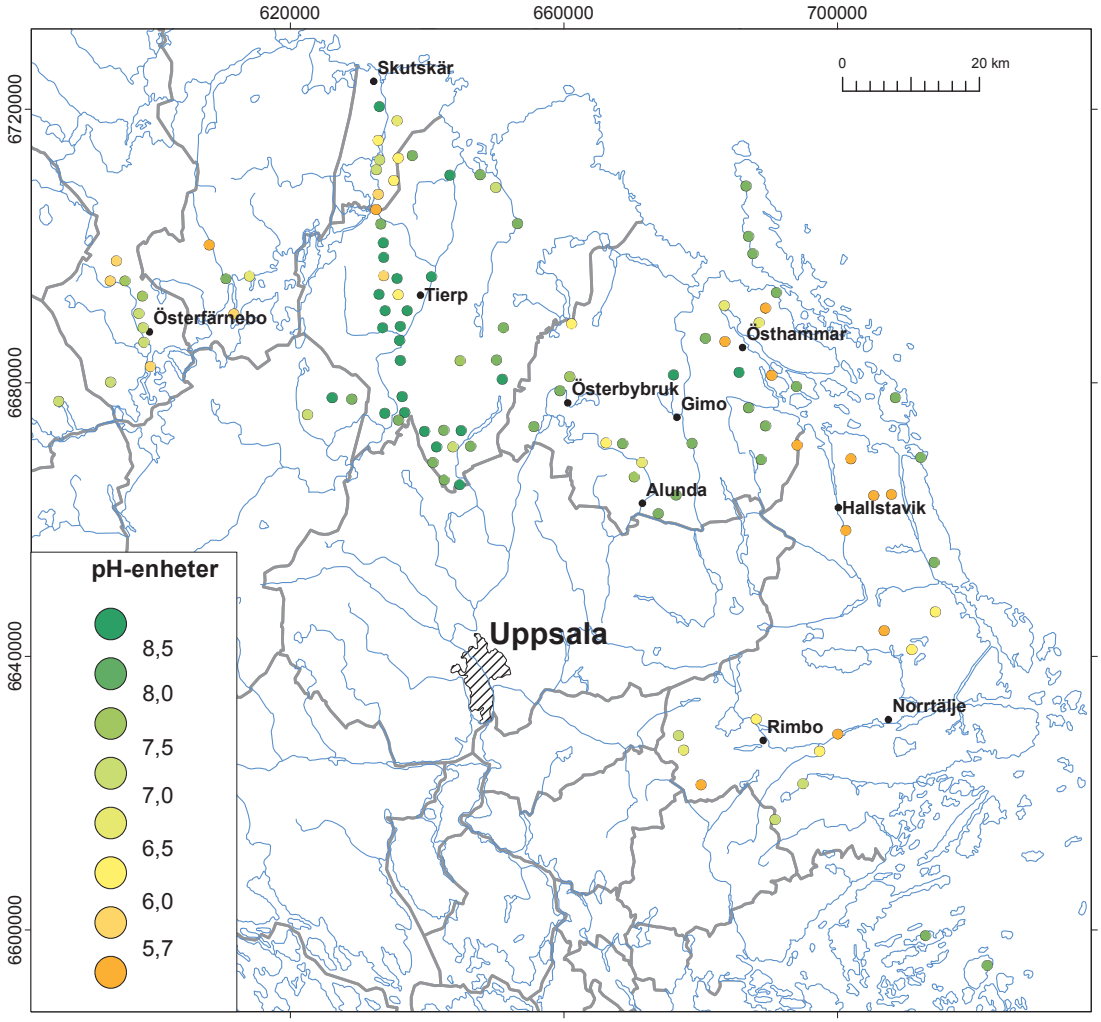

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Nb
ppm
99
4,17
95
2,58
90
0,58
70
0,28
50
0,22
30
0,18
10
0,12

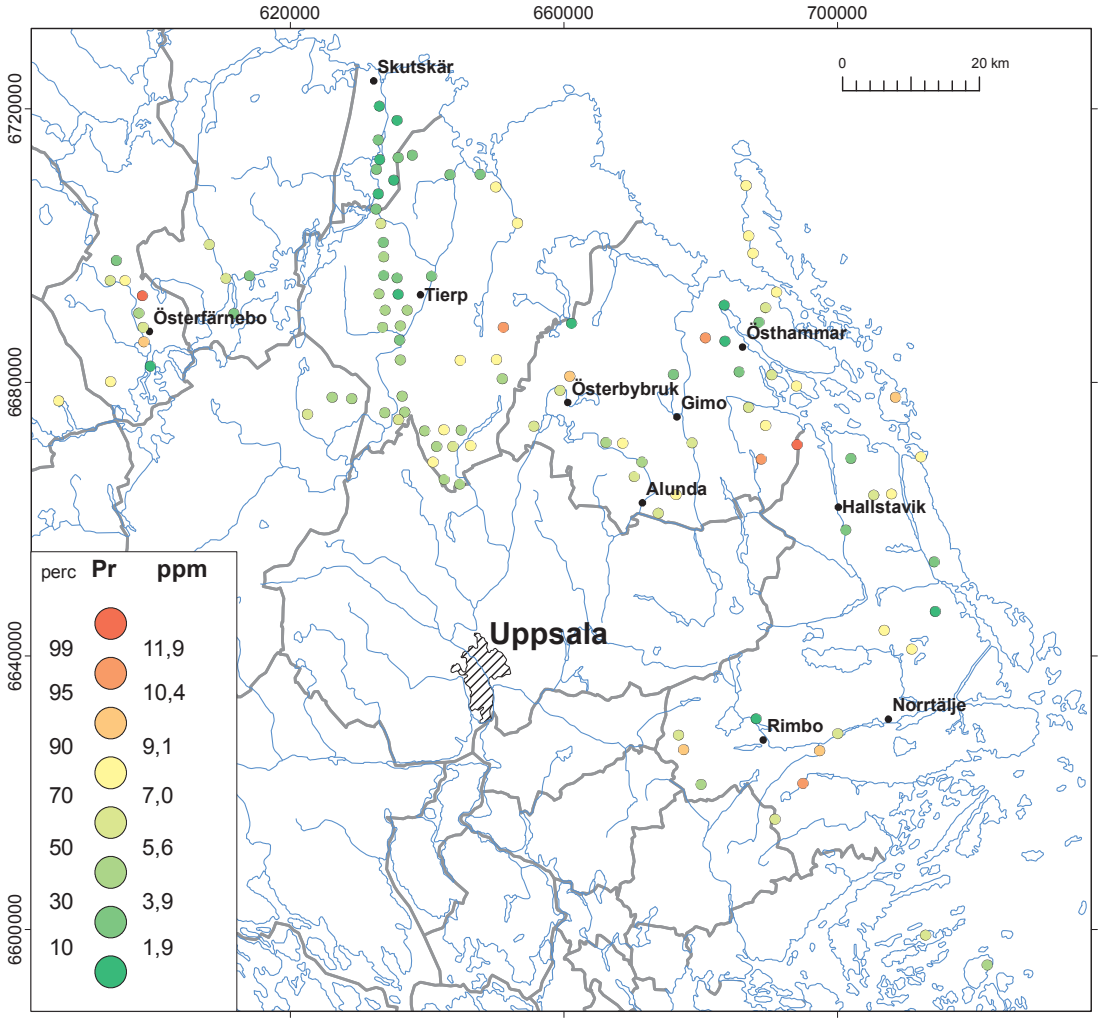

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Nd
ppm
99
44
95
40
90
36
70
28
50
23
30
15
10
7

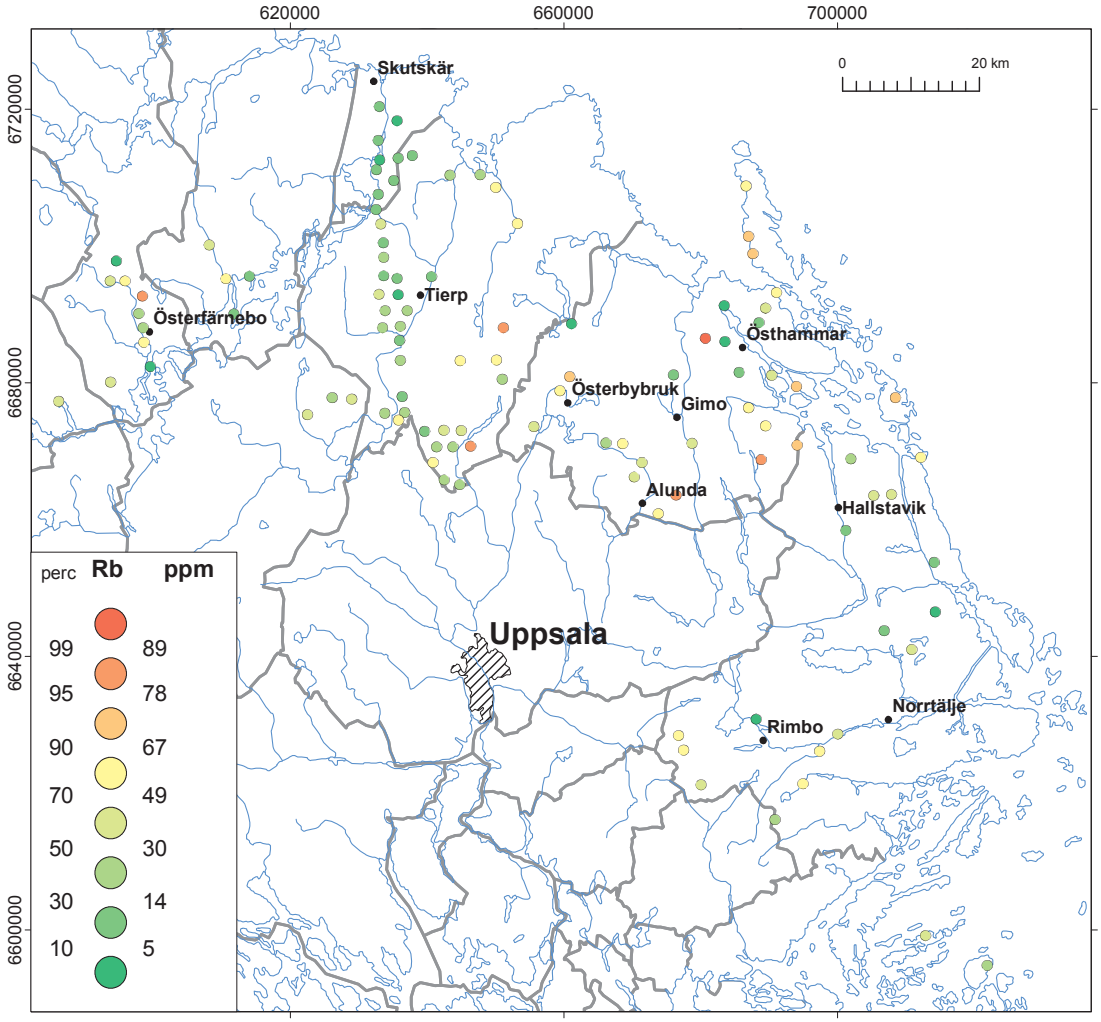

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Ni ppm
99 41
95 38
90 34
70 26
50 16
30 10
10 3

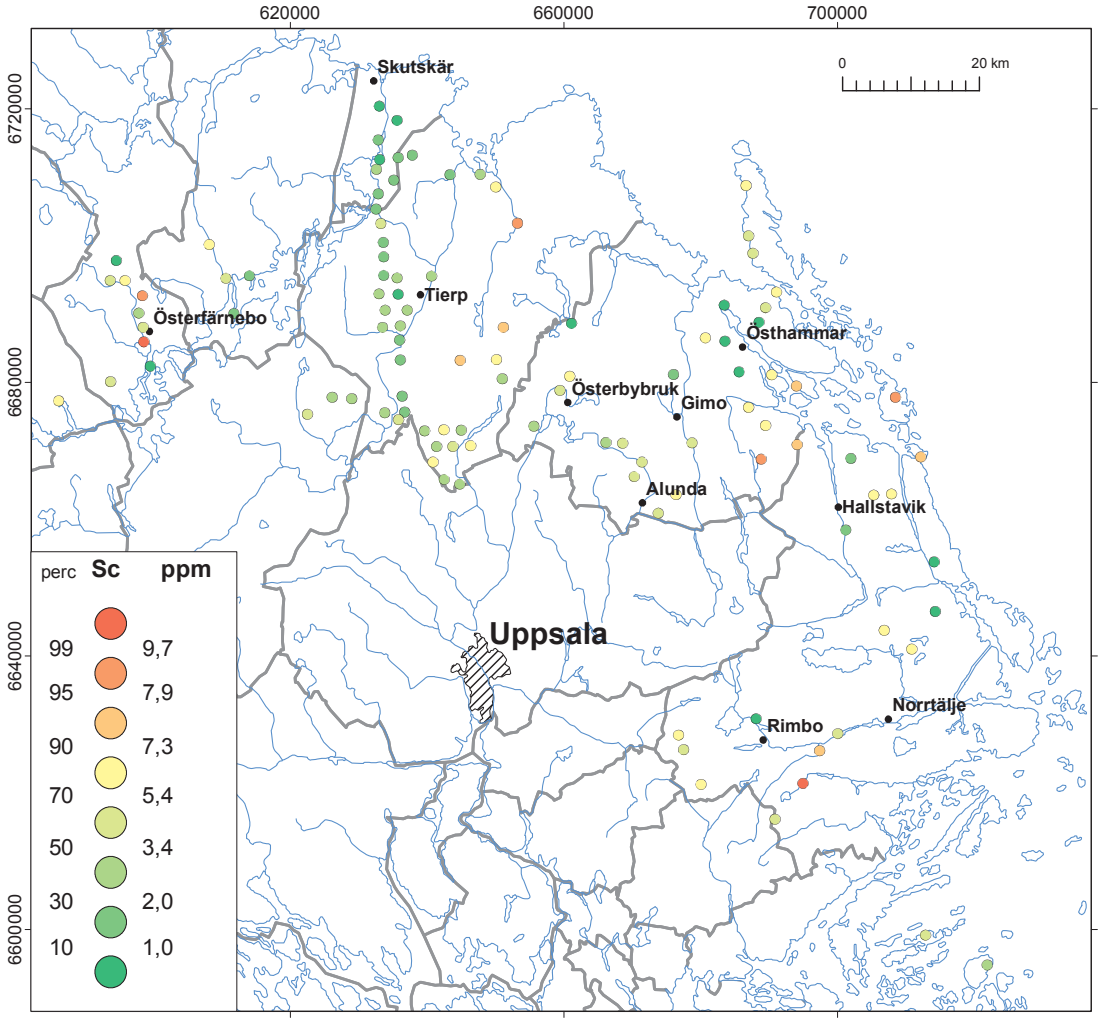

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc P ppm
99 970
95 860
90 800
70 634
50 570
30 465
10 259

