

Bergslagen, etapp 2

Malmförutsättningar i norra delen av Bergslagens litotektoniska enhet

Magnus Ripa, Stefan Bergman & Patrick Casey

januari 2024

SGU-rapport 2024:01



Omslagsbild: Flätsbo gruva, 6778076 539124,
zink- och kopparmineralisering i form av
dissemination och bandning i metagråvacka.
Foto: Magnus Ripa.

Författare: Magnus Ripa, Stefan Bergman och Patrick Casey

Granskad av: Stefan Andersson

Ansvarig enhetschef: Ildikó Antal Lundin

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

Sammanfattning.....	4
Abstract.....	4
Inledning.....	5
Tidigare arbeten.....	5
Metodik.....	6
Berggrunden.....	7
Resultat.....	11
Förekomst av karbonatbergarter och deras omvandlingsprodukter.....	11
Litogeokemi.....	11
Åldersbestämning	25
Beskrivning av proverna.....	25
Beskrivning av zirkonerna.....	27
Analysresultat.....	27
Diskussion	30
Tolkning av uran-blyzirkondata.....	30
Geokemiska skillnader mellan Ockelbodomänen och Bergslagen.....	31
Betydelse av de geokemiska skillnaderna	32
Implikationer för förekomst av mineraliseringar	32
Referenser.....	33

SAMMANFATTNING

Ockelbodomänen i den norra delen av Bergslagens litotektoniska enhet utmärks genom att frekvensen av mineraliseringar är betydligt lägre än i Bergslagen i övrigt. Syftet med denna undersökning är att utreda möjliga orsaker till skillnaden i mineraliseringsfrekvens. En sammanställning av information från berggrundskartor visar att andelen ytor med metavulkaniska bergarter är likartad i de bägge områdena men att förekomster av karbonatsten och skarn är betydligt mindre vanliga i Ockelbodomänen.

För att utreda eventuella kemiska skillnader i berggrunden så kompletterades befintliga litogeokemiska data med 37 analyser av nya bergartsprov. Resultaten visar att Ockelbodomänens berggrund är mindre påverkad av natrium- och kaliumomvandling än Bergslagen i övrigt. Fördelningen av SiO_2 -halter visar också att Ockelbodomänen har en bimodal fördelning till skillnad mot övriga områden. Mafiska metavulkaniter i Ockelbodomänen har generellt högre halter och kvoter av fosfor, strontium, Y/Zr, Y/Nb och tunga sällsynta jordsartsmetaller och lägre av kalium, rubidium, barium, torium, La/Lu och inkompatibla grundämnen. Felsiska metavulkaniter i Ockelbodomänen har generellt högre halter av järn, titan, zirkonium och tunga sällsynta jordsartsmetaller och lägre av aluminium, magnesium och inkompatibla grundämnen. Mafiska metaplutoniter i Ockelbodomänen har generellt högre halter av aluminium, barium, strontium, terbium och lantan, medan felsiska metaplutoniter har generellt högre halter av kalium, titan, rubidium och lägre natrium och strontium. Resultaten visar att Ockelbodomänen har en mer alkalisk karaktär än Bergslagen i övrigt, vilket kan peka på att den representerar bildning längre innanför en subduktionszon, kanske i en mer utpräglad riftmiljö.

U-Pb-datering av zirkon från två prover av högmetamorf felsisk vulkanit ger åldrar i intervallet 1820–1810 Ma vilket tolkas som en metamorf ålder, i överensstämmelse med publicerade åldrar för regionens andra metamorfa fas. En möjlig magmatisk kristallisationsålder ges av två analyspunkter med åldrar i intervallet 1870–1850 Ma.

Sammantaget tyder resultaten på att magmatismen i Ockelbodomänen är mer besläktad med magmatismen i Losområdet än den i Bergslagen, vilket är betydelsefullt för planeringen av framtida propekteringsinsatser i området.

ABSTRACT

The Ockelbo domain in the northern part of the Bergslagen lithotectonic unit is characterised by a much lower frequency of mineralisations than the rest of Bergslagen. The purpose of this study is to find possible explanations to this difference. A compilation of information from bedrock maps shows that the proportion of metavolcanic rocks is similar in both areas while occurrences of carbonate rock and skarn are much less common in the Ockelbo domain.

In order to investigate possible chemical differences in the bedrock, the available lithochemical data was complemented with 37 analyses of new bedrock samples. The results show that the bedrock in the Ockelbo domain is less affected by sodium and potassium alteration than the rest of Bergslagen. The distribution of SiO_2 contents also shows that the Ockelbo domain has a bimodal distribution, in contrast to other areas. The mafic metavolcanic rocks in the Ockelbo domain generally have higher contents of phosphorous, strontium, Y/Zr, Y/Nb, heavy rare earth elements and lower contents of potassium, rubidium, barium, thorium, La/Lu and incompatible elements. The felsic metavolcanic rocks in the Ockelbo domain generally have higher contents of iron, titanium, zirconium and heavy rare earth elements and lower contents of aluminium, magnesium and incompatible elements. The mafic metaplutonic rocks in the Ockelbo domain

generally have higher contents of aluminium, barium, strontium, terbium and lanthanum, and the felsic metaplutonic rocks generally have higher contents of potassium, titanium, rubidium and lower sodium and strontium contents. The results show that the Ockelbo domain has a more alkaline character than the rest of Bergslagen, which might represent formation in more inner parts with respect to the subduction zone, possibly in a rift setting.

U-Pb dating of zircon from two samples of high-grade metamorphic felsic volcanite gives ages in the interval 1820–1810 Ma, which is interpreted as a metamorphic age, in agreement with published ages of the second metamorphic phase in the region. A possible magmatic crystallisation age is given by two point analyses with ages in the interval 1870–1850 Ma.

Altogether, the results indicate that the magmatism in the Ockelbo domain is more related to the magmatism in the Los area than that in Bergslagen, which is significant for the planning of future exploration work in the area.

INLEDNING

Denna rapport beskriver ett delprojekt inom det övergripande SGU-projektet *Bergslagen, etapp 2, malmpotentiell* som inleddes 2018. Delprojektområdet Ockelbodomänen ligger i Dalarnas och Gävleborgs län och omfattar delar av Gävle, Sandvikens, Ockelbo, Falu, Rättviks, Bollnäs, Ovanåkers, Ljusdals och Orsa kommuner (fig. 1).

Bergslagens litotektoniska enhet (se t ex Stephens & Jansson 2020 för nomenklatur) avgränsas i norr mot Ljusdals litotektoniska enhet av Hagstagnejszonen (Bergman & Sjöström 1994) från Hamrångeområdet och mot VNV (fig. 1a). En nordlig del av Bergslagens litotektoniska enhet, som har kallats Ockelbodomänen (fig. 1a; Tiren & Beckholmen 1990, Högdahl m.fl. 2009), är avgränsad i söder av ett brett bälte med skjuvzoner benämnt Gävle–Rättvikzonen (Högdahl m.fl. 2009).

Enligt tillgänglig geologisk kartbild är berggrunden i Ockelbodomänen jämförbar med den i Bergslagen för övrigt, men frekvensen av mineraliseringar är betydligt lägre än längre söderut, även om fyndigheter finns. Järn- och sulfidmineraliseringar samt industrimineralförekomster enligt SGU:s mineralresursdatabas visas i figur 1b.

Syftet med detta delprojekt var att utreda möjliga orsaker till skillnaden i mineraliseringsfrekvens mellan Ockelbodomänen och Bergslagen i övrigt.

TIDIGARE ARBETEN

Regionala berggrundskartor gjordes över Kopparbergs (nu Dalarnas) län av Hjelmqvist (1966) och Gävleborgs län av Lundegårdh (1967). Länsvisa inventeringar av mineralfyndigheter gjordes i Gävleborg av Wik m.fl. (2009) och Dalarna av Ripa m.fl. (2015). I dessa arbeten finns moderna, men översiktliga sammanställningar av bergarternas utbredning. Sammanställningarna baseras i huvudsak på de regionala kartorna och på modernare och mer detaljerade berggrundskartor. I nästan hela projektområdet Ockelbodomänen finns moderna, detaljerade kartor av Bergman & Söderman (2005), Delin & Aaro (1992, 2000), Delin & Söderman (2005), Kresten & Aaro (1987), Kresten m.fl. (1991), Sjöblom m.fl. (1987a, b), Sukotjo (1995), Sukotjo & Sträng (2005) och Sukotjo m.fl. (2005). Under vissa av dessa karteringsinsatser gjordes litogeokemiska analyser som används i denna studie.

Resultat från en geokemisk studie av främst de basiska metavulkaniska bergarterna i Hamrånge- och Losområdena presenterades av Ogenhall (2007). För båda områdena noterades tydliga fraktioneringstrender för magnesium, järn, kalcium, vanadin och skandium. Bergarterna har en tholeiitisk signatur och LIL (litofila grundämnen som bildar stora joner) är anrikade jämfört med HFSE (grundämnen med hög fältstyrka). Av tektoniska diskriminationsdiagram framgår att de snarare liknar N-MORB eller vulkanisk öbågebasalt än E-MORB eller ”within-plate basalt”, och att det möjligen finns en subduktionsanrikning av torium.

Metavulkaniterna från Losområdet har en uppenbar bimodal signatur med avsaknad av prover med SiO₂-halter i intervallet 60–74 %. De basiska metavulkaniterna har en natriumanrikad, spilitisk karaktär. Tektoniska diskriminationsdiagram ger en tvetydig bild med signaturer som liknar både MORB och vulkanisk öbågebasalt, och Ogenhall (2007) föreslår att bergarterna bildades i en ”back-arc basin”.

Metavulkaniterna i Hamrångeområdet har, till skillnad från de i Los, ett brett sammansättningspektrum vad gäller SiO₂ och de är inte påtagligt natriumanrikade. Spårelementsignaturen hos de basiska metavulkaniterna visar att de liknar oceanisk vulkanisk öbågebasalt (Ogenhall 2007).

Litogeokemiska data från Bergslagen behandlas i Stephens & Jansson (2020). Natrium, och kalium eller magnesium är anrikade genom hydrotermala omvandlingsprocesser. Basiska metavulkaniter har en kontinental till alkalin affinitet och liknar geokemiskt kalkalkalin basalt från aktiva kontinentkanter.

Åldersbestämningar inom det provtagna området har tidigare gjorts av Åberg m.fl. (1983) och Sukotjo & Sträng (2005).

METODIK

Då det antogs att berggrundens kemiska sammansättning skulle kunna vara en anledning till skillnader i mineraliseringspotential mellan projektområdet Ockelbodomänen och Bergslagen i stort, gjordes inledningsvis en sammanställning och bearbetning av tillgänglig kemisk information i SGU:s databas. För utsökningen användes polygonerna i figur 1. Härvid framgick att delprojektområdet Ockelbodomänen var starkt underrepresenterat (se fig. 2). Det finns dock mer data att tillgå, åtminstone de som presenteras i Ogenhall (2007). Resultatet av bearbetningen låg till grund för ett förslag till fortsatta insatser, inklusive en provtagningsplan. Denna plan baserades på berggrundens karaktär och läget av redan befintliga data. Syftet var att få ett bättre statistiskt underlag, och ett antal bergarter provtogs i projektområdet.

Våra prover insamlades under sammanlagt 16 fältdagar åren 2020 och 2022. Avsteg från den uppgjorda provtagningsplanen gjordes då håll saknades på förväntad plats, då hållen inte gick att provta eller då vi uppfattade att det inte var avsedd bergart på platsen. I några fall modifierades därför provtagningsplanen i fält.

Proverna processades därefter av ALS Scandinavia AB. De analyspaket som användes var CCP-PKG01, ME-MS41, PGM-ICP23, ME-IC881.

Samtliga befintliga data har värderats och rensats, och många prover med uppenbart avvikande sammansättning, avvikande analysresultat och avsaknad av vissa grundämnen har tagits bort. Sålunda har exempelvis endast prover med fullständiga data för sällsynta jordartsmetaller (REE) använts.

De flesta av de diagram som presenteras nedan (se avsnitt Litogeokemi) har framställts med hjälp av GCDkit (Janousek m.fl. 2006).

Datering med U-Pb-zirkonmetoden gjordes för två av proverna. Proverna krossades och tung-mineral isolerades med ett WilfeyTM-skakbord. Magnetiska mineral separerades med en magnet. Zirkonerna plockades sedan med hjälp av ett stereomikroskop och monterades i en 25 mm epoxypuck tillsammans med referenzzirkoner. Pucken slipades sedan för att blotta zirkonernas kärnor. Avbildning av zirkonerna utfördes på ett Hitachi TM4000 svepelektronmikroskop (SEM) och på ett Phillips SEM utrustat med katodoluminiscens för att få bilder av strukturer inuti zirkonerna. Epoxypucken fick sedan en ny guldbeläggning på 25 nm inför analys med en CAMECA IMS1280 jonmikroskop på NordSIMS-laboratoriet vid Naturhistoriska riksmuseet i december 2022.

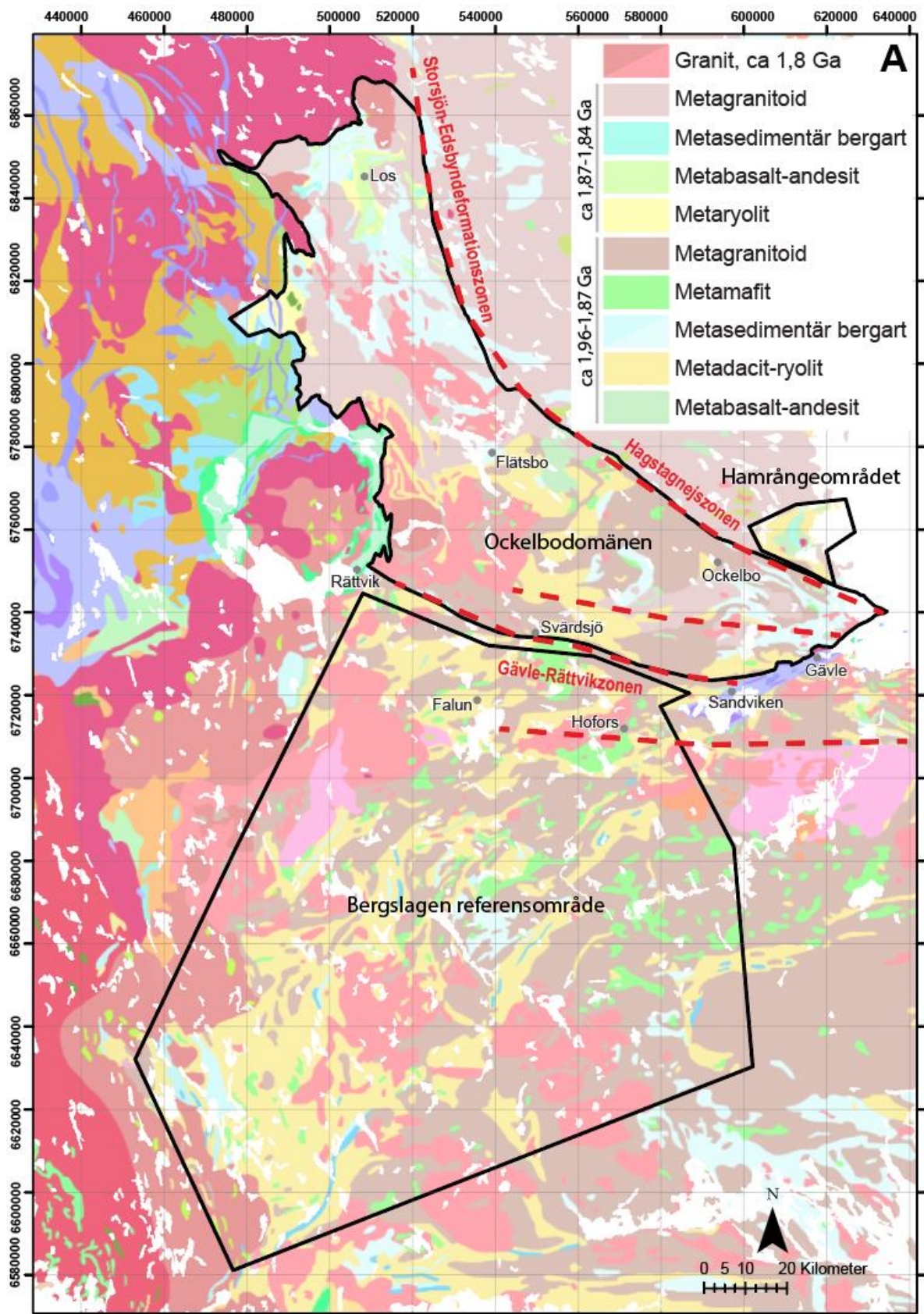
En detaljerad beskrivning av NordSIMS och metodiken för analys av zirkoner finns i Whitehouse & Kamber (2005). Reduktion av sessionsdata skedde med hjälp av Microsoft Excel-tillägget IsoPlot (Ludwig 2003) och diagram skapades med IsoPlotR (Vermeesch 2018).

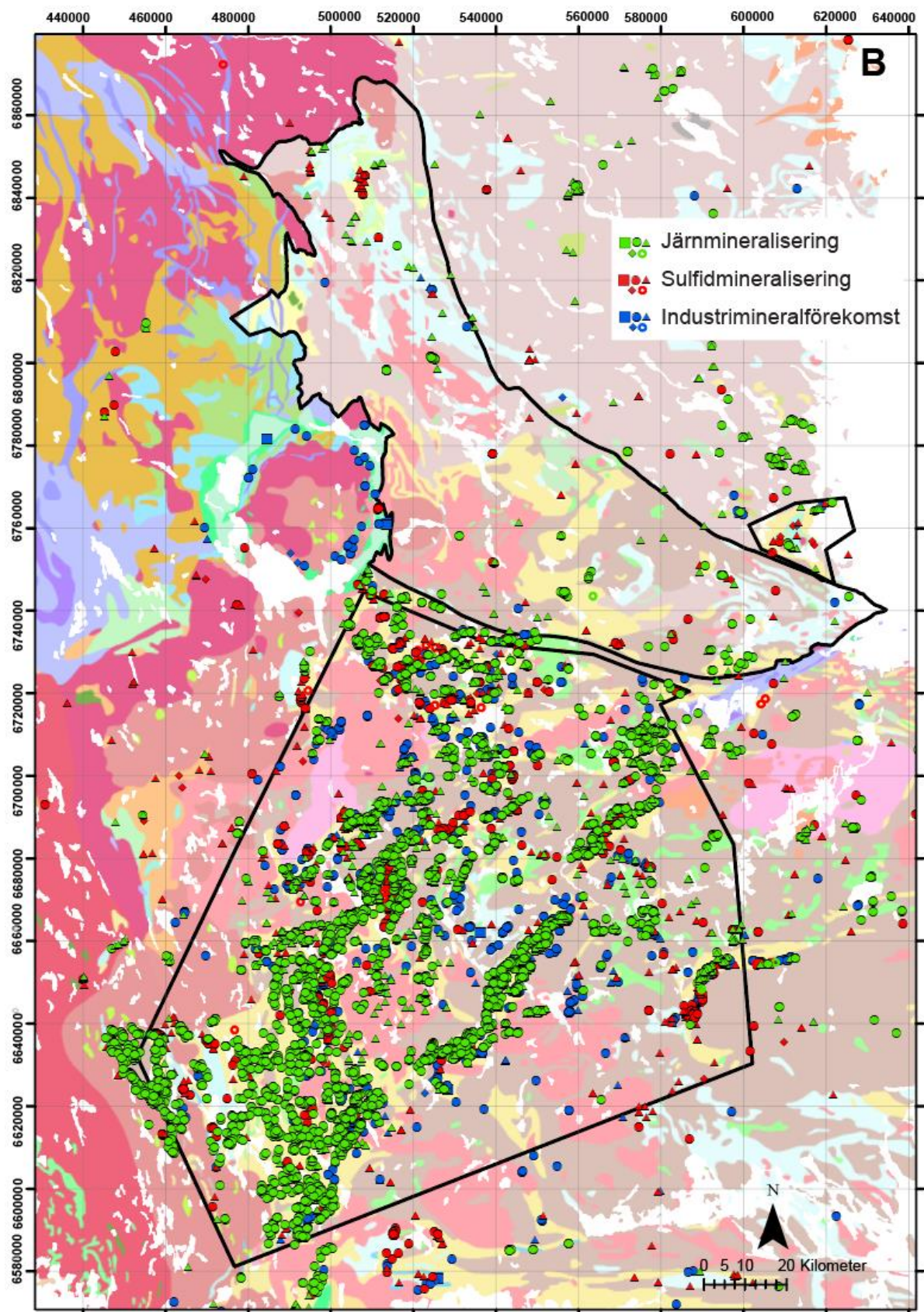
BERGGRUNDEN

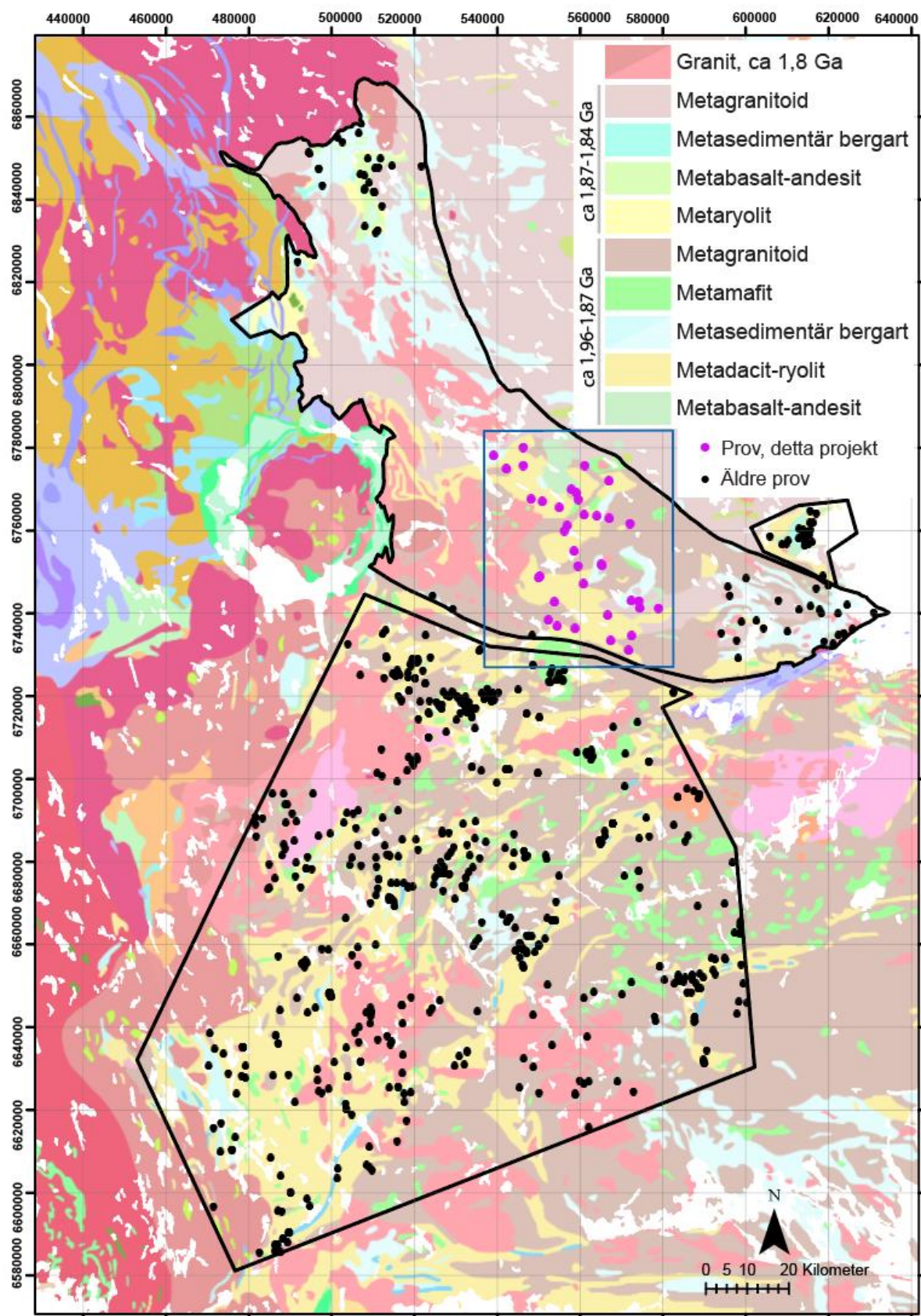
Berggrunden i både Bergslagen och Ockelbodomänen, liksom i Hamrångeområdet, består enligt SGU:s kartdatabas (fig. 1a) i huvudsak av den för Bergslagen normala, dvs. den domineras av svekofenniska ytbergarter, lokalt med järn- och sulfidmineraliseringar, metabasitgångar, äldre och yngre plutoniska intrusivbergarter samt diabasgångar (se t ex Stephens m.fl. 2009, Stephens & Jansson 2020). Metamorfosen i Bergslagen uppnådde amfibolitfacies, till stor del utan anatexis, med grönskifferfacies i vissa områden. I Ockelbodomänen var temperaturen högre med anatexis och bildning av migmatit i övre amfibolitfacies (Stålhös 1991, Stephens & Jansson 2020).