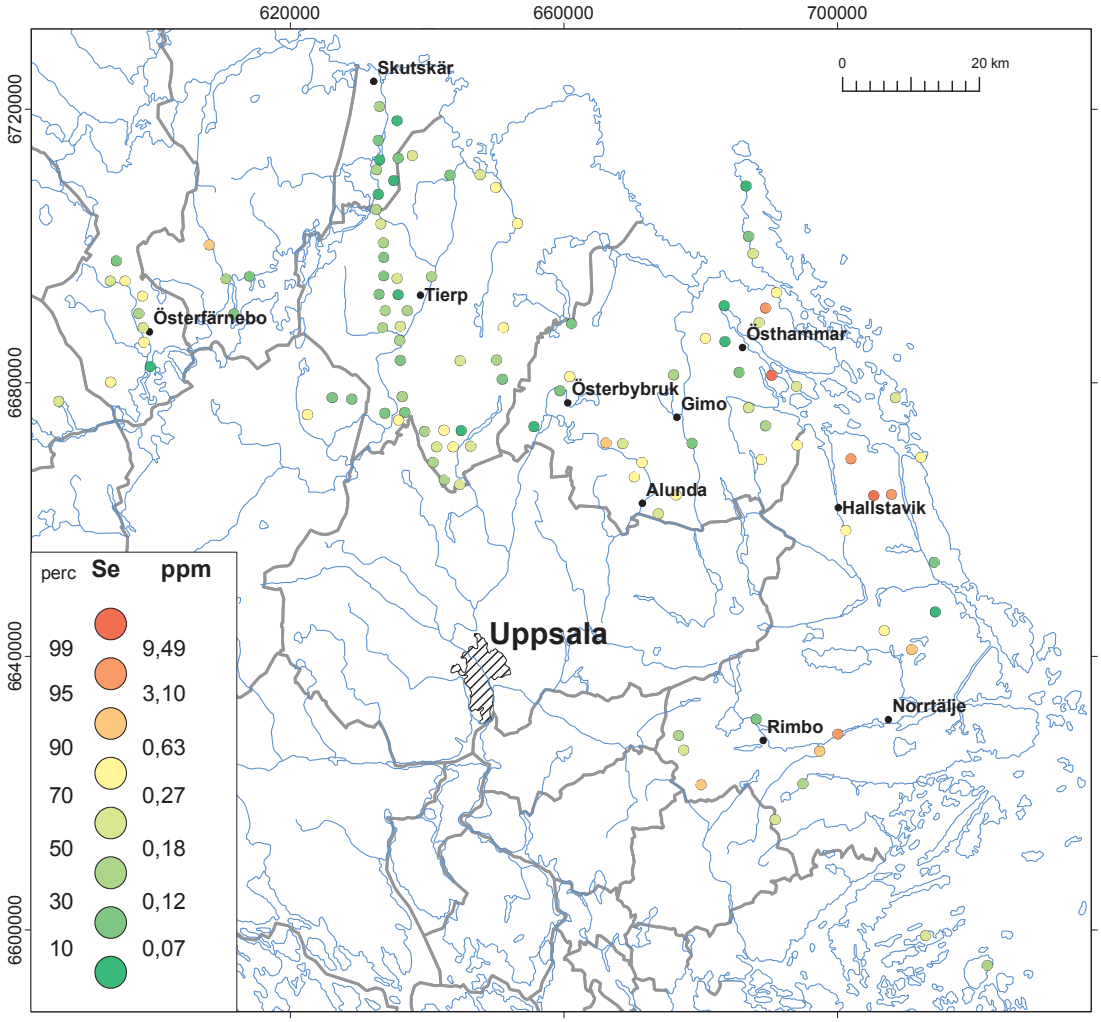

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Pb
ppm
99
95
90
70
50
30
10
21
19
17
13
9
6
3

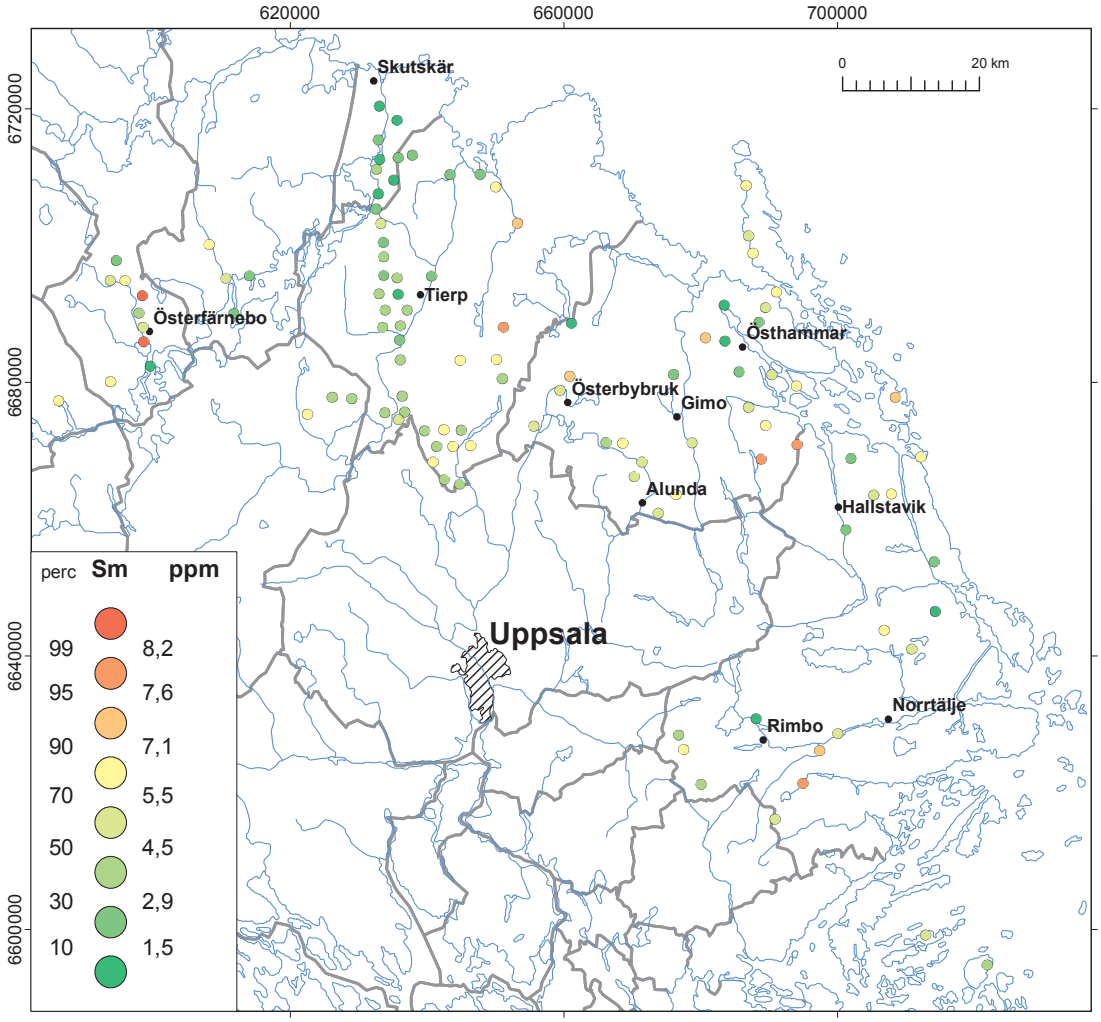

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
pH-enheter
8,5
8,0
7,5
7,0
6,5
6,0
5,7

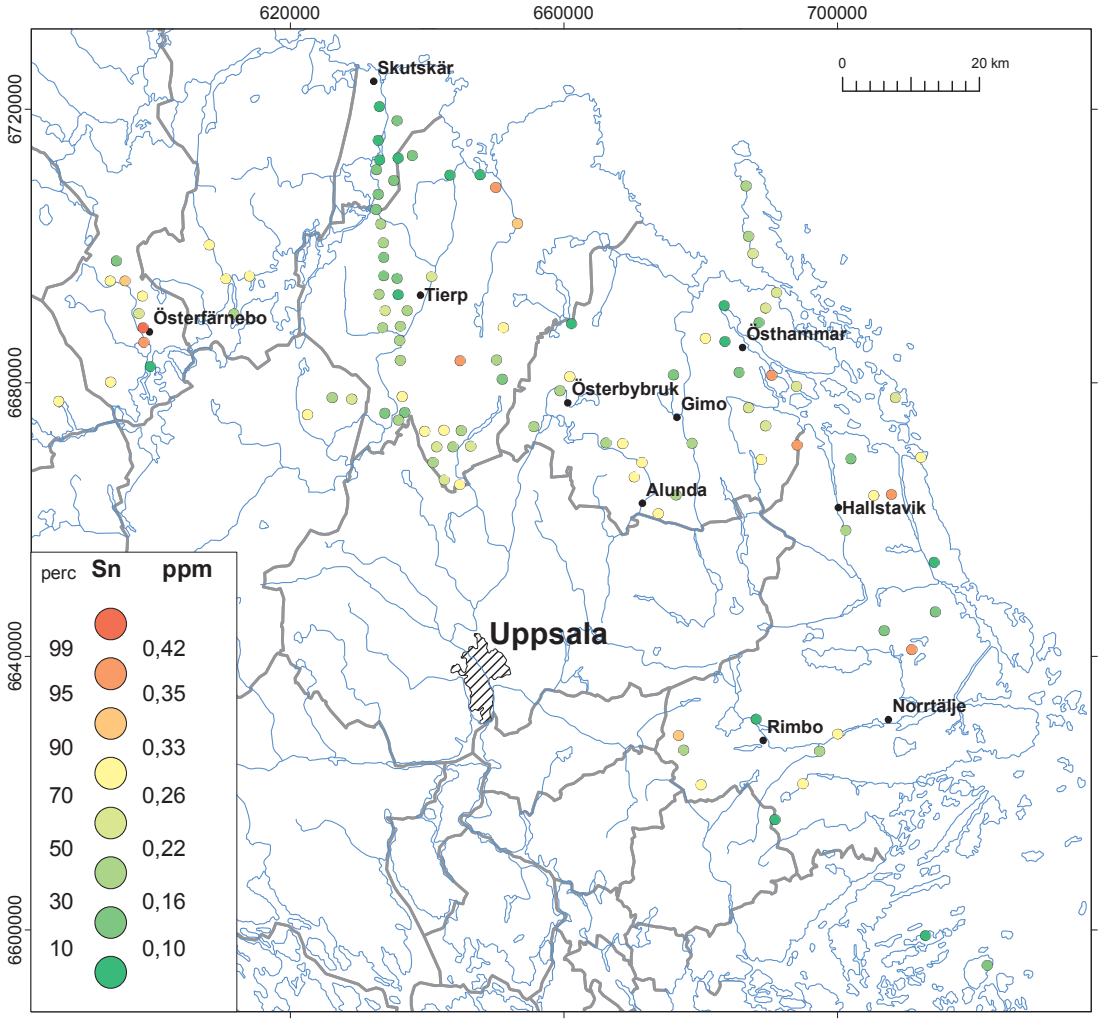

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Pr
ppm
99
11,9
95
10,4
90
9,1
70
7,0
50
5,6
30
3,9
10
1,9

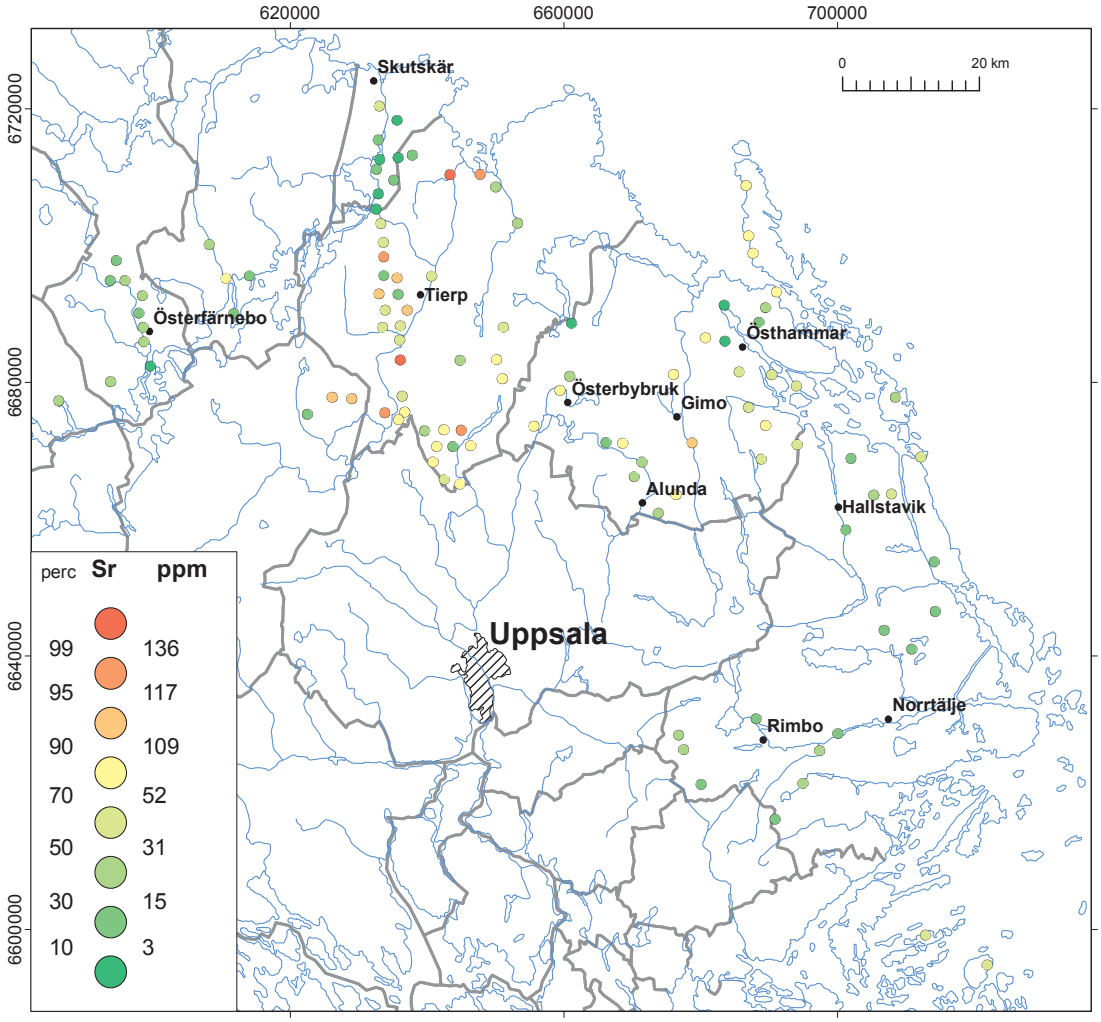

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Rb
ppm
99
89
95
78
90
67
70
49
50
30
30
14
10
5