► **Figur 1.** Berggrundsgeologisk kartbild, förenklad från SGU:s kartdatabas (SGU 2022). Projektområdet Ockelbodomänen, ett referensområde i Bergslagen i övrigt och Hamrångeområdet är markerade. Teckenförklaringen omfattar bergarterna inom projektområdet. Utbredning av sjö och hav enligt Lantmäteriet markeras med vit färg. Rutnät och koordinater enligt SWEREF 99 TM. **A.** Berggrundskartan visar att dessa tre områden har i huvudsak samma litologier. **B.** Antalet kända mineraliseringar och industrimineral-förekomster är betydligt färre i Ockelbodomänen än i referensområdet i Bergslagen i övrigt.

*Simplified bedrock map from the SGU database (SGU 2022). The project and other herein discussed areas are marked. The legend is for rocks within the project area. Geographical information according to the Swedish Mapping, Cadastral and Land Registration Authority. Coordinates according to the national grid SWEREF 99 TM. **A.** The bedrock map suggests similar lithologies in all discussed areas. **B.** Iron mineralisations, sulphide mineralisations and industrial mineral deposits according to SGU database. Note significantly fewer deposits in the Ockelbo domain compared to Bergslagen proper.*







Figur 2. Den geografiska fördelningen av de prover som använts. Den blå rektangeln markerar området i figur 15.

Geographical distribution of samples used in this study. The blue rectangle shows the location of figure 15.

RESULTAT

Förekomst av karbonatbergarter och deras omvandlingsprodukter

En stor del av Bergslagens mineraliseringar är knutna till karbonatbergarter och deras omvandlingsprodukter. En sammanställning av antalet förekomster av dessa bergarter (kalksten, dolomit, marmor, karbonatbergart, kalksilikatbergart och skarn) i SGU:s kartdatabas Berggrund 1:50 000–1:250 000 samt antal järnmineraliseringar enligt SGU:s fyndighetsdatabas (mdep) gav följande resultat:

Bergslagens referensområde

- Areal = 15 620 km² (varav 1506 är metavulkanit = 10%)
- Antal ytor = 277 (av 9 842)
- Antal linjesymboler = 1125 (av 2 310)
- Antal punktsymboler (bergartsroll) = 163 (av 21 037)
- Antal järnmineraliseringar = 6 099

Ockelbodomänen

- Areal = 7 593 km² (varav 1071 är metavulkanit = 14%)
- Antal ytor = 5 (av 1833)
- Antal linjesymboler = 105 (av 701)
- Antal punktsymboler (bergartsroll) = 0 (av 2 753)
- Antal järnmineraliseringar = 115

Projektområdet i norr är alltså ungefär hälften så stort som referensområdet i Bergslagen. Uppräknat ger detta ca 10 ytor, 210 linjer och kanske någon enstaka punkt, att jämföra med 277 ytor, 1125 linjer och 163 punkter. En relativt större proportion linjer över ytor i norr kan delvis bero på sekundära processer, som starkare deformation. Den relativa andelen ytor och linjer med karbonat eller skarn jämfört med sådana för andra bergarter är betydligt större i Bergslagen än norr därom. Antal järnmineraliseringar i norr är (uppräknat) 230 mot 6 099.

Även om siffrorna inte ger en exakt bild av den rumsliga utbredningen av dessa bergarter enligt gjord kartering, vilken dessutom heller kanske inte gjorts med samma observationstäthet i respektive område, visar de ändå att karbonatstenar eller skarn är betydligt vanligare i Bergslagen än norr därom. Signifikant är möjligen att proportionen mellan antal ytor och antal järnmineraliseringar är jämförbar, ca 28 respektive 27 gånger fler i Bergslagen. Notera också att den ytmässiga andelen metavulkaniter är aningen högre i Ockelbodomänen än i Bergslagens referensområde, 14 mot 10 %. Det senare kan möjligen tolkas som att erosionsnivån är jämförbar i båda områdena.

Sett till befintlig berggrund var alltså bildningsbetingelserna för ursprunglig kalksten betydligt sämre i norr och därmed fanns också färre värdbergarter för bildning av bland andra skarn- och kalkjärnmineraliseringar av traditionell Bergslagentyp.

Litogeokemi

Även om det inte alltid går att klart skilja på prover av motsvarande bergarter från de olika områdena, går det ändå i många fall att se skillnader mellan huvuddelen av dem. För vissa bergarter i Hamrångeområdet saknas kemiska data. I det följande avser ”mafiska” SiO₂-halter <57 vikt-% och ”felsiska” >57 vikt-% i analogi med den indelning som användes i Stephens & Bergman Weihed (2020). ”Fraktionerad” används i detta avsnitt deskriptivt för magmatisk trend

även om den senare förutom kristallisation också kan bero på uppsmältningsgrad och kontaminering.

Figur 3 visar alkalirelationer i områdenas metavulkaniter och metaplutoniter. Avvikelser från de normala magmatiska sammansättningarna (Hughes 1973) torde i allmänhet bero på hydrotermal omvandling. Bergslagens metavulkaniter har i betydligt högre grad drabbats av antingen natrium- eller kaliumomvandling än motsvarande bergarter i Ockelbodomänen och Hamrånge (fig. 3a). Liknande processer har även drabbat områdenas metaplutoniter (fig. 3b). Intressant är att huvuddelen av de plutoniska bergarterna verkar ligga åt det kaliumrika hållet, vilket skulle kunna tolkas som att det är ett primärt drag i både Bergslagen och Ockelbodomänen.

Histogram över bergarternas SiO_2 -halter (fig. 4) visar att metavulkaniterna i Ockelbodomänen, till skillnad från de i övriga områden, har en bimodal fördelning med toppar kring 50–55 respektive 70–75 vikt-%. Medelvärden för dessa SiO_2 -intervall för metavulkaniter i Bergslagen ($n = 24$ resp. 92) har använts som normalisering i figur 5. Grundämnena är de som vanligen används vid normalisering mot övre skorpa enligt Taylor & McLennan (1985). Ordningen är sådan, att de, i magmatiska processer, är mer inkompatibla mot vänster. Kalium, rubidium, barium och torium är dessutom tämligen mobila i vattenlösning.

Figur 5a visar vissa kemiska skillnader mellan de metavulkaniter i Ockelbodomänen som har SiO_2 -halter 50–55 vikt-% och motsvarande bergarter i Bergslagen, dvs. ungefär basaltiska andesiter. Det framgår att Bergslagens bergarter generellt har allt högre halter av de mer inkompatibla grundämnena, men lägre halter av till exempel tunga sällsynta jordartsmetaller (HREE). Dessutom visar titan, strontium och kalium skillnader i uppträdande från trenden, även om den senare inte är helt entydig.

Figur 5b visar vissa kemiska skillnader mellan de metavulkaniter i Ockelbodomänen som har SiO_2 -halter 70–75 vikt-% och motsvarande bergarter i Bergslagen, dvs. ryoliter. Samma generella trend, att Bergslagens bergarter har relativt högre halter av de mer inkompatibla grundämnena, dvs. är mer fraktionerade, framgår även här. Dock har Ockelbodomänens ryoliter högre absoluta halter av nästan samtliga grundämnen som plottats. Titan, strontium, tantal och barium visar skillnader i uppträdande från trenden, som här är ganska tydlig.

Figur 6 visar mer i detalj att felsiska metavulkaniter i Ockelbodomänen vid SiO_2 -halter på ca 70–75 vikt-% i allmänhet har högre halter av titan, järn, yttrium, zirkonium och HREE samt lägre halter av aluminium och magnesium än motsvarande i Bergslagen. För LREE är det ingen uppenbar skillnad mellan områdena.

På kondritnormaliserade sällsynta jordartsmetall-(REE-)kurvor (fig. 7; Boynton 1984) för felsiska metavulkaniter ser det ut att vara två separata grupper inom Ockelbodomänen (fig. 7b). Det är i dessa plottar inte uppenbart att Bergslagens bergarter är mer fraktionerade. De felsiska vulkaniterna i båda områdena har negativa europiumanomalier men de i Bergslagen är betydligt djupare (fig. 7). Ett par prover från Bergslagen har avvikande praseodym- och gadoliniumhalter och bör bortses från.

En skillnad som kan vara avgörande för eventuella mineraliserande processer är i vilken tektonisk miljö som bergarterna bildades. I figur 8 har sammansättningen hos de olika områdenas mafiska metavulkaniter plottats mot mittoceanryggbasalt enligt Pearce (1983). I stora drag är trenderna lika och innebär sannolikt att en kontinental magmatisk bågsmiljö gällde för alla områdena. Bergslagens metavulkaniter är dock även i detta diagram en aning mer fraktionerade med betydligt högre halter av rubidium, kalium, barium och torium. Möjligen är även ceriumhalterna relativt högre, och det finns lägre halter av strontium och fosfor än i de norra områdena. Bergslagens och Ockelbodomänens mafiska metavulkaniter har möjligen något lägre halter av titan än motsvarande bergarter i Hamrånge.

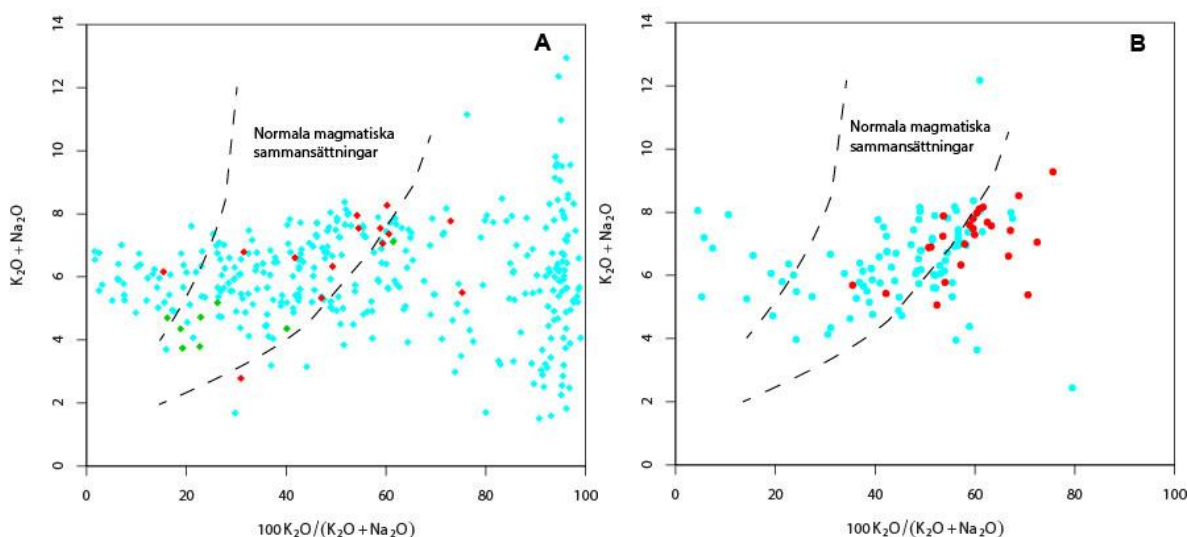
Trenden att Bergslagens metavulkaniter är relativt mer fraktionerade än de i övriga områden framgår också i figur 9, där kondritnormaliserade (Boynton 1984) REE-halter för mafiska varieteter plottats. De tyngre REE (gadolinium–lutetium) har liknande flack karaktär i samtliga områden, möjligen har de från Hamrånge något lägre halter, medan lättare REE är mer fraktionerade i Bergslagen än i övriga områden. Metavulkaniterna i Bergslagen och Ockelbodomänen har i några fall negativa europiumanomalier.

Baserat på en del av ovan nämnda multielementdiagram kan man urskilja ett antal kvoter mellan grundämnen i de mafiska metavulkaniterna som i varierande grad skiljer sig mellan de olika områdena. Några av dessa visas i figur 10. I de flesta fall går det dock inte att helt diskriminera mellan grupperna, men visar att det på grupp-nivå kan finnas skillnader. Tydligast är skillnader i Y/Zr-kvot (fig. 10b), Y/Nb-kvot (fig. 10a och e) och La/Lu-kvot (fig. 10e).

Mafiska metaplutoniter i Ockelbodomänen har vid SiO₂-halter mellan 50 och 55 vikt-% i allmänhet högre halter av aluminium, barium och strontium samt i viss mån av terbium och lantan än de i Bergslagen (fig. 11). De har också i allmänhet ett betydligt mer begränsat omfång av normaliserade (Boynton 1984) REE-värden, mellan ca 10 och 100, medan de i Bergslagen har värden mellan ca 1 och 100 (fig. 12). Bergslagens mafiska metaplutoniter ser ut att bestå av två populationer, där den med högre värden liknar bergarterna i norr.

Felsiska metaplutoniter i Ockelbodomänen har vid samma SiO₂-halt tendens till högre halter av titan, kalium och rubidium samt lägre halter av natrium och strontium (fig. 13).