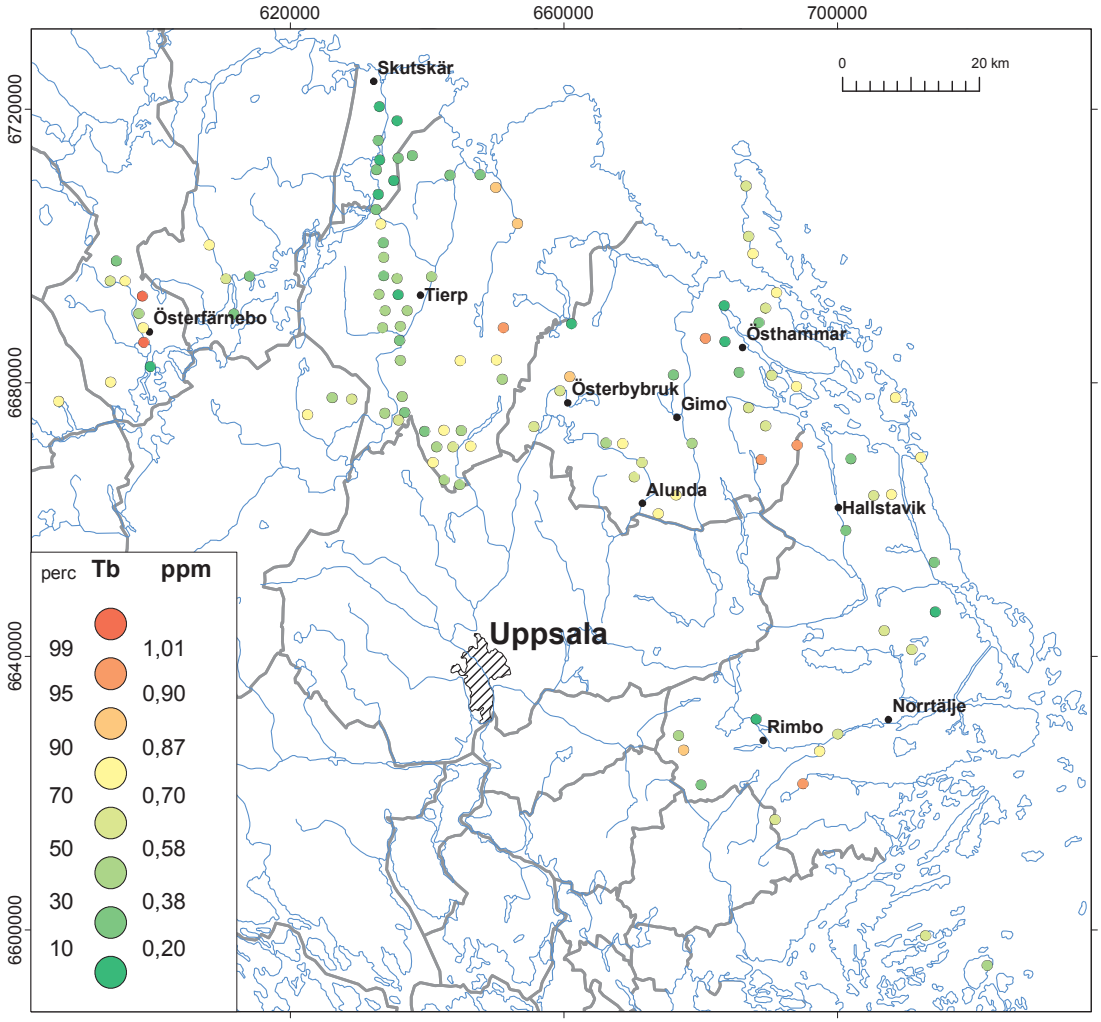

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Sc ppm
99 9,7
95 7,9
90 7,3
70 5,4
50 3,4
30 2,0
10 1,0

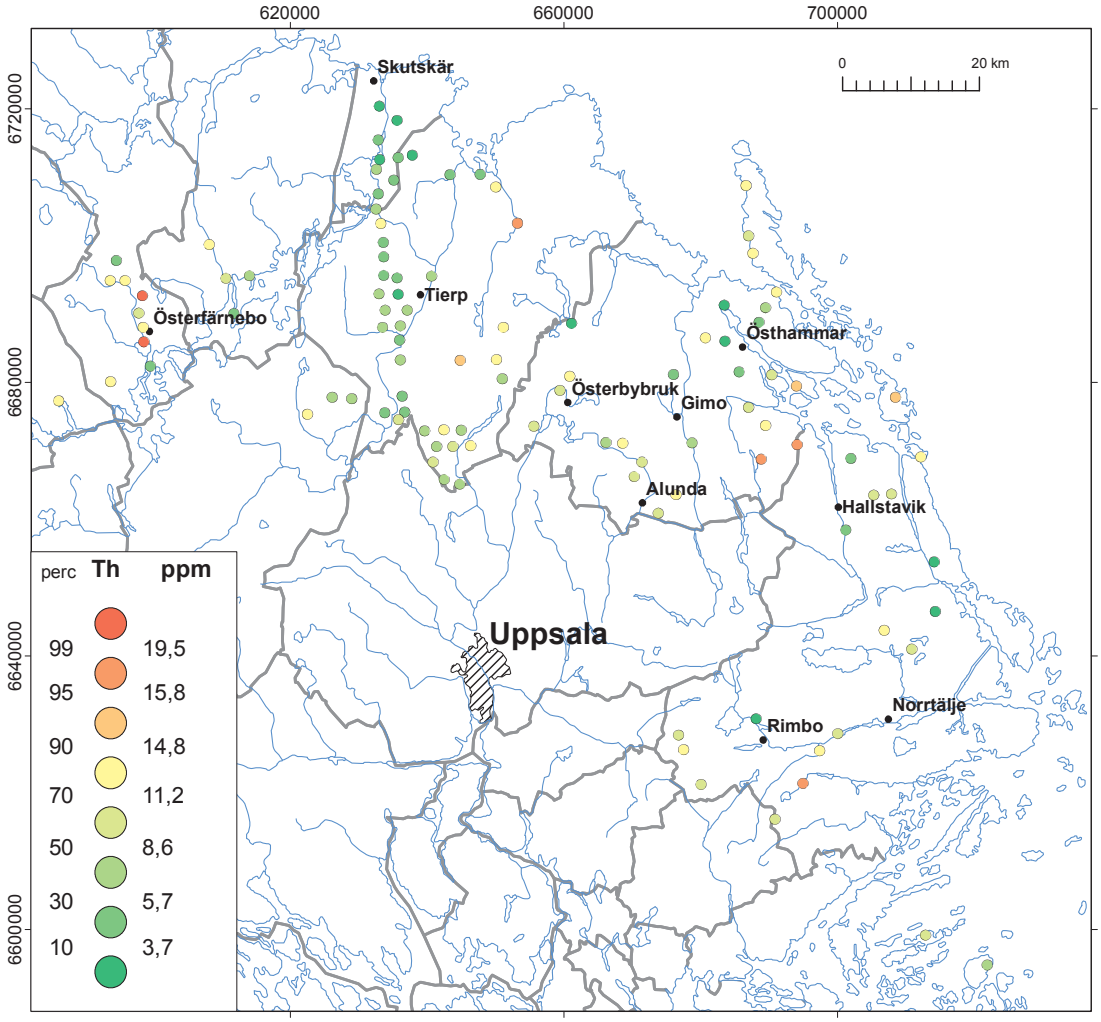

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Se ppm
99 9,49
95 3,10
90 0,63
70 0,27
50 0,18
30 0,12
10 0,07

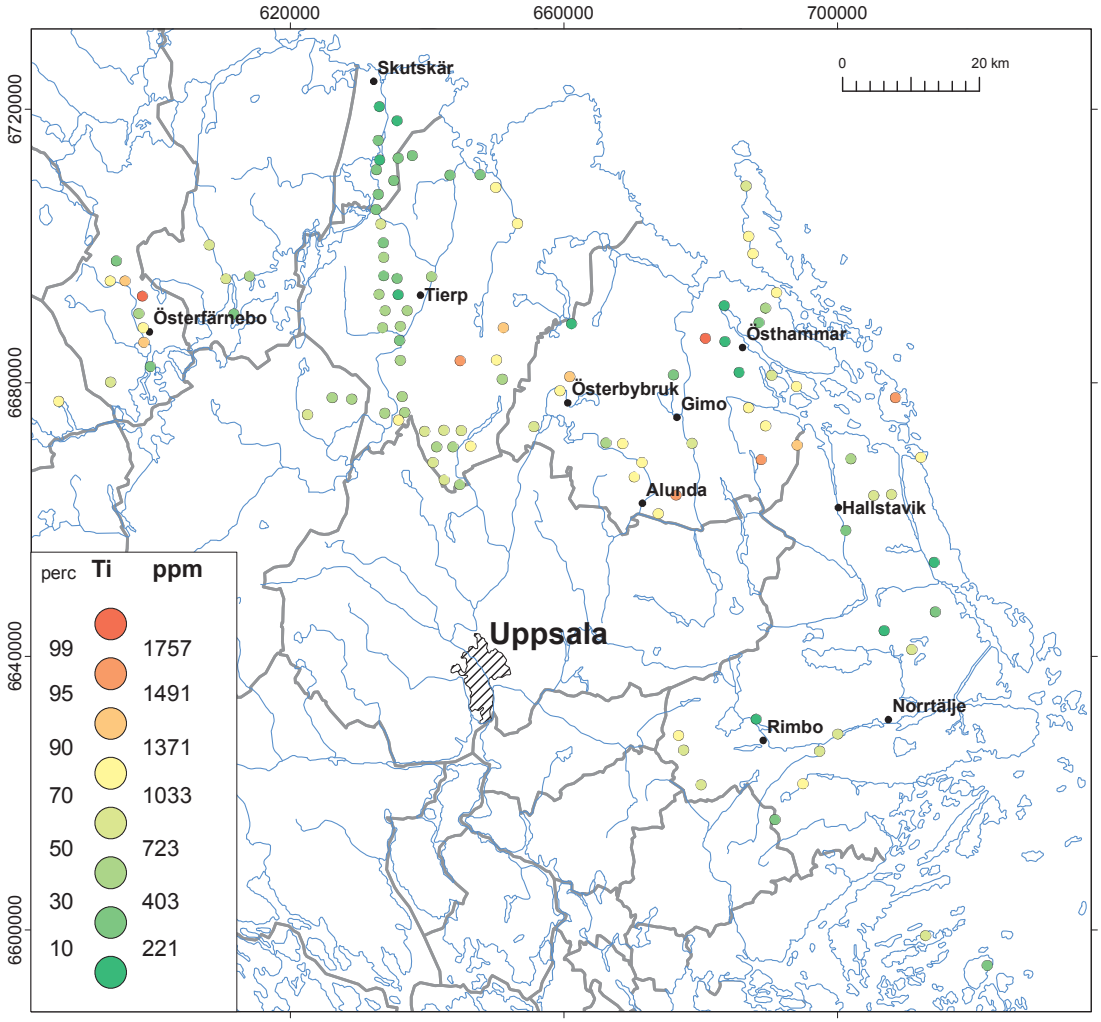

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Sm
ppm
99
8,2
95
7,6
90
7,1
70
5,5
50
4,5
30
2,9
10
1,5