De senorogena, förmodat anatektiska graniterna av GP-typ (se Stephens m.fl. 2009 för nomenklatur) bildades senare än de mineraliseringar som diskuteras här. I den mån de är uppsmältningar av existerande jordskorpa torde dock deras sammansättning indirekt kunna visa skillnader i den senare, även om flera andra faktorer också är avgörande. Figur 14 visar områdenas GP-bergarter i ett diagram för diskriminering av graniter enligt Pearce m.fl. (1984). Det framgår att de flesta GP-graniter i Bergslagen plottar som graniter bildade inom en platta (WPG) medan de i Ockelbodomänen mest är graniter bildade i en magmatisk båge (VAG).



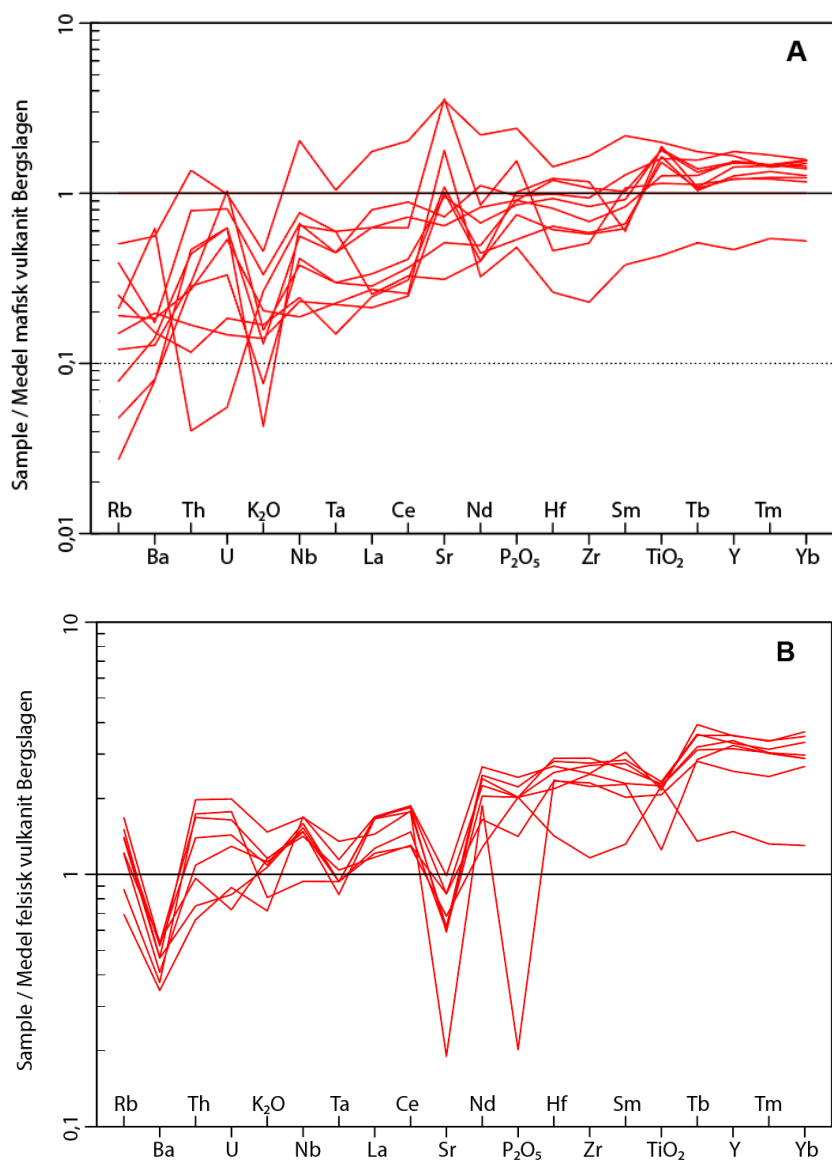
Figur 3. Alkalirelationer för de undersökta bergarterna. Normala magmatiska sammansättningar faller mellan de streckade linjerna enligt Hughes (1973). Blå symbol avser Bergslagen, röd symbol Ockelbodomänen och grön symbol Hamrånge. **A.** Metavulkaniter. **B.** Metaplutoniter.

*Alkali relations on plot according to Hughes (1973). Blue symbol denotes Bergslagen, red symbol the Ockelbo domain and green symbol Hamrånge. **A.** Metavolcanic rocks. **B.** Metaplutonic rocks.*



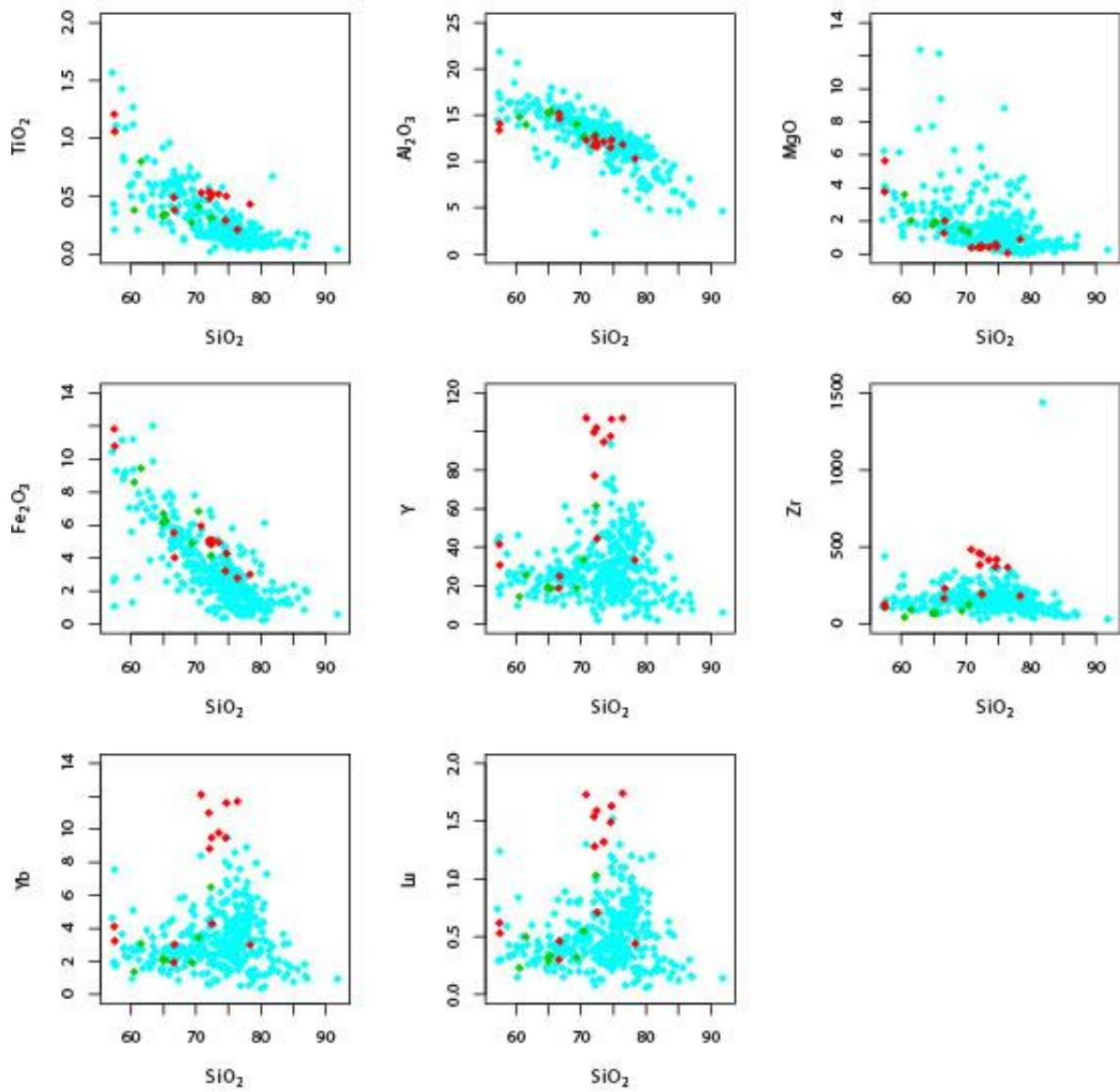
Figur 4. Histogram som visar fördelningen av bergarternas SiO₂-halter. Gröna staplar avser Hamrångeområdet, röda staplar Ockelbodomänen och blå staplar Bergslagen.

Histograms showing distribution of SiO₂. Green is the Hamrånge area, red is the Ockelbo domain and blue Bergslagen. Volcanic rocks left, plutonic rocks right.

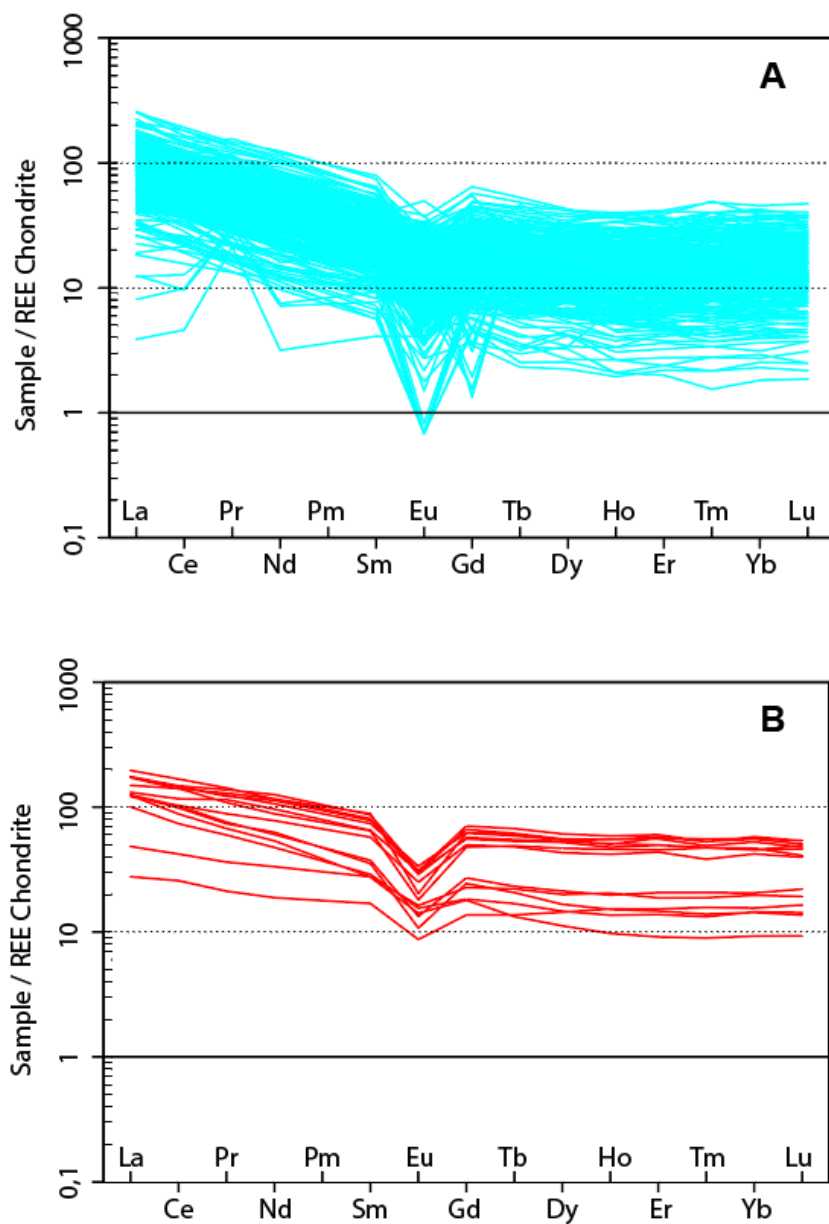


Figur 5. Multielementdiagram för metavulkaniter i Ockelbodomänen, normaliserade mot medelvärden för metavulkaniter i motsvarande SiO_2 -intervall i Bergslagen. **A.** Metavulkaniter med SiO_2 -halt 50–55 vikt-%. **B.** Metavulkaniter med SiO_2 -halt 70–75 vikt-%.

*Spidergrams for metavolcanic rocks in the Ockelbo domain, normalised against metavolcanic rocks in Bergslagen with the same range in SiO_2 -contents. **A.** Metavolcanic rocks 50–55 wt% SiO_2 . **B.** Metavolcanic rocks 70–75 wt% SiO_2 .*

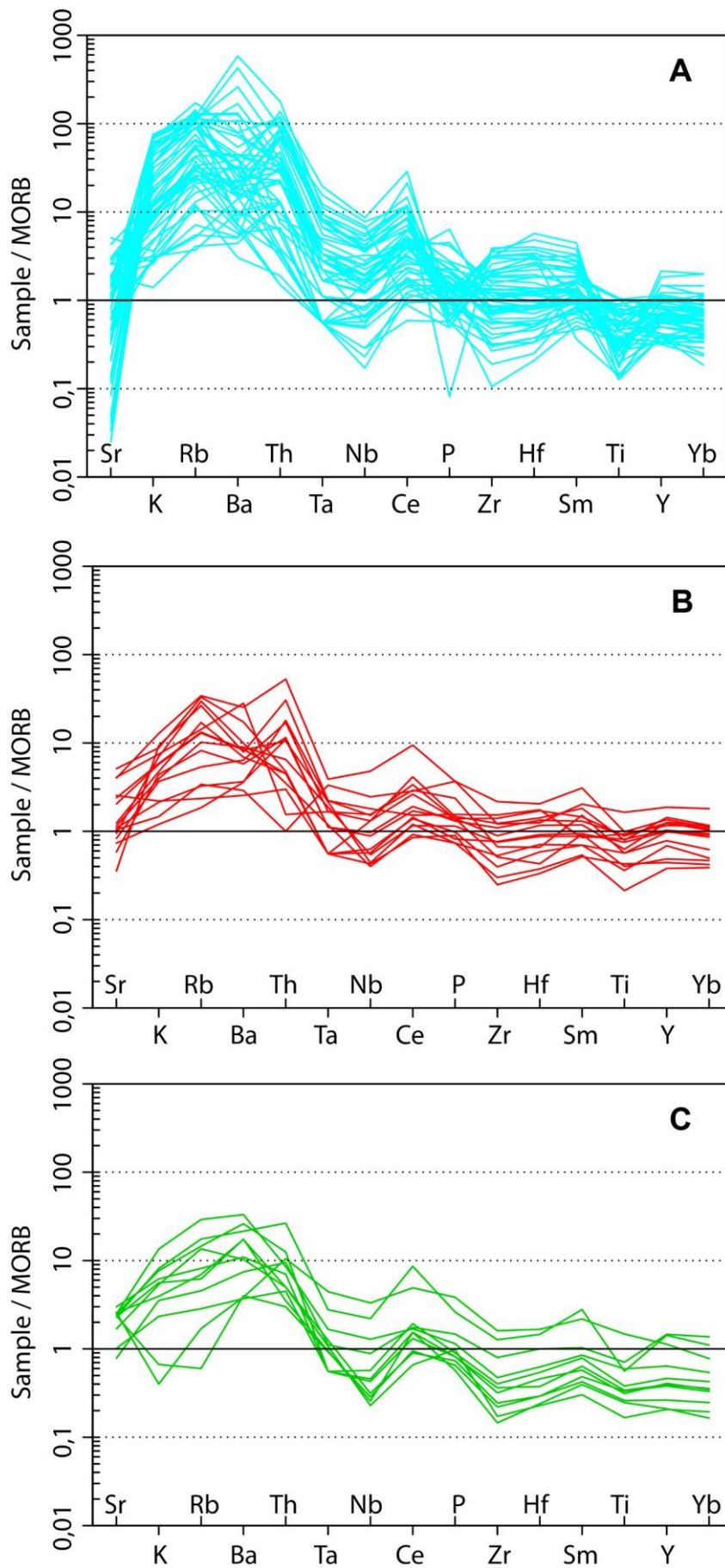


Figur 6. Harker-typdiagram för felsiska metavulkaniter. Blå symbol är prov från Bergslagen, röd från Ockelbodomänen.
Bivariate plots for felsic metavolcanic rocks. Blue symbol denotes Bergslagen, red symbol the Ockelbo domain.

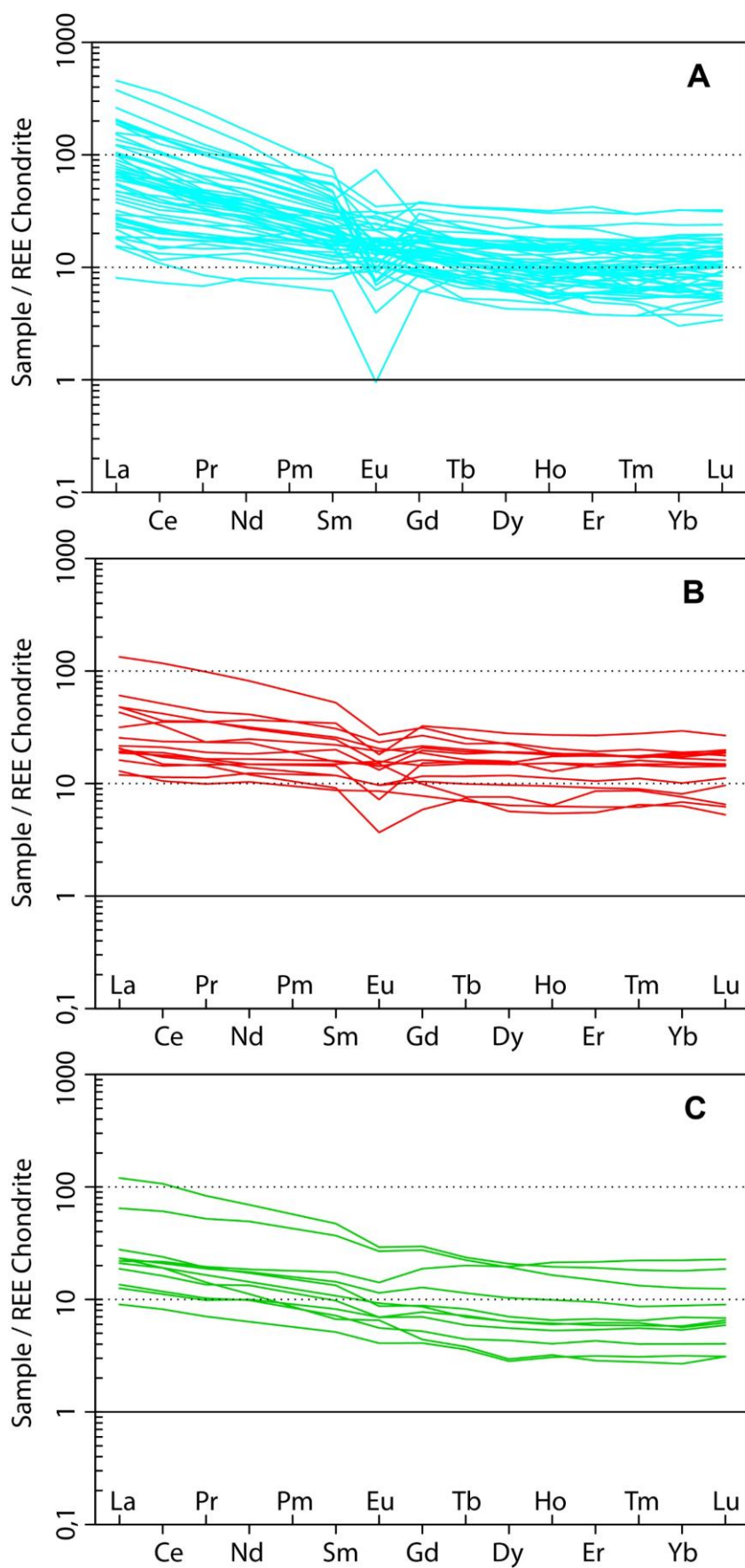


Figur 7. Kondritnormaliserade (Boynton 1984) REE-diagram för felsiska metavulkaniter. **A.** Bergslagen. **B.** Ockelbodomen.

Felsic metavolcanic rocks. A. Bergslagen. B. Ockelbo domain.

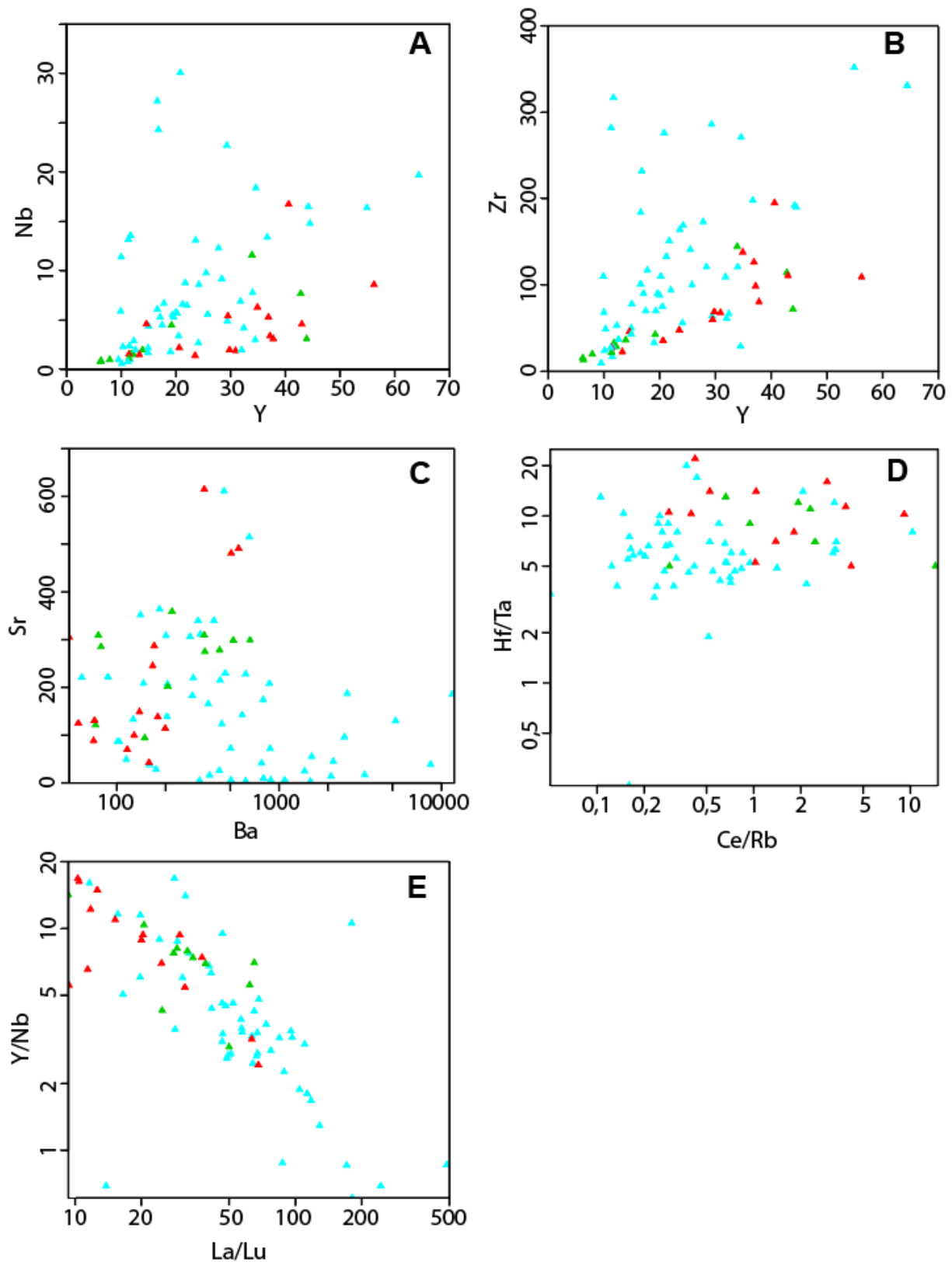


Figur 8. Multielementdiagram för mafiska metavulkaniter normaliserade mot MORB (Pearce 1983). **A.** Bergslagen. **B.** Ockelbodomänen. **C.** Hamrånge. *Mafic metavolcanic rocks normalised against MORB.*



Figur 9. Kondritnormaliserade (Boynton 1984) REE-diagram för områdenas mafiska meta-vulkaniter. **A.** Bergslagen. **B.** Ockelbodomänen. **C.** Hamrånge.

Mafic metavolcanic rocks.



Figur 10. Binära diagram som visar några skillnader i kemisk sammansättning mellan de mafiska metavulkaniterna i de olika områdena. Observera log-skala i några fall. Symboler som i figur 3.

Bivariate plots showing some differences in chemical composition in mafic metavolcanic rocks of the different areas. Note log-scale in some cases. Symbols as in Figure 3.