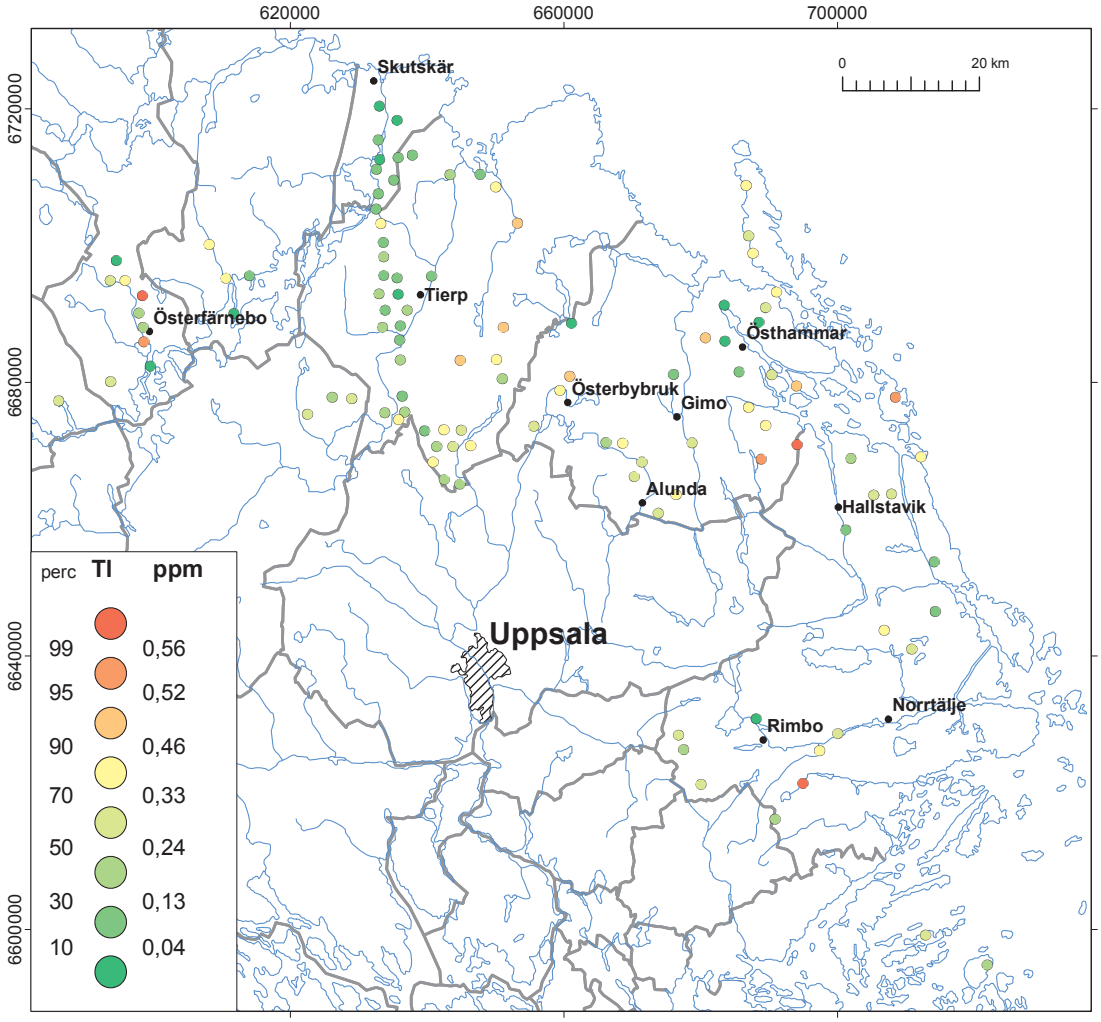

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Sn
ppm
99
0,42
95
0,35
90
0,33
70
0,26
50
0,22
30
0,16
10
0,10

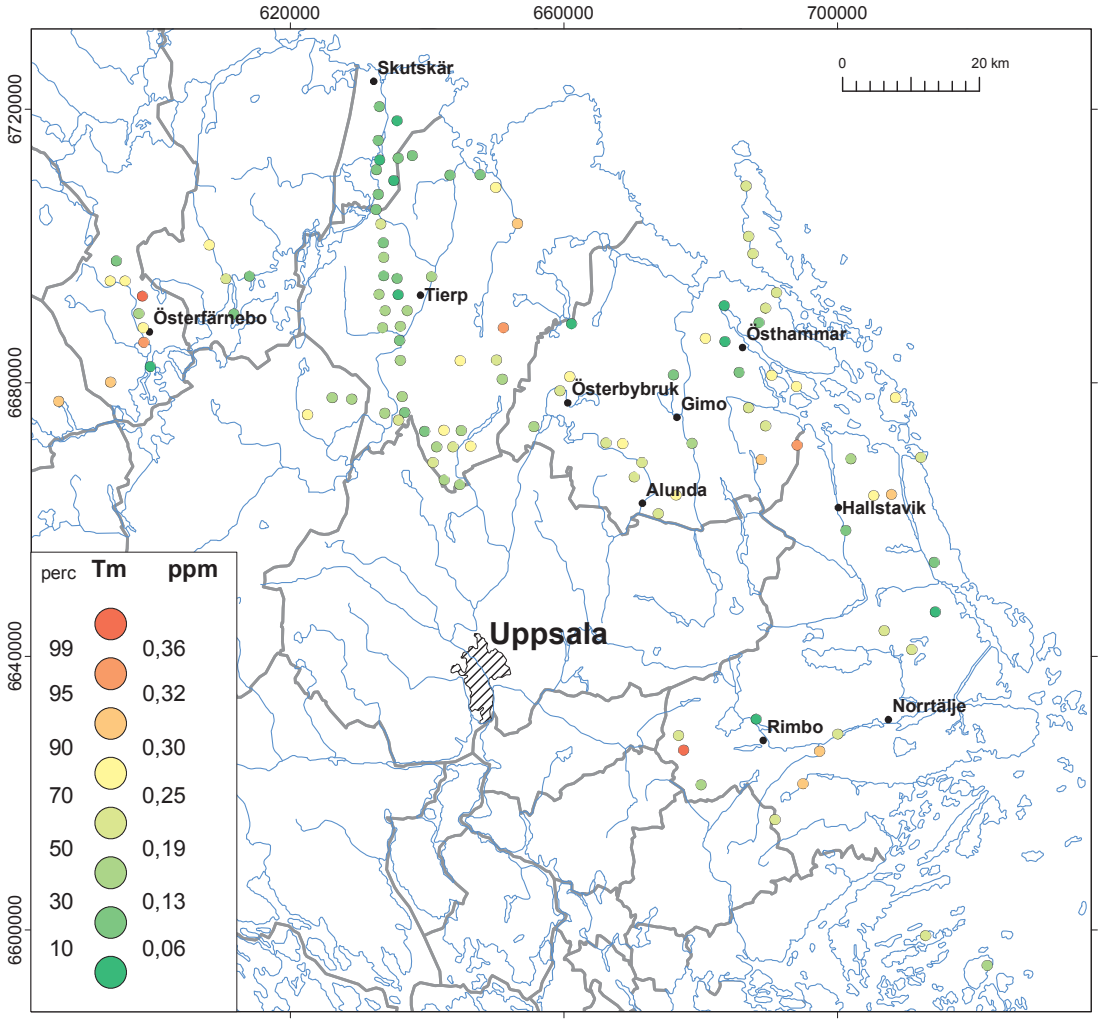

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Sr ppm
99 136
95 117
90 109
70 52
50 31
30 15
10 3

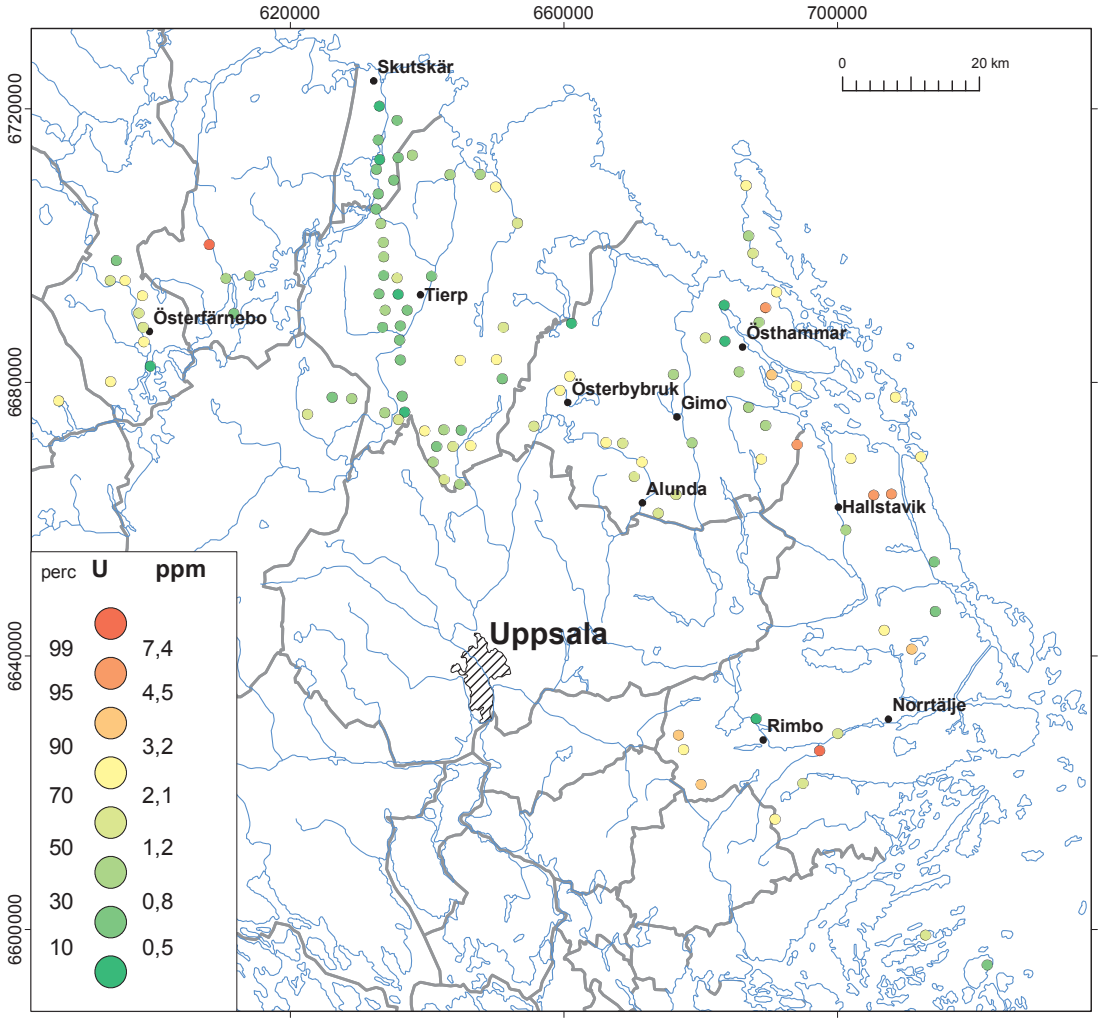

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Tb ppm
99 1,01
95 0,90
90 0,87
70 0,70
50 0,58
30 0,38
10 0,20

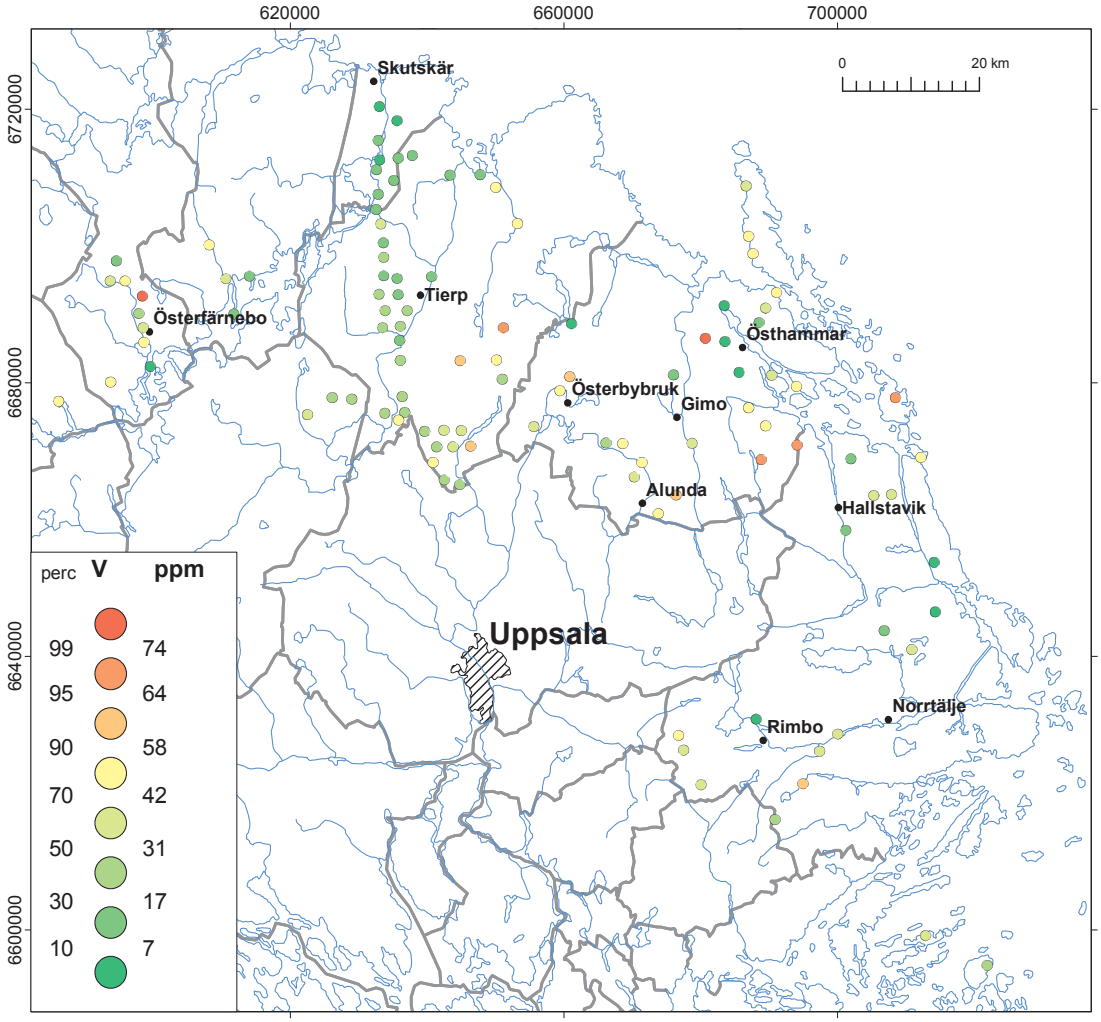

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Th ppm
99 19,5
95 15,8
90 14,8
70 11,2
50 8,6
30 5,7
10 3,7