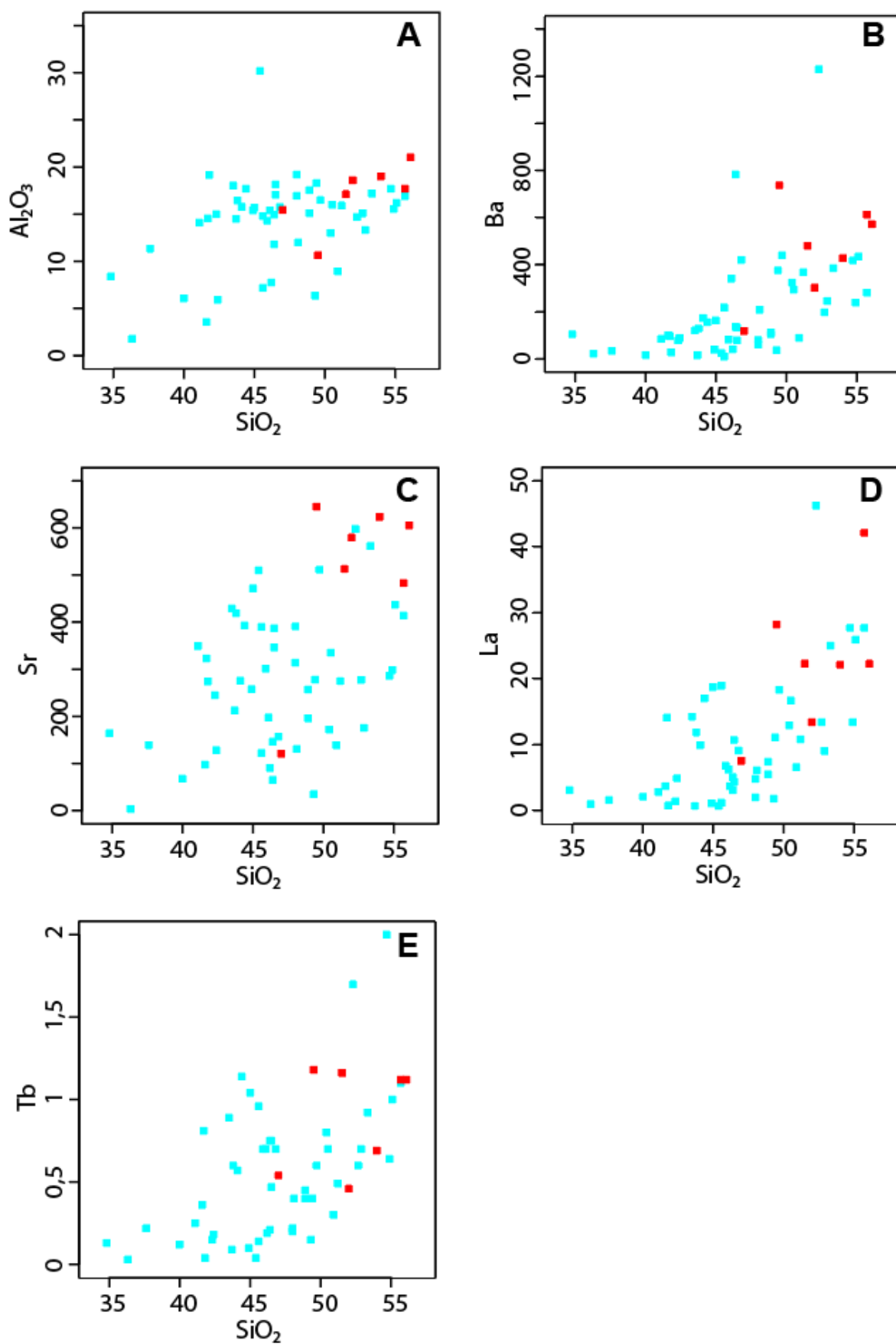
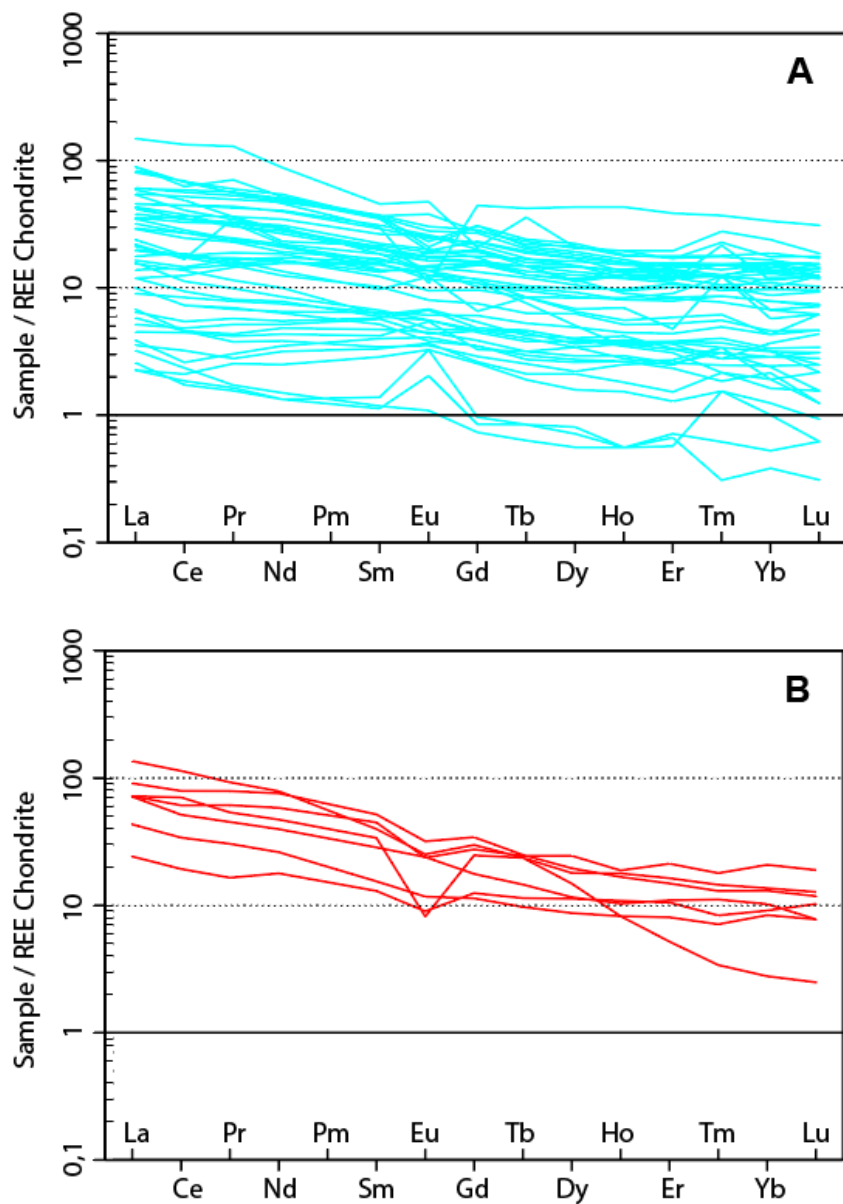
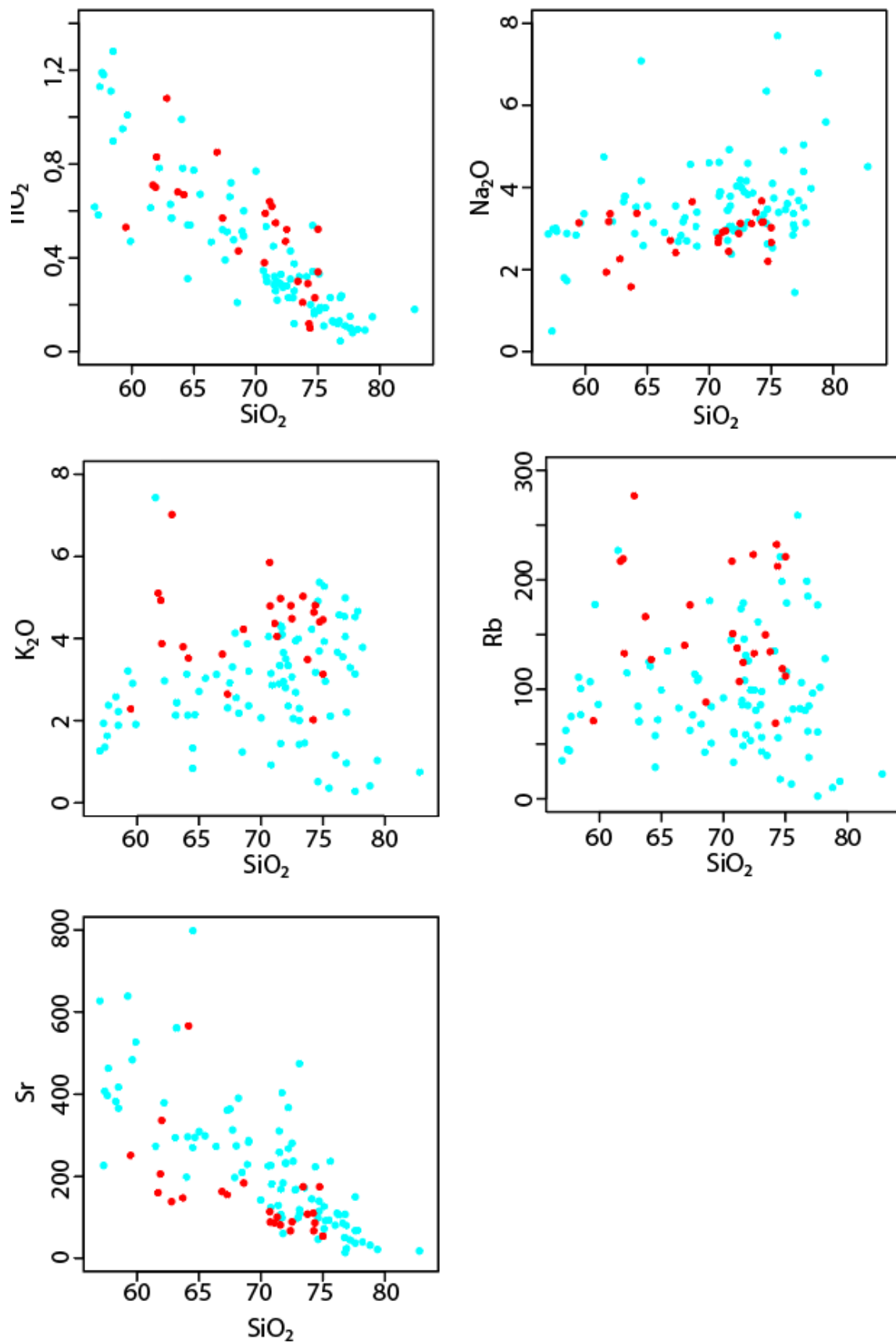


Figure 11. Harker-typdiagram för mafiska metaplutoniter. Blå symbol är prov från Bergslagen, röd från Ockelbodomen.
Mafic metaplutonic rocks. Blue symbol denotes Bergslagen, red symbol the Ockelbo domain.

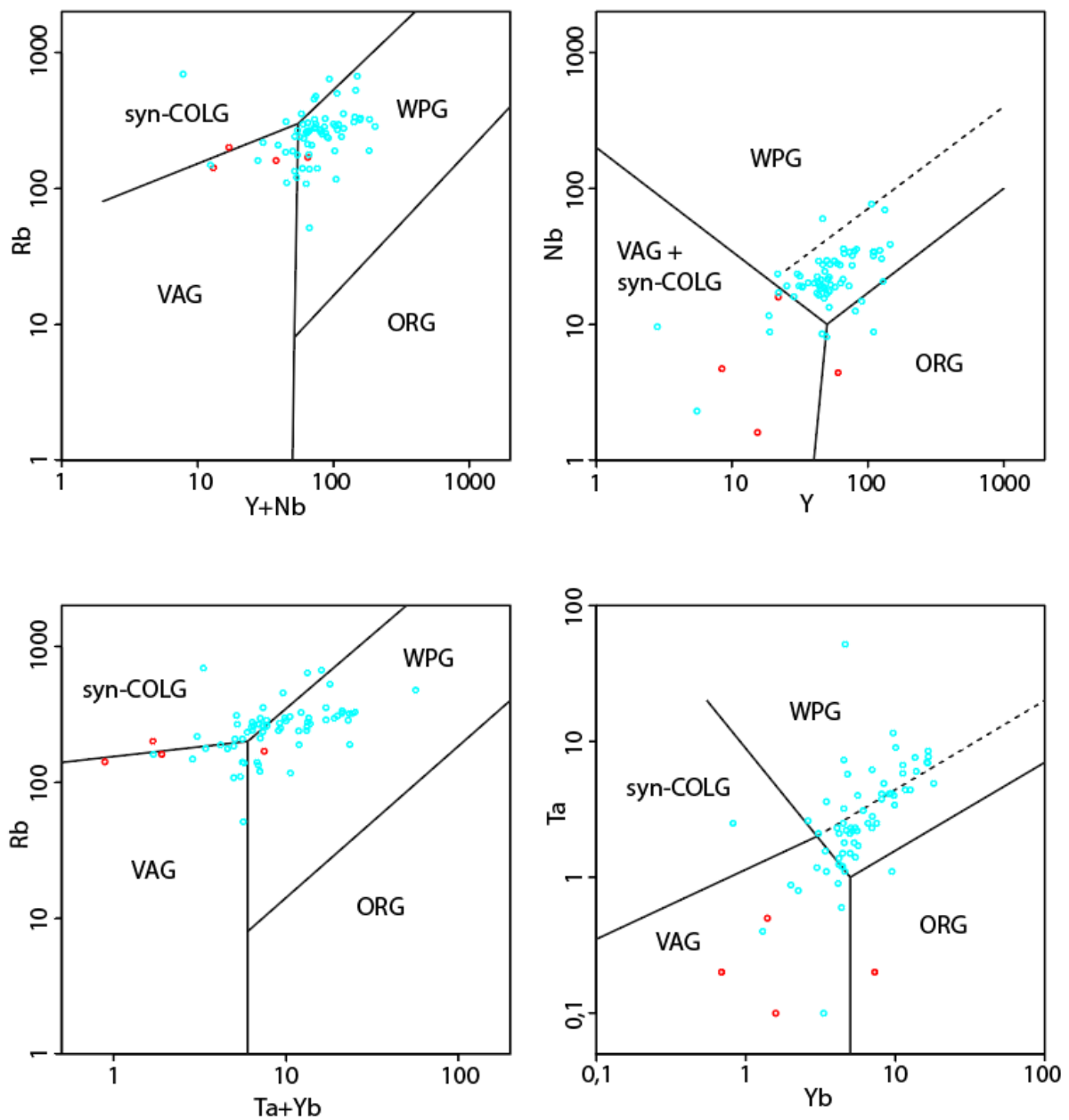


Figur 12. Normaliserade REE-diagram (Boynton 1984) för mafiska metaplutoniter. **A.** Bergslagen. **B.** Ockelbodomänen.