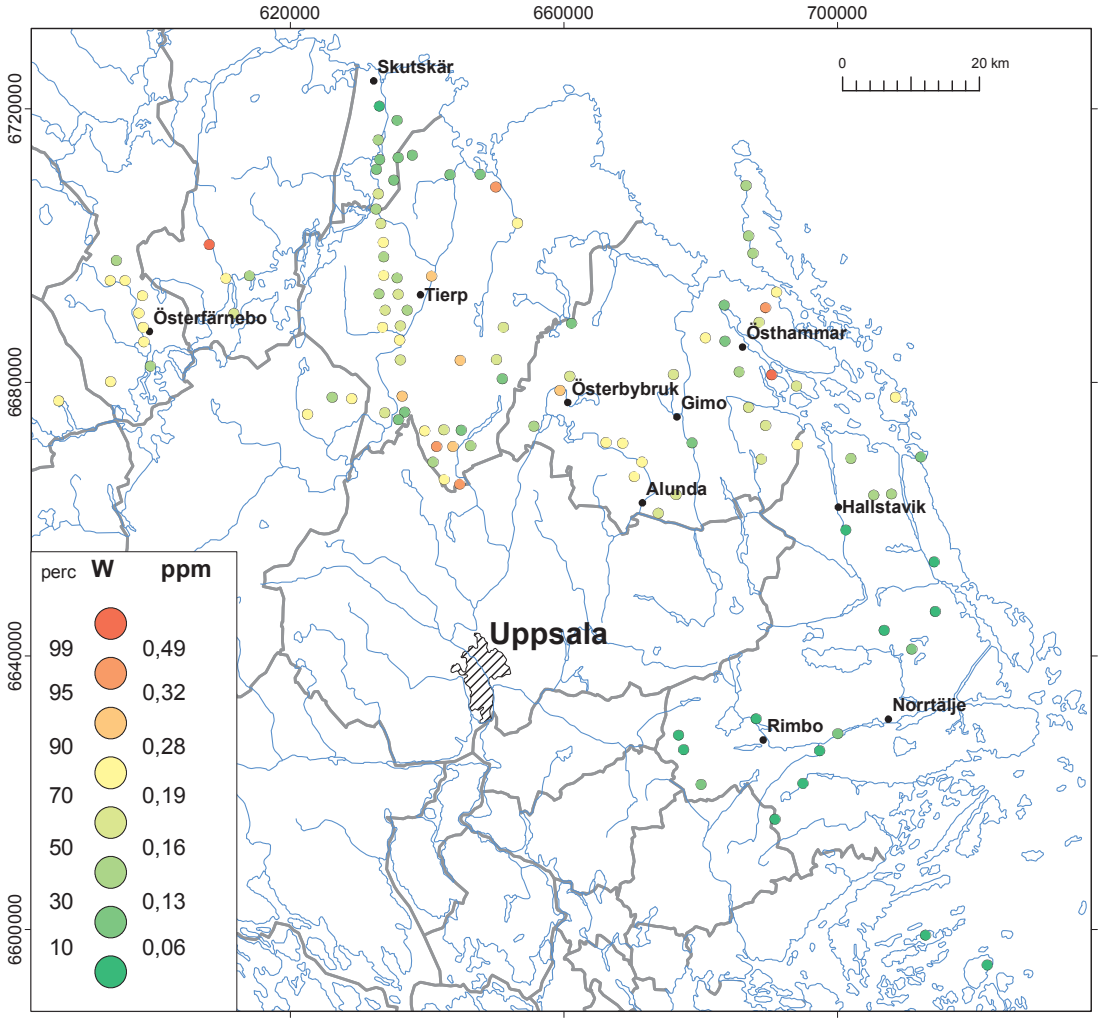

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Ti ppm
99 1757
95 1491
90 1371
70 1033
50 723
30 403
10 221

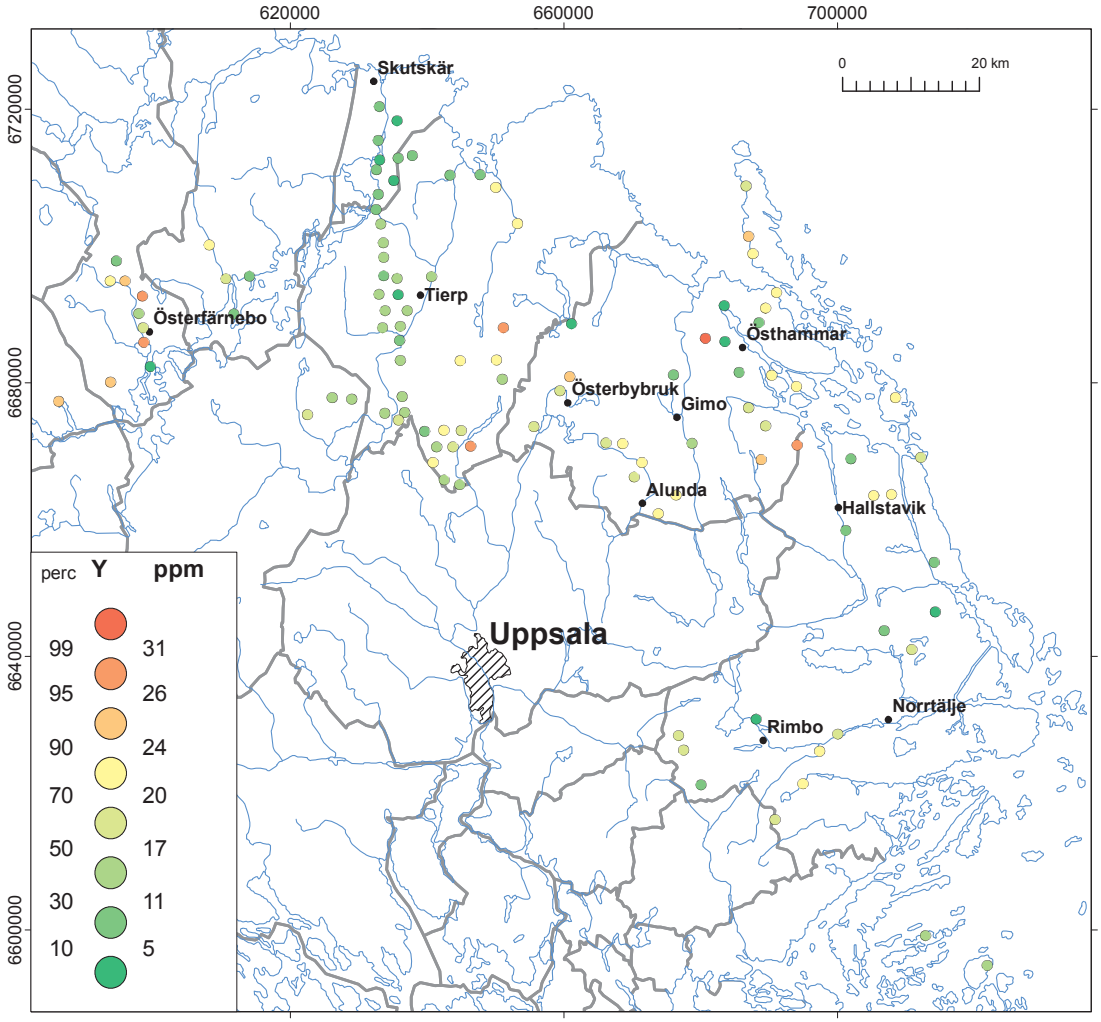

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Tl
ppm
99
0,56
95
0,52
90
0,46
70
0,33
50
0,24
30
0,13
10
0,04

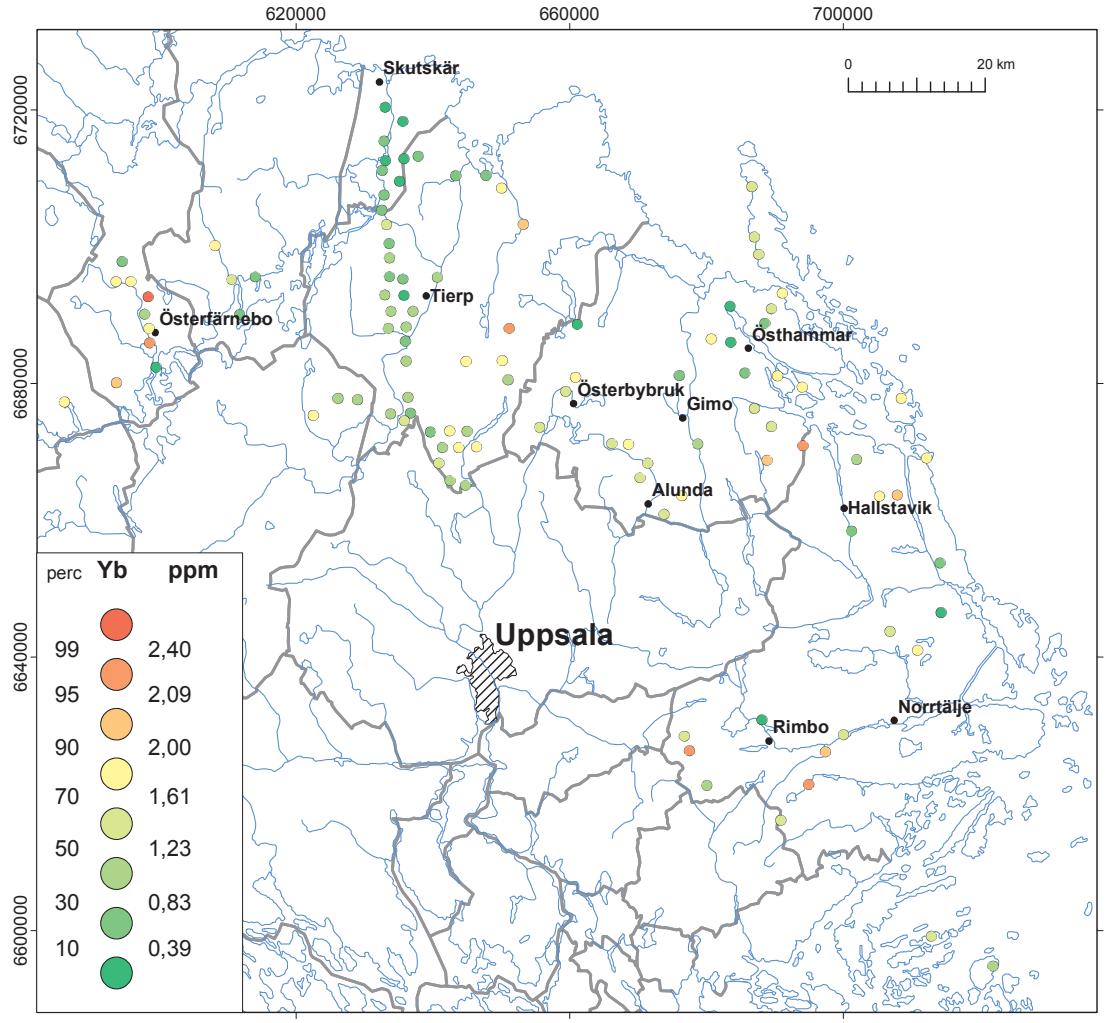

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Tm
ppm
99
0,36
95
0,32
90
0,30
70
0,25
50
0,19
30
0,13
10
0,06

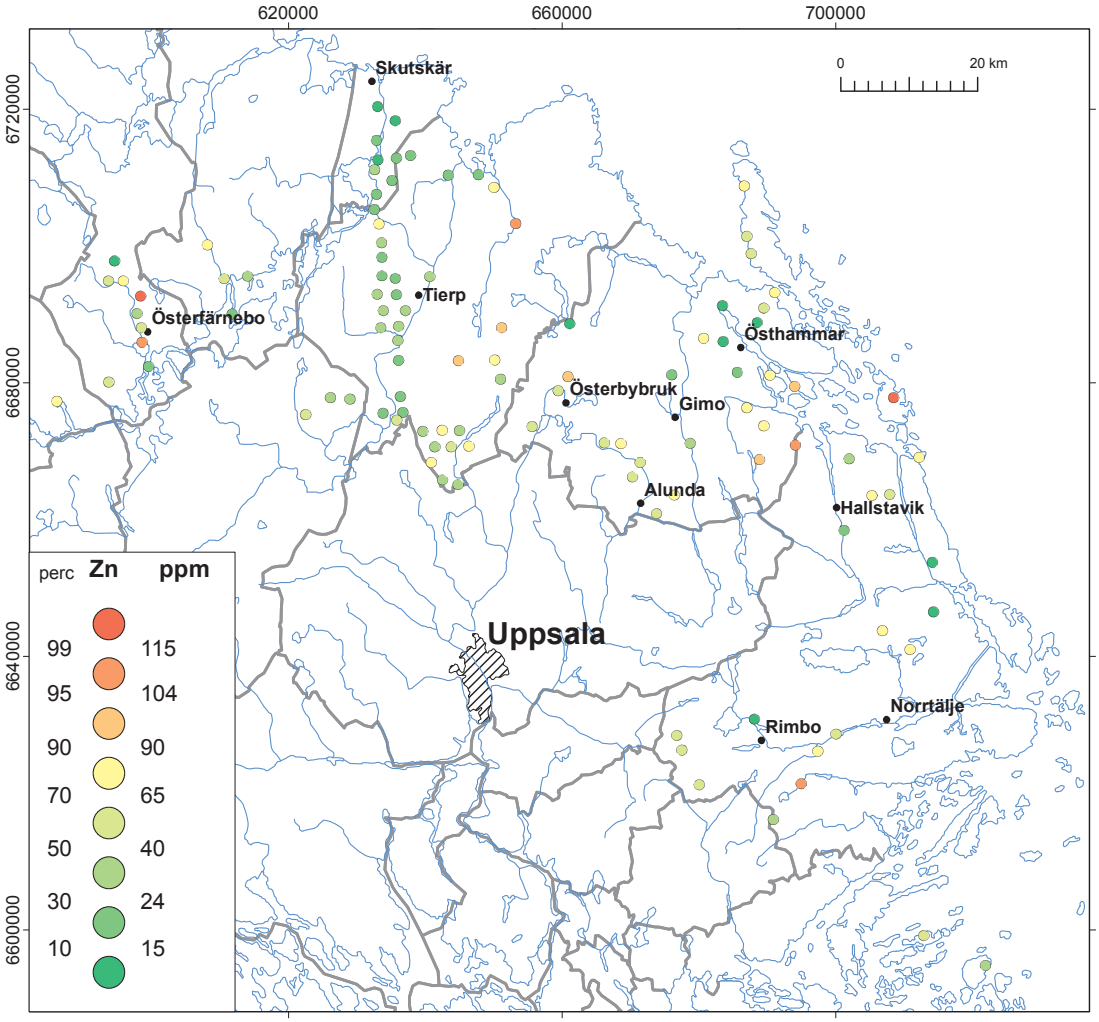

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc U ppm
99 7,4
95 4,5
90 3,2
70 2,1
50 1,2
30 0,8
10 0,5

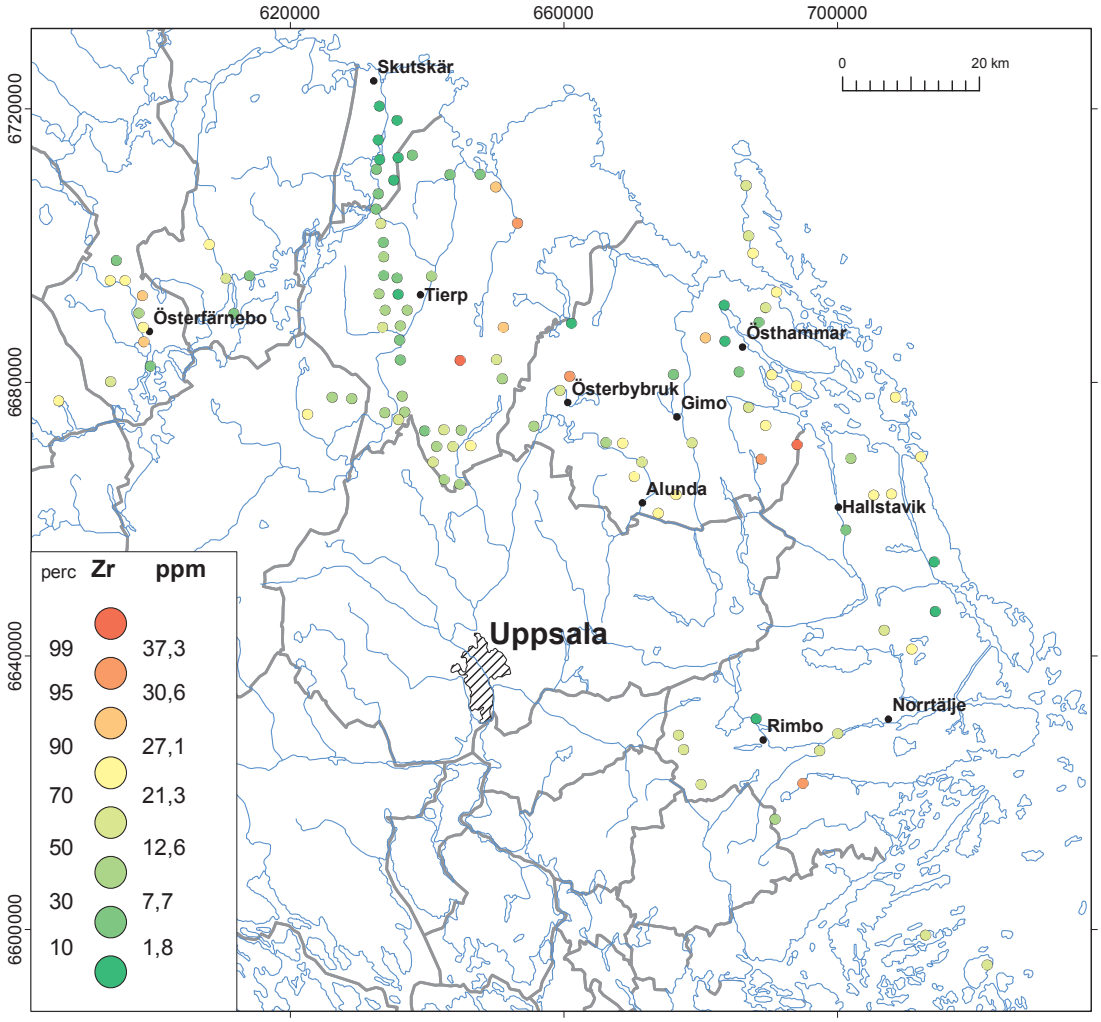

620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc V ppm
99 74
95 64
90 58
70 42
50 31
30 17
10 7


620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc W ppm
99 0,49
95 0,32
90 0,28
70 0,19
50 0,16
30 0,13
10 0,06


620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Y ppm
99 31
95 26
90 24
70 20
50 17
30 11
10 5


620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Yb
ppm
99
2,40
95
2,09
90
2,00
70
1,61
50
1,23
30
0,83
10
0,39


620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Östhammar
Österbybruk
Gimo
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc
Zn
ppm
99
115
95
104
90
90
70
65
50
40
30
24
10
15


620000
660000
700000
6720000
6680000
6640000
6600000
0
20 km
Skutskär
Tierp
Österfärnebo
Österbybruk
Gimo
Östhammar
Alunda
Hallstavik
Uppsala
Rimbo
Norrtälje
perc Zr ppm
99 37,3
95 30,6
90 27,1
70 21,3
50 12,6
30 7,7
10 1,8

BILAGA 2. ÖVERSIKTLIG ELEMENTBESKRIVNING

General description of elements

Bilagan ger en kort beskrivning över elementens huvudsakliga förekomstsätt och mobilitet. Texten är hämtad från Geokemisk atlas över Sverige (Andersson m.fl. 2014).

Ag, Silver

Silver återfinns i ren form i naturen men är vanligast i sulfider och arsenider samt som spårelement i malmmineral som blyglans, kopparkis och zinkblände. Vulkaniska bergarter och vissa sedimentära bergarter (skiffer, sandsten) kan också ha höga silverhalter. Mobiliteten hos silver beror på redoxförhållande, pH och tillgången på halidjoner. I sura och oxiderande miljöer är silver mobilt. Metallen binder lätt till lerpartiklar och organiskt material samt fäller ut tillsammans med järn- och manganhydroxider.

Al, Aluminium

Aluminium är det tredje vanligaste grundämnet i jordskorpan. Det är ett huvudelement i många bergartsbildande mineral som fältspat, glimmer, amfibol och lermineral. Aluminium finns i både kristallina bergarter (granit, basalt), sedimentära bergarter (lerskiffer) och alkalina bergarter (syenit, anortosit). De senare visar vanligen de högsta aluminiumhalterna. Vittrade aluminosilikater (t.ex. kaolinit och illit) utgör huvudkomponenter i många jordar. Därför korrelerar höga aluminiumhalter med högt lerinnehåll. Sekundärt bildade aluminiumhydroxider (gibbsit, böhmit, diaspor) utgör de ekonomiskt viktigaste källorna till aluminium. Löslighet-en är starkt pH-beroende. Vanligen är aluminium relativt icke-mobilt men blir lösligt i sura (pH<5,5) och mycket alkalina miljöer (pH>8).

As, Arsenik

Arsenik visar hög affinitet till svavel och förekommer huvudsakligen i sulfidform, t.ex. som arsenikkis (FeAsS). I bergartsbildande mineral kan arsenik ersätta järn och aluminium. Därför förekommer spår av arsenik i vanliga silikater, exempelvis i fältspat. Många bergarter innehåller små mängder arsenik. Hydrotermala processer kan koncentrera arsenik, vilket kan leda till höga arsenikhalter i hydrotermalt omvandlade vulkaniska bergarter, lerskiffer, metamorf skiffer och i kol. Arsenik används som indikatorelement inom prospektering då det är ett grundämne som ofta förekommer tillsammans med epitermala och mesotermala malmfyndigheter, i synnerhet guld. Lösligheten för många arsenikföreningar är hög, medan mobiliteten i jord och sediment är begränsad på grund av den höga adsorptionen till lerpartiklar, järnoxyhydroxider och organiskt material.

Au, Guld

Guld förekommer i naturen i gedigen form men bildar även legeringar med silver och koppar (elektrum), tellurider (calaverit, sylvanit) och sällsynta kemiska föreningar med kvicksilver, koppar, antimon och vismut. Spår av guld och guldinklusioner kan hittas i vanliga sulfider som pyrit, zinkblände, blyglans och kopparkis samt i oxider som kromit och magnetit. Höga guldhalter återfinns huvudsakligen i basiska magmatiska bergarter som gabbro och diorit, i basiska till intermediära vulkaniska bergarter (basalt, andesit, trakyt) och i metasomatiska bergarter (t.ex. greisen). Guld förekommer i olika typer av hydrotermala och epitermala

mineraliseringar associerade med kvartsrika sprickfyllnader och sulfidmineral, samt i vaskavlagringar och i finkorniga sediment. Guld är inte särskilt mobilt, det är icke-reaktivt och har låg aktivitet i lösning med undantag för när det bildar komplex med cyanidjoner, $Au(CN)_2$. Höga guldhalter har observerats i växter och humusrika jordar som överlagrar guldmineraliseringar.

B, Bor

Den huvudsakliga källan till bor är senmagmatiska bergarter, i synnerhet pegmatit. Bor bildar många mineral, det vanligaste är turmalin (som förekommer i pegmatit) och en grupp borater (t.ex. borax) som är vanliga evaporitutfällningar i mycket torra miljöer. Man kan hitta spår av bor i vissa bergartsbildande mineral, t.ex. muskovit, fältspat och lermineral. Även om bor inte visar hög löslighet från magmatiska mineral (som turmalin) kan det vara lättlösligt i jord och adsorberas lätt till lermineral (t.ex. illit), organiskt material och järn-aluminiumoxider. Sekundär anrikning av bor kan hittas i leror och karbonater, där marin lera innehåller höga halter på grund av de höga koncentrationerna i havsvatten. Anrikning av bor sker även i jord som är rik på organiskt material, speciellt i miljöer med lågt pH.

Ba, Barium

Barium bildar egna mineral, det vanligaste är baryt. Barium förekommer även i små mängder i bergartsbildande silikater som fältspat och glimmer i vilka det substituerar kalcium. Sura och alkalina bergarter kan innehålla höga bariumkoncentrationer (upp till 2000 ppm). Även sedimentära bergarter som är rika på kalifältspat, t.ex. arkos, kan ha höga bariumhalter. Barium kan anrikas i områden som omvandlats hydrotermalt eller där det finns mineraliseringar av basmetaller, speciellt Pb-Zn-sulfidmineraliseringar i kalksten och dolomit. Mobiliteten hos barium är låg och det fäller ofta ut som sulfat eller karbonat och anrikas i mangan- och fosforkonkretioner. Barium har en stark tendens att adsorberas till lera och järnoxider.

Be, Beryllium

Beryllium bildar sällsynta mineral som beryll och krysoberyll, som utgör ekonomiskt viktiga källor till beryllium. Dessa mineral finns huvudsakligen i senmagmatiska bergarter och i pegmatiter. Sekundär anrikning sker i finkorniga sediment rika på lermineral (lerskiffer) och kol. Beryllium är relativt mobilt vid lågt pH och har en stark tendens att adsorbera till lerpartiklar, organiskt material och järn-manganhydroxider.

Bi, Vismut

Vismut bildar sällan egna mineral (t.ex. bismit och bismutit) och förekommer oftast som ett spårelement i sulfider som blyglans, zinkblände och kopparkis. Vismut kan anrikas i sura magmatiska och vulkaniska bergarter. Sekundära koncentrationer av vismut finns i finkorniga sediment, leror och kol. Vismut uppträder tillsammans med Cu-, Zn-, Pb-, W-, Sn- och Au-mineraliseringar och används som indikatorelement vid guldprospektering. Vismut har låg mobilitet och tenderar att fälla ut tillsammans med järn-manganhydroxider. Det bildar också olösliga salter och adsorberas till organiskt material.

Ca, Kalcium

Kalcium är det femte vanligaste grundämnet i jordskorpan. Det uppträder huvudsakligen som katjon i en mängd olika mineral, t.ex. karbonater (kalcit, dolomit), sulfater (gips, anhydrit), fosfater (apatit) och silikater (plagioklas, amfibol, pyroxen). Kalcium är också den viktigaste

komponenten i kalksten, som till övervägande del består av kalcit. Mobiliteten är normalt hög, men är låg vid mycket högt pH.

Cd, Kadmium

Kadmium bildar sällsynta mineral som greenockit och kadmiumkarbonatet oktavit, men förekommer oftast i zinkblände och blyglans. Små mängder kadmium kan finnas i bergartsbildande mineral, t.ex. biotit och amfibol. De högsta kadmiumhalterna finns i sedimentära bergarter som lerskiffer och sandsten, samt i metamorf skiffer. Svartskiffer och kol kan innehålla mycket höga halter. Kadmium anrikas i organiskt material och i kol. Kadmium är mobilt vid oxiderande förhållanden och lakas från sulfider vid pH lägre än 8. Vid högt pH tenderar kadmium att fälla ut med karbonater. Mobiliteten är dock begränsad på grund av att kadmium gärna adsorberar till lerpartiklar och organiskt material samt fäller ut med järn-manganhydroxider. Den huvudsakliga källan till koncentrationer av kadmium i svensk morän är polymetalliska mineraliseringar (Zn, Pb, Cu, Ag) där kadmium förekommer i sulfider.

Ce, Cerium

Cerium är det näst lättaste men det vanligaste grundämnet bland de sällsynta jordartsmetallerna (rare earth elements, REE). Cerium bildar flera mineral, t.ex. monazit, xenotim, bastnäsit och cerit, och kan ersätta kalcium i fältspat. Mineral som innehåller cerium förknippas vanligtvis med granitoida bergarter, men höga koncentrationer av cerium kan också observeras i alkalina magmatiska bergarter. Cerium är inte särskilt mobilt men kan anrikas sekundärt i lerrika jordar eller adsorberas till järnoxider.

Co, Kobolt

Kobolt är en övergångsmetall med fysikaliska och kemiska egenskaper som liknar nickel. Kobolt bildar egna mineral, t.ex. koboltglans, och uppträder som spårelement i vanliga sulfider (t.ex. pyrit) och i bergartsbildande mineral som olivin, pyroxen och amfibol. De högsta kobolthalterna finns i ultrabasiska och basiska bergarter. Kobolt har hög mobilitet vid lågt pH och oxiderande förhållanden, samt låg mobilitet vid basiska och reducerande förhållanden. Mobilt kobolt koncentreras huvudsakligen i järn-manganoxider, leror och finkorniga sediment.

Cr, Krom

Krom är en vanlig övergångsmetall som förekommer i basiska och ultrabasiska bergarter. Krom bildar kromit och finns i små mängder i bergartsbildande mineral som amfibol, pyroxen, glimmer och granat. Vid vittring är mobiliteten hos krom vanligtvis låg, men i rörlig form koncentreras krom företrädesvis i leror.