Mafic metaplutonic rocks. A. Bergslagen. B. Ockelbo domain.



Figur 13. Harker-typdiagram för felsiska metaplutoniter. Blå symbol är prov från Bergslagen, röd från Ockelbodomänen.
Felsic metaplutonic rocks. Blue symbol denotes Bergslagen, red symbol the Ockelbo domain.



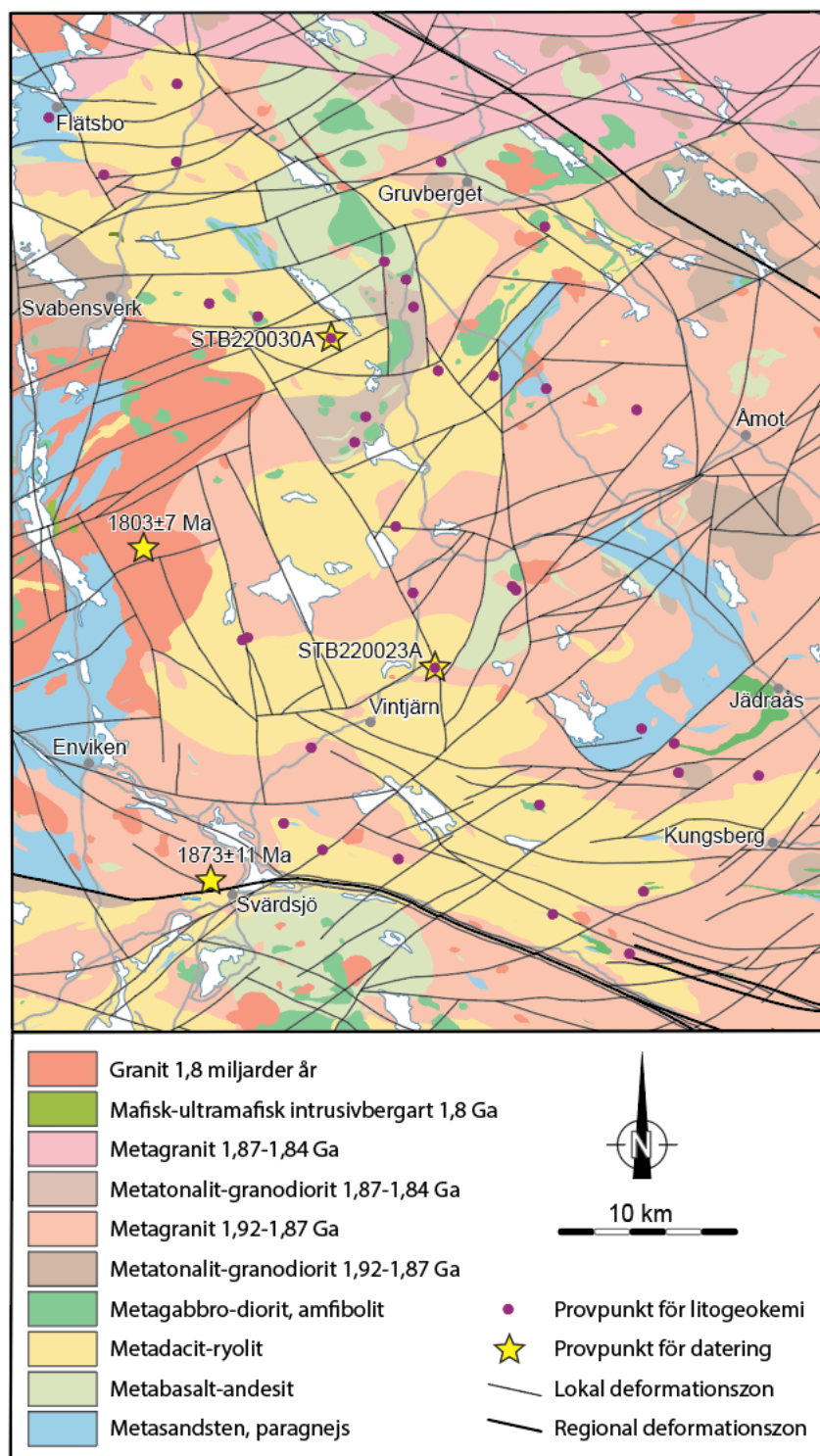
Figur 14. Diskrimineringsdiagram för områdenas GP-graniter enligt Pearce m.fl. (1984). Blå symbol är prov från Bergslagen, röd från Ockelbodomänen. Syn-COLG = syn-collision granite, WPG = within plate granite, VAG = volcanic arc granite, ORG = ocean ridge granite.

GP-type granites. Blue symbol denotes Bergslagen, red symbol the Ockelbo domain.

Åldersbestämning

Beskrivning av proverna

Två prov av metavulkaniska bergarter har undersökts med avsikt att bestämma deras kristallisationsålder. Provtagningspunkterna framgår av figur 15.



Figur 15. Berggrundskarta (SGU 2023) med provtagningspunkter för litogekemiska prov (inom detta projekt) och dateringsprov (Åberg m.fl. 1983, Sukotjo & Sträng 2005, detta projekt). Områdets läge visas i figur 2.

Bedrock map with locations of lithogeochemical samples (within this project) and radio-metric dating samples. The location of the map is shown in Figure 2.

Prov *STB220023A* kommer från ett hällområde öster om Ryssjön, 5 km nordost om Vintjärn (SWEREF99 TM: 6747108/560801). Bergarten är en svagt folierad och tydligt linjerad metaryolit (fig. 16). Den är gråröd, finkornig och jämnkornig och innehåller körtlar och ett nätverk av ådror av röd, omkristalliserad metagranit. Ådrorna som är deformerade tillsammans med värdbergarten har biotitaggregat i de centrala delarna. En mindre mängd metagranit kunde inte undvikas att få med i det provtagna materialet. Näraliggande hällar utgörs av breccia med fragment av en finkornig, omvandlad bergart omgivna av kvarts. Inga spår av sådan omvandling observerades i den provtagna hällen. Under mikroskop observerades kvarts, plagioklas, pertitisk kalifältspat, grönt hornblände, brun biotit, apatit och titanit som påväxt på opakmineral.

STB220030A kommer från den nordöstra sluttningen av berget Norrmalm, 12 km öster om Svabensverk (SWEREF99 TM: 6765668/554945). Bergarten är en tydligt folierad metaryolit (fig. 17). Den är rödgrå, finkornig och jämnkornig och innehåller 5–30 mm breda ådror av röd, medelkornig granit, med tunna biotitränder (melanosom) längs kontakterna. En mindre mängd granit kunde inte undvikas att få med i det provtagna materialet. Under mikroskop observerades kvarts, plagioklas, pertitisk kalifältspat, brungrönt hornblände, brun biotit med radioaktiva inneslutningar, apatit och opakmineral.



Figur 16. Fotografi av det daterade provet STB220023A.
Foto: Stefan Bergman.

Photograph of the dated sample STB220023A.



Figur 17. Fotografi av det daterade provet STB220030A. Foto: Stefan Bergman.

Photograph of the dated sample STB220023A.

Beskrivning av zirkonerna

Zirkonerna från de två proverna var för det mesta helt metamikta med ett glasigt utseende och saknade oftast zonering. I katodoluminiscens-(CL-)bilderna var zirkonerna nästan helt svarta (fig. 18). CL-aktiviteten i zirkon påverkas av dess kemiska sammansättning, och föroreningar som höga halter uran eller metamiktisering från radioaktiv strålning och deformation orsakar mörka färger i CL-bilder.

Zirkonerna i båda proven var något rundade och saknade den typiska prismatiska formen för zirkoner som bildas vid explosiva utbrott. Tecken på omvandling kan observeras längs sprickor i zirkonerna som ett fläckigt mönster med gråa nyanser. I de flesta zirkonerna är det svårt att se någon tydlig gräns mellan kärna och kant. En zirkon från prov STB220023A var prismatisk, och mycket olik de andra zirkonerna i provet. En zirkon i STB220030A var inte lika metamikt som de andra zirkonerna, och visade en vanlig CL-respons med låga uranhalter jämfört med de andra zirkonerna i provet, men hade samma morfologi.

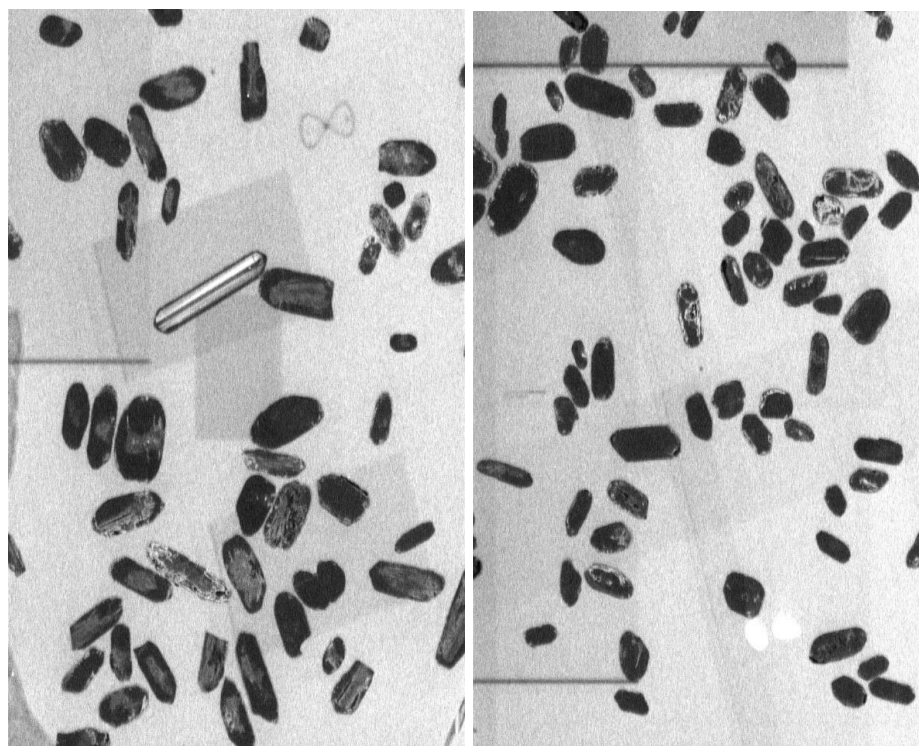
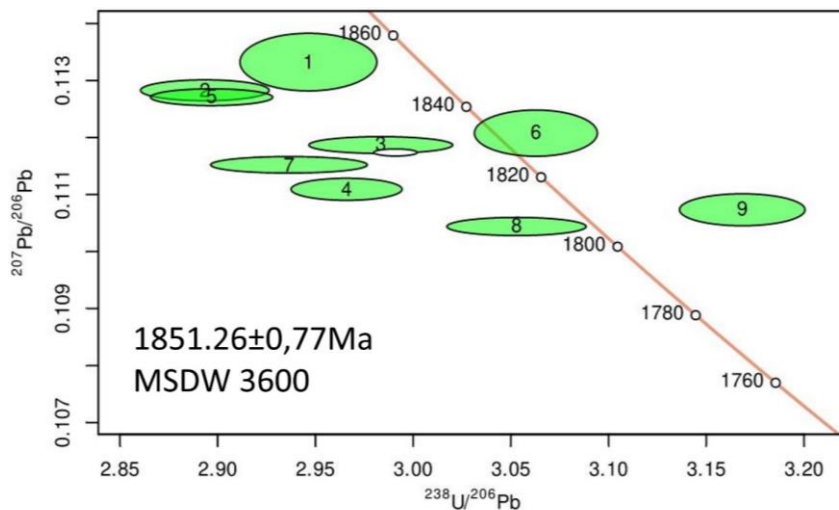


Figure 18. CL-bilder på zirkoner från prov STB220023A (vänster) och prov STB220030A (höger).