Cu, Koppar

Koppar förekommer företrädesvis i sulfidform. Som spårelement kan det också finnas i glimmer, pyroxen och amfibol, och är därför vanligare i basiska bergarter som basalt och gabbro. Höga kopparhalter kan finnas i finkorniga sediment och metallen adsorberas lätt till lerpartiklar. Koppar är en basmetall som har stort ekonomiskt värde och det förekommer i många mineraliseringstyper, t.ex. porfyr-kopparmineraliseringar, vulkaniska sulfidmineraliseringar, polymetalliska gångförekomster och skarnmineraliseringar. Koppar är mobilt vid sura pH-förhållanden och fäller ut tillsammans med zink- och järnhydroxider. I jordar som är rika på organiskt material sker utfällning av koppar främst genom mikrobiell aktivitet.

Fe, Järn

Järn är ett av de vanligast förekommande grundämnena i jordskorpan och uppträder i mineral som oxider, sulfider och karbonater och är en huvudkomponent i silikat hos bergartsbildande mineral (t ex. olivin, amfibol, pyroxen och biotit). Järnhalten är hög i basiska och ultrabasiska bergarter jämfört med lägre halter i sura bergarter som granit. Även finkorniga sediment som lerskiffer kan ha högt järninnehåll. Lösligheten hos järn varierar med pH och Eh samt med mängden organiskt material. Lösligheten är låg vid oxiderande förhållanden och minskar med ökande pH. Järn har högre mobilitet vid reducerande förhållanden då järnet oftast är bundet i organiska komplex.

Ge, Germanium

Germanium bildar få egna mineral (t.ex. germanit) men är ett vanligt spårelement i Zn-, Pb- och Cu-sulfider och i bergartsbildande mineral som olivin, amfibol, fältspat och muskovit. Anrikning av germanium förekommer i senmagmatiska bergarter (pegmatit, greisen) och i hydrotermala mineraliseringar. Höga germaniumhalter återfinns i finkorniga sediment och i metamorfa motsvarigheter till dessa (skiffer, fyllit). Särskilt höga halter har observerats i kol och aska. Mobiliteten hos germanium är låg och ämnet adsorberas lätt till lermineral, järnoxider och organiskt material.

Hg, Kvicksilver

Kvicksilver förekommer huvudsakligen i sulfidform i hydrotermalt omvandlade vulkaniska och vulkanoklastiska bergarter. Gediget kvicksilver är sällsynt i naturen. Som spårelement kan det finnas i amfibol, fältspat, pyroxen, zinkblände och titanit. Sekundär anrikning sker i finkorniga sedimentära bergarter (svartskiffer) och kol. Inom mineralprospektering används kvicksilver ofta som indikatorelement vid prospektering efter Au-, Ag- och Sb-mineraliseringar. Kvicksilver har varierande mobilitet beroende på hur det förekommer i naturen. Det har en exceptionell tendens att bindas till organiskt material och i mindre skala till lermineral.

K, Kalium

Kalium är ett av de vanligaste grundämnena i jordskorpan. Kalium finns i en mängd olika mineral: bergartsbildande silikater (fältspat, glimmer), klorider (sylvit) och fyllosilikater (illit). Kalium anrikas i sura bergarter, inklusive alkalina och metamorfa bergarter, och i sandstenar och lerskiffer rika på fältspat. Vid vittring blir kalium lättlösligt och mobilt men har en hög tendens att adsorbera till lermineral. Extraherbarheten i kungsvatten är låg eftersom det mesta av kaliumet är bundet i vittringsbeständiga mineral som kalifältspat. Generellt är höga kaliumhalter vanliga i områden med granitiska och alkalina bergarter som är rika på kalifältspat och glimmer.

La, Lantan

Lantan tillhör de sällsynta jordartsmetallerna (rare earth elements, REE) och är det näst mest förekommande utav dessa. Lantan förekommer i accessoriska mineral som monazit, apatit och allanit och som ett spårelement i bergartsbildande mineral som biotit, pyroxen, fältspat och amfibol. Höga lantanhalter är typiska för magmatiska bergarter (granit, pegmatit) och alkalina bergarter. Sedimentära bergarter och sediment som innehåller tungmineral (t.ex. monazit) kan uppvisa mycket höga halter. Mobiliteten är låg hos lantan och adsorptionen till järnoxider, fosfater och lermineral är hög. Alla sällsynta jordartsmetaller har en tendens att ackumuleras i en basisk snarare än sur miljö och därför är lantankoncentrationen ofta hög i jord innehållande kalkhaltigt bergartsmaterial.

Li, Litium

Litium är en alkalimetall som återfinns i bergartsbildande mineral som biotit, fältspat och amfibol samt i lermineral. Litium bildar mineral som spodumen (pyroxen) och lepidolit (glimmer), vilka är karaktäristiska för senmagmatiska bergarter, t.ex. granit, aplit, pegmatit, greisen och kvartsådror. De högsta koncentrationerna av litium finns i alkalina till granitiska magmatiska bergarter, men lerskiffer, skiffer och finkorniga marina sediment kan också innehålla höga litiumhalter. I torra klimat fäller litium ut tillsammans med evaporitmineral. Mobiliteten hos litium är låg förutom vid lågt pH och adsorption sker främst till järnoxider, lermineral och organiskt material.

Mg, Magnesium

Magnesium är ett av de vanligaste grundämnena i den kontinentala jordskorpan. Det finns många olika magnesiummineral, från silikater och fosfater till karbonater och borater. Magnesium är ett huvudelement i bergartsbildande järn-magnesiummineral som olivin, biotit, amfibol och pyroxen. De högsta magnesiumkoncentrationerna hittas i ultrabasiska och basiska bergarter. Vid vittring är magnesium lättlösligt och mycket mobilt och kan via jonbyten fixeras till lermineral. Magnesium kan ersätta kalcium och ackumuleras i kalkhaltiga avlagringar.

Mn, Mangan

Mangan bildar många egna mineral (oxider, hydroxider, karbonater, silikater) och förekommer som ett accessoriskt grundämne i många bergartsbildande mineral, t.ex. granat, pyroxen, amfibol och olivin. I jonform (Mn^{2+}) ersätter mangan Fe^{2+} och Mg^{2+} i järn-magnesiummineral och därför är mangan vanligt i basiska bergarter som basalt och gabbro. I sedimentära bergarter och sediment bildas sekundära manganoxider i form av mindre utfällningar på mineralkorn. Vid oxiderande förhållanden kan metallen anrikas i leravlagringar. Som Mn^{2+} är mangan mobilt vid lågt pH medan manganoxider och manganhydroxider generellt visar låg löslighet.

Mo, Molybden

Molybden förekommer huvudsakligen i sulfidform men bildar även andra föreningar (molybdater) med syre. Som ett spårelement finns molybden i pyrit, kopparkis, blyglans, zinkblände, volframit, scheelit, titanit och magnetit, samt i fältspat och biotit. Molybden anrikas i sura magmatiska bergarter, t.ex. i andesit, granit och pegmatit. Sekundär anrikning förekommer i vissa sedimentära bergarter, t.ex. i svartskiffer och i marina järn-mangannoduler. Molybden är mobilt vid alkalina förhållanden och lösligt i oxiderande miljöer. Vid alkalina förhållanden bildar molybden sekundära mineral och kan påträffas i finkorniga sediment. Molybden bildar lätt komplex med organiskt material (som vanligen också är sulfidrikt). Under sura förhållanden bryts molybdenmineral ned och kan koncentreras i finkorniga jordar och ler.

Na, Natrium

Natrium är ett av de vanligaste grundämnena i jordskorpan och det är en viktig komponent i många bergartsbildande mineral (fältspat, glimmer, amfibol). Natrium är också ett vanligt grundämne i evaporitavlagringar (t.ex. halit, mirabilit) och i leravlagringar. Natrium anrikas i sura, magmatiska bergarter, speciellt i alkalina bergarter (t.ex. syenit), och i sedimentära bergarter (som lerskiffer och sandsten). Den relativt låga mobiliteten hos natrium i morän och sediment beror på att det huvudsakliga värdmineralet albit är svårvittrat. Natrium som har lösts tenderar dock att hålla sig i lösning och kan adsorbera till lermineral med hög katjonbyteskapacitet.

Nb, Niob

Niob är ett sällsynt grundämne som vanligtvis förekommer i sura bergarter och i pegmatiter. Även alkalina bergarter kan innehålla höga niobhalter. Typiska mineral är pyroklor och columbit-tantalit-serien. Små mängder av niob kan finnas i biotit, rutil, ilmenit, titanit, kassiterit och zirkon. Sekundära anrikningar förekommer i lerskiffer och i metamorf skiffer. Niob visar låg mobilitet och uppträder huvudsakligen i vittringsresistenta mineral. Den vanligaste källan till niob i morän är glimmer, där biotit utgör det mest lösliga Nb-mineralet. Niob tenderar att anrikas i finkorniga jordar och sediment som överlagrar granit och pegmatit, men adsorberas vanligen inte till lerpartiklar.

Ni, Nickel

Nickel är ett grundämne som bildar många sulfid- och arsenidmineral. Som ett spårelement finns det i bergartsbildande mineral som olivin, pyroxen, amfibol, glimmer och granat, och i många vanliga sulfider (t.ex. pyrit och kopparkis). Ultrabasiska bergarter uppvisar ofta hög anrikning av nickel. Sekundära Ni-halter förekommer i lateritiska och lerrika avlagringar som täcker ultrabasiska bergarter. Nickel är mobilt vid surt pH och oxiderande förhållanden, mobiliteten är begränsad av samutfällningen av Fe- och Mn-hydroxid samt adsorptionen till lermineral.

P, Fosfor

Fosfor bildar egna mineral, fosfater, varibland de huvudsakliga är apatit och monazit. Små mängder av fosfor finns i bergartsbildande mineral som olivin, pyroxen, amfibol, granat, glimmer och fältspat. Basiska och alkalina bergarter innehåller vanligen högre fosforhalter än sura bergarter. Bland sedimentära bergarter innehåller svartskiffer och fosforiter de högsta koncentrationerna. Extraherbarheten hos fosfor är hög i kungsvatten (ca 80 %). I naturen är fosfor lösligt vid neutralt pH (7), mobilt under lätt sura förhållanden, samt olösligt vid väldigt låga respektive väldigt höga pH-förhållanden. Fosfor adsorberas till lerpartiklar, Fe-oxider, Al-hydroxider och organiskt material.

Pb, Bly

Bly är ett starkt kalkofilt grundämne som oftast förekommer i sulfidform, t.ex. blyglans (PbS), men även som sulfat (anglesit) och karbonat (cerussit). I spårmängder uppträder det i bergartsbildande och accessoriska mineral som fältspat, glimmer, zirkon, magnetit och apatit. Bly är en viktig handelsvara och förekommer i polymetalliska sulfidmalmer, ofta med zink, koppar och silver. Bly binder lätt till organiskt material och därför kan lerskiffer och kol innhålla höga Pb-halter. Mobiliteten är låg på grund av den starka adsorptionen till lerpartiklar, Fe-Mn-hydroxider och organiskt material.

Rb, Rubidium

Rubidium är ett relativt vanligt förekommande grundämne som huvudsakligen substituerar kalium i bergartsbildande och accessoriska mineral samt i lermineral (t.ex. glimrar, K-fältspat, lepidolit, zinnwaldit, carnallit, pollucit, illit, montmorillonit). På grund av den stora jonradien och oxidationstillståndet (+1) anrikas rubidium i sen-magmatiska bergarter, speciellt i utvecklade graniter och pegmatiter, i finkorniga sedimentära bergarter (t.ex. lerskiffer) och deras motsvarigheter (skiffer, paragnejs). Rubidium kan mobiliseras i hydrotermala miljöer, och höga koncentrationer påträffas ofta i närheten av hydrotermalt omvandlade magmatiska bergarter och i relation till porfyr-koppar-mineraliseringar. Rubidium har låg mobilitet i jord och sediment vilket är ett resultat av den höga adsorptionen till lerpartiklar.

Sb, Antimon

Antimon är ett starkt kalkofilt grundämne som sällan bildar egna mineral (t.ex. stibnit). Det förekommer vanligtvis som ett spårelement i sulfider (t.ex. blyglans, zinkblände och pyrit) men också i ilmenit och olivin (där antimon substituerar järn). Antimon används tillsammans med arsenik och vismut som indikatorelement för att finna guldmineraliseringar. Lerskiffer, slamsten och leriga bergarter kan innehålla höga antimonhalter. Antimon kan också anrikas i hydrotermalt omvandlade bergarter. Antimon är relativt lättlösligt och mobilt, speciellt under oxiderande förhållanden. Vid reducerande förhållanden minskar mobiliteten. Utfällning sker med Fe-hydroxider och organiskt material, och adsorptionsförmågan till lerpartiklar är hög.

Sc, Skandium

Skandium är en övergångsmetall som sällan bildar egna mineral (som thortveitit) och förekommer som ett spårelement i bergartsbildande mineral som amfibol, biotit, pyroxen, granat samt i accessoriska mineral som monazit. Basiska bergarter har vanligtvis högre skandiumhalter än sura bergarter. Alkalina bergarter (t.ex. karbonatit) kan också uppvisa högre skandiumhalter. Höga koncentrationer uppträder i finkorniga, sedimentära bergarter som lerskiffer och dess metamorfa motsvarighet skiffer. Hydrotermalt förändrade bergarter, skarn och relaterade mineraliseringar uppvisar ofta höga skandiumhalter. Sekundära anrikningar som har sitt ursprung i vittrade basiska bergarter hittas i laterit- och bauxit-avlagringar. Skandiums mobilitet i jord är låg, huvudsakligen på grund av den starka tendensen till att binda till lermineral och organiskt material.

Se, Selen

Selen bildar selenider, t.ex. clausthalit och crookesit, och förekommer i sulfider där det vanligen substituerar svavel (i pyrit, kopparkis och zinkblände). Selen är volatilt och vanligt i områden med vulkanisk aktivitet. Basiska bergarter och sulfidmineral utgör huvudsakliga källor till selen. Sedimentära bergarter rika på organiskt material (svartskiffer) och kol kan innehålla höga selenhalter. Mobiliteten hos selen är högre under oxiderande förhållanden men sjunker med sjunkande pH och är icke-mobilt i reducerande miljöer. Selenföreningar har en tendens att adsorberas till Fe-oxyhydroxider, lerpartiklar och organiskt material.

Sn, Tenn

Tenn bildar huvudsakligen mineralet kassiterit (SnO_2), vilket uppträder i granit, pegmatit, skiffer, hydrotermala sprickfyllnader, metasomatiska bergarter (t.ex. greisen) och vaskavlagringar. Tenn finns som spårelement i många bergartsbildande och accessoriska mineral som glimmer, amfibol, titanit, ilmenit och magnetit. Höga tennkoncentrationer finns i sura magmatiska bergarter, metamorf skiffer, lerskiffer och kol. Tenn är relativt icke-mobilt och fäller ut med Fe- och Al-hydroxider, samt adsorberar till lerpartiklar och bildar både lösliga och olösliga komplex med organiskt material. Mobiliteten är hög vid lågt pH.

Sr, Strontium

Strontium är ett relativt vanligt grundämne som substituerar kalcium, barium och kalium i bergartsbildande mineral som fältspat, plagioklas, gips, kalcit och dolomit. Strontium bildar egna mineral (strontianit och celestin) som förekommer i hydrotermalt omvandlade bergarter. Intermediära till basiska (speciellt alkalina) och hydrotemalt omvandlade bergarter tenderar att anrikas på strontium. Tillsammans med barium och magnesium utgör strontium ett vanligt

grundämne i bergarter rika på kalciumkarbonat. Vid vittring är strontium mycket mobilt, särskilt under sura förhållanden, och adsorberar vanligtvis till lermineral och binds i organiskt material.

Ta, Tantal

Tantal är ett litofilt grundämne som huvudsakligen förekommer som oxid (tantalit). Tantal finns också som spårelement i bergartsbildande mineral (biotit, pyroxen, amfibol) och i accessoriska mineral som titanit, ilmenit, rutil och zirkon, där det ofta substituerar titan, yttrium och sällsynta jordartsmetaller. Tantal förekommer tillsammans med niob i granit, pegmatit och alkalina bergarter. Höga tantalhalter finns i greisen och i hydrotermala spricksystem som är rika på tenn. Tantalit och pyroklor är de huvudsakliga tantalmineralen i mineraliseringar. Mineral som innehåller tantal är ofta vittringsbeständiga och mobiliteten av grundämnet är relativt lågt. Sekundär anrikning av tantal återfinns i tungmineralavlagringar (vaskavlagringar) och i finkorniga sedimentära bergarter (lerskiffer). Vid vittring bildar tantal lösliga komplex med organiska föreningar.

Te, Tellur

Tellur är en halvmetall med egenskaper som liknar de hos selen och svavel. I naturen uppträder tellur i sin rena form eller som tellurider, telluriter och arsenosulfider. Tellur bildar mineral tillsammans med vismut, koppar och ädelmetaller som guld, silver och platina. Många vanliga sulfider innehåller spårmängder av tellur, t.ex. pyrit, kopparkis och pentlandit. Inom mineralprospektering används tellur för att hitta guldmineraliseringar. Basiska bergarter innehåller högre tellurhalter än sura bergarter och sekundära koncentrationer av tellur har observerats i kol och inom oxidationszoner nära malmfyndigheter. Tellur har låg mobilitet i supergena zoner och kan adsorberas till Fe- och Mn-oxyhydroxider samt organiskt material.

Th, Torium

Torium är ett inkompatibelt grundämne som koncentreras i sen-magmatiska bergarter (graniter och pegmatiter). Finkorniga sedimentära bergarter (lerskiffer) och deras metamorfa motsvarigheter (skiffer, paragnejs) kan innehålla höga toriumhalter. Medan torium kan bilda oxider (thorianit) och silikater (thorit) förekommer det oftare som ett spårelement (tillsammans med uran) i accessoriska mineral som monazit, allanit, epidot, titanit och zirkon. Kemiskt följer torium kalcium och kan finnas i höga koncentrationer i kalksten. Torium oxiderar vid vittring och kan anrikas i reducerande miljöer samt adsorberas lätt till lerpartiklar och i något mindre utsträckning till organiskt material.

Ti, Titan

Titan är ett vanligt grundämne som bildar ett flertal mineral (ilmenit, rutil, titanit) som alla är vittringsbeständiga. Titan substituerar magnesium och järn i bergartsbildande silikater som pyroxen, amfibol, granat och glimmer. Basiska och ultrabasiska bergarter innehåller vanligtvis höga titanhalter och anrikning i lerskiffer är vanlig. Lösligt titan kommer vanligen från vittrade Fe-Mg-silikater i basiska bergarter. Adsorptionsförmågan till lerpartiklar är hög och titan fäller även ut med Fe-Mn-(hydro)oxider.

Tl, Tallium

Tallium förekommer vanligen i olika sulfider (blyglans, zinkblände, pyrit) och substituerar kalium i silikater (t.ex. fältspat, leucit, glimmer). De högsta talliumkoncentrationerna finns i

granit, metamorf skiffer, lerskiffer och kol. Talliummineral uppträder i hydrotermala miljöer (t.ex. lorandit, crookesit). Tallium kan anrikas i pegmatiter och i polymetalliska (Zn-Pb) mineraliseringar, och metallen används ofta som ett indikatorelement inom guldprospektering. Tallium är lösligt och frigörs vid vittring. Den låga mobiliteten hos tallium beror på dess tendens att adsorberas till lerpartiklar och organiskt material, och dess utfällning med Fe-Mn-oxider och -hydroxider. Vissa växter kan ackumulera tallium istället för makronäringsämnet kalium.

U, Uran

Uran är ett radioaktivt grundämne som tillhör aktiniderna. Uraninit är det vanligaste uranmineralet, men uran förekommer oftast som ett spårelement i accessoriska mineral som apatit, zirkon och monazit. I vanliga magmatiska bergarter hittas de högsta uranhalterna i granit och pegmatit samt i sura vulkaniska bergarter. Även svartskiffer som är rik på organiskt material tenderar att ha höga uranhalter. De flesta mineral som innehåller uran är vittringsresistenta, och i de fall uran avges blir det mobilt och adsorberas till lermineral, organiskt material och järnoxider samt binder till fosfater. Under oxiderande, sura till alkalina förhållanden är uran lösligt, men mobiliteten minskar i reducerande miljöer.

V, Vanadin

Vanadin är ett vanligt grundämne som bildar egna mineral (vanadater) och förekommer i järnrika mineral (t.ex. magnetit) och i bergartsbildande mineral (pyroxen, amfibol, glimmer). De högsta vanadinhalterna uppträder i basiska till ultrabasiska bergarter men finkorniga sedimentära bergarter (skiffer), kol och bauxit kan också uppvisa högre koncentrationer. Vanadin är mobilt i oxiderande miljöer och mindre mobilt vid lågt pH, reducerande förhållanden och vid metamorfa processer. Vanadin adsorberas till Fe- och Mn-oxider och -hydroxider, lermineral och organiskt material.

W, Wolfram

Wolfram är ett ganska sällsynt grundämne som förekommer i magmatiska bergarter (granit, pegmatit), metasedimentära bergarter (t.ex. grafitskiffer, fyllit) och finkorniga sedimentära bergarter (lerskiffer). Scheelit och wolframit utgör de ekonomiska källorna till wolfram och finns huvudsakligen i kvartsrika sprickzoner, pegmatiter och skarnmineraliseringar. De flesta wolframmineraliseringarna är ursprungligen av metasomatisk eller hydrotermal karaktär. Wolframmineral förekommer ofta i samband med kassiterit och fluorit. Små mängder wolfram finns i glimmer, magnetit och rutil. Wolfram används som indikatorelement inom prospektering för guld. De geokemiska egenskaperna hos wolfram liknar de hos molybden. Metallens löslighet är låg och wolframmineral är generellt olösliga vid sura pH-förhållanden. Frigjort wolfram är dock mobilt och adsorberas lätt till manganoxider och lerpartiklar. Höga wolframhalter i vissa svartskifferförekomster indikerar att det finns en tendens hos metallen att bindas till organiskt material.

Y, Yttrium

Yttrium är en övergångsmetall som traditionellt klassas som en av de sällsynta jordartsmetallerna, eftersom yttrium uppvisar många liknande kemiska egenskaper. Xenotim, monazit och gadolinit är vanliga mineral som innehåller yttrium. Som spårlement förekommer yttrium även i accessoriska mineral (zirkon, apatit, granat) och i bergartsbildande minerals som bitot och pyroxen. Yttrium förekommer i senmagmatiska bergarter som granit och pegmatit, al-

kalina bergarter (syenit) och hydrotermalt omvandlade bergarter. Sekundära koncentrationer i sedimentära bergarter beror på förekomsten av tunga mineral (zirkon, monazit). Yttrium är relativt mobilt och har hög tendens att adsorberas till lermineral och Fe- och Mn-oxider och -hydroxider.

Zn, Zink

Zink är ett kalkofilt grundämne som bildar ekonomiskt viktiga malmer med malmmineralet zinkblände. Zinkblände uppträder vanligtvis tillsammans med blyglans och andra sulfider. Zink bildar också zinkkarbonater (t.ex. smithsonit) och zinkoxider (t.ex. zinkit, gahnit). Som spårelement förekommer zink i många mineral, t.ex. i magnetit, pyroxen, amfibol, biotit, granat och dolomit. Zink tenderar att ackumulera i basiska bergarter, metamorf skiffer och i lerskiffer. I sedimentära bergarter finns zink i lermineral (t.ex. kaolinit), karbonater och i vittrad magnetit. Fe-Mn-noduler kan också innehålla höga zinkhalter. Då zink frigörs via vittring fäller det ut tillsammans med Fe-Mn-Al-oxyhydroxider och adsorberas till lerpartiklar och organiskt material. Zink har hög löslighet och är mobilt under oxiderande och sura förhållanden. Mobiliteten minskar med reducerande (bildning av zinkblände) och alkalina (bildning av karbonater) miljöer.

Zr, Zirkonium

Zirkonium är ett typiskt spårelement som förekommer främst i form av mineralet zirkon i granitiska och alkalina bergarter. Zirkonium finns i bergartsbildande mineral som klinopyroxen, amfibol, granat och glimmer, samt substituerar för titan i ilmenit, titanit och rutil. Mängden zirkonium i sedimentära bergarter beror på tungmineralfraktionen vilken kan vara hög i vissa sandstenar (t.ex. gråvacka och arkos). Zirkonium har låg löslighet och mobilitet, och extraherbarheten i kungsvatten är mycket låg (ca 1 %). Zirkonium från vittrade mineral som biotit, pyroxen och amfibol kan adsorberas till lerpartiklar och i viss mån till organiskt material.

BILAGA 3. GENERELLA RIKTVÄRDEN FÖR FÖRORENAD MARK

General guideline values for contaminated soil

Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark (mg/kg TS). KM = känslig markanvändning och MKM = mindre känslig markanvändning (tabellen publicerad juni 2016).

Tabell över generella riktvärden för förorenad mark			
Ämne	**KM**	**MKM**	**Kommentar**
Antimon	12	30	
Arsenik	10	25	
Barium	200	300	
Bly	50	400	
Kadmium	0,8	12	
Kobolt	15	35	
Koppar	80	200	
Krom totalt	80	150	Om andelen krom (VI) är större än 1% av den totala kromhalten bör även krom (VI) riskbedömas
Krom (VI)	2	10	Anm 2
Kvicksilver	0,25	2,5	
Molybden	40	100	
Nickel	40	120	
Vanadin	100	200	
Zink	250	500	
Cyanid total	30	120	
Cyanid fri	0,4	1,5	Anm 2
Summa fenol och kresoler	1,5	5	Anm 2
Summa klorfenoler (mono - penta)	0,5	3	Anm 2
Summa mono- och diklorbensener	1	15	Anm 1, 2
Triklorbensener	1	10	
Summa tetra- och pentaklorbensener	0,5	2	
Hexaklorbensen	0,035	0,1	
Diklormetan	0,08	0,25	Anm 1, 2
Dibromklormetan	0,5	2	Anm 1, 2
Bromdiklormetan	0,06	1	Anm 1, 2
Triklormetan	0,4	1,2	Anm 1, 2
Koltetraklorid (Tetraklormetan)	0,08	0,35	Anm 1, 2
1,2-dikloretan	0,02	0,06	Anm 1, 2
1,2-dibrometan	0,0015	0,025	Anm 1, 2
1,1,1-trikloretan	5	30	Anm 1, 2
Trikloreten	0,2	0,6	Anm 1, 2
Tetrakloreten	0,4	1,2	Anm 1, 2
Dinitrotoluen (2,4)	0,05	0,5	Anm 2
PCB-7	0,008	0,2	PCB-7 antas vara 20% av PCB-tot
Dioxin (TCDD-ekv WHO-TEQ)	0,00002	0,0002	Inkluderar även dioxinliknande PCB
PAH-L	3	15	PAH med låg molekylvikt
PAH-M	3,5	20	PAH med medelhög molekylvikt
PAH-H	1	10	PAH med hög molekylvikt
Bensen	0,012	0,04	Anm 1, 2
Toluen	10	40	Anm 1, 2
Etylbensen	10	50	Anm 1, 2
Xylen	10	50	Anm 1, 2
Alifat >C5-C8	25	150	Anm 1, 2
Alifat >C8-C10	25	120	Anm 1
Alifat >C10-C12	100	500	Anm 1
Alifat >C12-C16	100	500	
Alifat >C5-C16	100	500	Summa av alifatfraktioner ovan
Alifat >C16-C35	100	1000	
Aromat >C8-C10	10	50	
Aromat >C10-C16	3	15	
Aromat >C16-C35	10	30	
MTBE	0,2	0,6	Anm 1, 2
DDT, DDD, DDE	0,1	1	
Aldrin-Dieldrin	0,02	0,18	
Kvintozen-pentakloranilin	0,12	0,4	
Organiska tennföreningar	0,25	0,5	
Tributyltenn (TBT)	0,15	0,3	
Dibutyltenn (DBT)	1,5	5	
Monobutyltenn (MBT)	0,25	0,8	
Irgarol	0,004	0,015	
Diuron	0,025	0,08	

Anm 1 Ämnen som i stor utsträckning kan förekomma i porluft. Kompletterande analyser av markluft och inomhusluft rekommenderas.
Anm 2 Ämnen som i stor utsträckning kan förekomma i grundvatten. Kompletterande analyser av grundvatten rekommenderas.