CL images of zircons in sample STB220023A (left) and sample STB220030A (right).

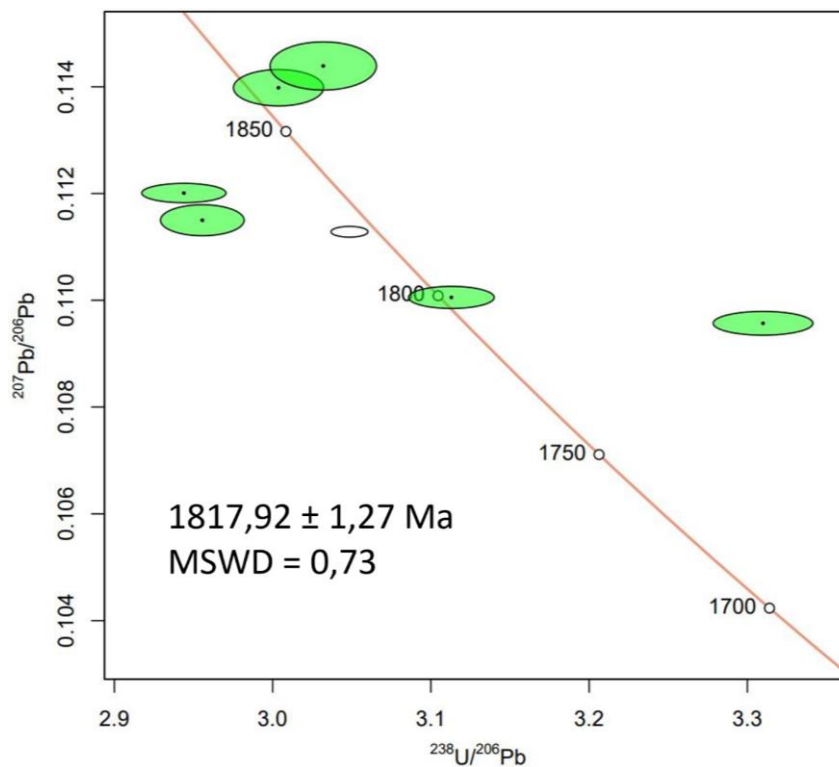
Analysresultat

Totalt analyserades 21 punkter från de två proverna (tabell 1). Av dessa uteslöts 4 analyser på grund av för höga halter av ^{204}Pb som tyder på dålig placering av O_2 -strålen under analysen; eller för hög osäkerhet i åldern. Analysen av zirkonerna visade höga halter uran, mellan 514 och 5127 ppm. På ett konkordiadiagram hamnar de flesta zirkonerna från prov STB220023A över linjen; omvänt diskordanta (fig. 19). Två modeller har använts för att räkna åldern av STB220023A, en konkordiamodell och en diskordiamodell. Konkordiamodellen ger en ålder på 1851 ± 1 Ma (MSWD 3600), och diskordiamodellen ger en övre interceptålder på 1808 ± 5 Ma (MSWD= 18). En $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -ålder på 1824 ± 1 Ma är den mest tillförlitliga för provet.



Figur 19. Terra-Wasserberg-konkordiadiagram för zirkoner från prov STB220023A. Den vita ellipsen representerar mittpunkten av alla åldrar.

Terra-Wasserberg concordia diagram for zircons from sample STB220023A. The white ellipse represents the midpoint of all ages.



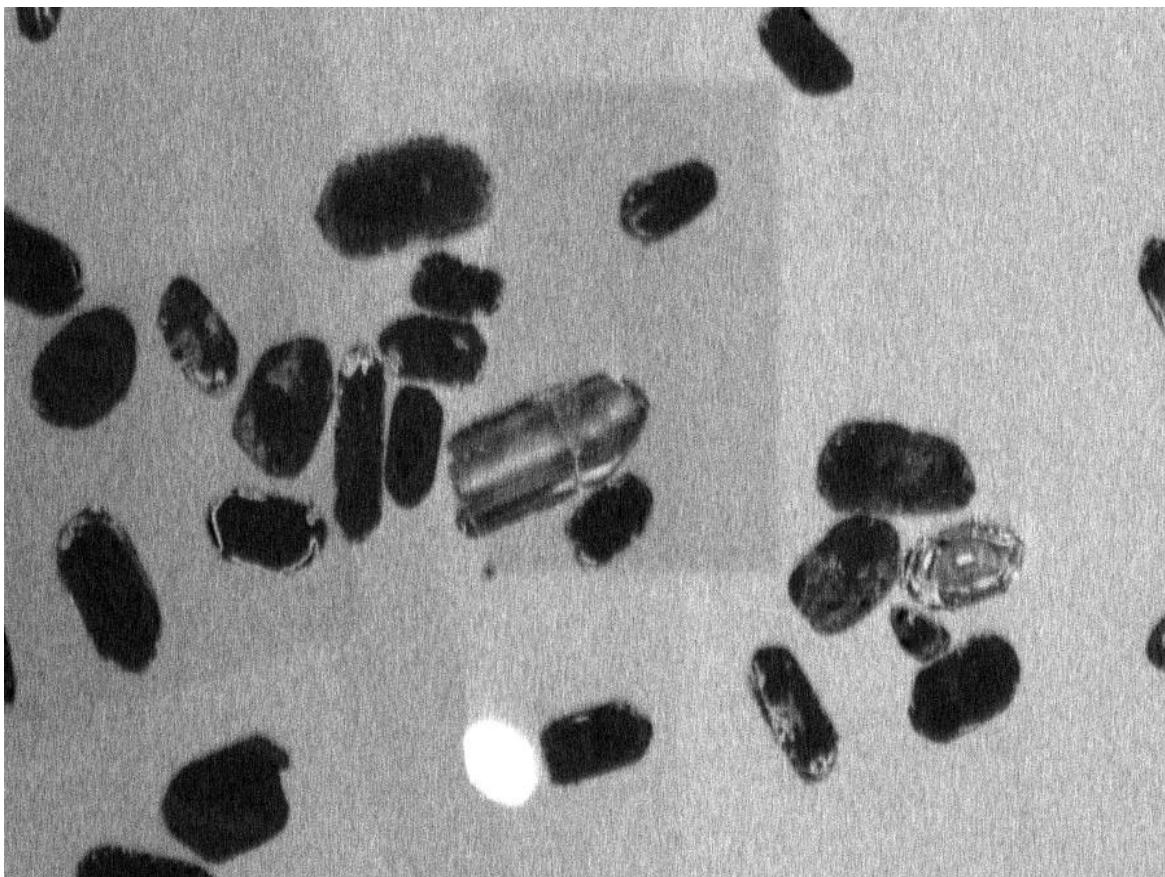
Figur 20. Terra-Wasserberg-konkordiadiagram för zirkoner från prov STB220030A. Den vita ellipsen representerar mittpunkten av alla åldrar.

Terra-Wasserberg concordia diagram for zircons from sample STB220030A. The white ellipse represents the midpoint of all ages.

Analyserna för STB220030A var bättre och de sex tillförlitliga analyserna gav tillsammans en konkordiaålder på 1818 ± 1 Ma (MSWD 0,73) och en $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -ålder på 1820 ± 1 Ma (fig. 20). En analys från detta prov är nästan konkordant (-0,70%) med en $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -ålder på 1864 ± 4 Ma och en $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -ålder på 1853 ± 12 Ma.

Tabell 1. Analysresultat för STB220023A och STB220030A.

Analyspunkt	Koncentrationer (ppm)				Isotopkvoter								Beräknade åldrar (Ma)							
	U	Th	Pb	Th/U Ber.	²⁰⁷ Pb ²³⁵ U	±σ %	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	±σ %	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb	±σ %	²⁰⁶ Pb ²⁰⁴ Pb	ρ	f ₂₀₆ %	Disk. % Konv	Disk.% 2σ-gräns	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb	±σ	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	±σ	
n6607_STB30_1b	741	165	285	0,13	5,232	0,81	0,333	0,78	0,114	0,24	14393	0,95	0,13	-0,70		1864	4	1853	12	
n6607_STB30_2a	1618	324	368	0,22	2,860	1,23	0,194	1,16	0,107	0,41	3464	0,94	0,54	-37,6	-35,1	1746	8	1144	12	
n6607_STB30_2b	708	229	245	0,32	4,520	1,13	0,288	1,10	0,114	0,26	9394	0,97	0,2	-14,2	-12	1863	5	1630	16	
n6607_STB30_3b	1934	216	665	0,10	4,564	0,80	0,302	0,78	0,110	0,17	47176	0,98	0,04	-5,74	-4,1	1792	3	1702	12	
n6607_STB30_4a	3104	939	1265	0,31	5,246	0,75	0,340	0,74	0,112	0,13	22361	0,98	0,08	3,33	1,7	1832	2	1885	12	
n6607_STB30_4a	3224	1203	1329	0,37	5,202	0,76	0,338	0,73	0,111	0,21	25717	0,96	0,07	3,46	1,6	1824	4	1879	12	
n6607_STB30_5a	3286	354	727	0,12	2,751	1,30	0,194	1,18	0,103	0,53	5075	0,91	0,37	-34,4	-31,4	1673	10	1145	12	
n6607_STB30_6a	1381	305	591	0,21	5,651	1,05	0,365	1,03	0,112	0,17	19626	0,99	0,1	10,6	8,2	1837	3	2005	18	
n6607_STB30_1a	541	90	207	0,17	5,202	0,96	0,330	0,91	0,114	0,32	45317	0,94	0,04	-2,02		1870	6	1837	15	
n6607_STB30_3a	1922	232	707	0,12	4,875	0,73	0,321	0,71	0,110	0,15	24405	0,98	0,08	-0,29		1800	3	1796	11	
n6608_STB23_10b	255	92	105	0,35	5,303	1,04	0,339	0,97	0,113	0,37	119180	0,94	0,02	1,89		1853	7	1884	16	
n6608_STB23_11a	3623	1010	1493	0,28	5,377	0,94	0,346	0,93	0,113	0,13	438714	0,99	0	4,27	2,2	1845	2	1914	15	
n6608_STB23_12a	3178	825	1265	0,26	5,170	1,01	0,335	1,01	0,112	0,11	73872	0,99	0,03	2,11		1830	2	1863	16	
n6608_STB23_1a	1936	275	754	0,15	5,164	0,80	0,337	0,78	0,111	0,14	40377	0,98	0,05	3,53	1,8	1817	3	1873	13	
n6608_STB23_2a	3109	1487	1342	0,48	5,364	0,89	0,345	0,88	0,113	0,11	366163	0,99	0,01	4,27	2,4	1844	2	1912	15	
n6608_STB23_3a	514	163	202	0,32	5,045	0,89	0,326	0,84	0,112	0,30	6046	0,94	0,31	-0,75		1833	5	1821	13	
n6608_STB23_4a	3845	248	1535	0,08	5,422	0,77	0,352	0,73	0,112	0,22	139137	0,96	0,01	7,11	5,2	1830	4	1942	12	
n6608_STB23_6a	5127	205	1962	0,04	5,236	1,12	0,341	1,12	0,112	0,11	103947	1,00	0,02	4,11	1,7	1824	2	1889	18	
n6608_STB23_7a	2662	332	1012	0,17	4,988	0,96	0,328	0,95	0,110	0,12	311228	0,99	0,01	1,26		1807	2	1827	15	
n6608_STB23_9a	2722	516	999	0,18	4,819	0,85	0,316	0,83	0,111	0,21	50000	0,97	0,04	-2,73	-0,8	1811	4	1768	13	



Figur 21. CL-bild på zirkonerna från prov STB220030A. De flesta zirkonerna är mörka och metamikta. Den största zirkonen i mitten av bilden är den som är minst omvandlad av zirkonerna i provet. Den vita ytan är en monazitkristall.

CL image of zircons in sample STB220030A. Most of the zircons are dark and metamict. The largest zircon in the centre of the image is least altered of all zircons in the sample. The white object is a monazite crystal.

DISKUSSION

Tolkning av uran-blyzirkondata

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -åldern från de båda proverna är ungefär 1820–1810 Ma, vilket tolkas som åldern för metamorfos. Den omfattande metamiktiseringen av zirkonerna kan ha orsakats av hög temperatur under metamorfosen, eller av höga halter uran vid den magmatiska kristalliseringen. Tolkningen att åldern skulle representera magmatisk kristallisation är mindre trolig eftersom zirkonernas rundade former kan tyda på höga temperaturer och delvis smältning eller diffusion längs kristallernas kanter. Tidigare studier (Stephens & Jansson 2020, Högdahl & Bergman 2020) visar att den andra stora metamorfosfasen i regionen (M_2) skedde mellan 1840 och 1810 Ma i samband med bildning av GP-svit intrusioner. Resultatet från denna studie överensstämmer alltså väl med tidigare resultat och visar att metamorfosen i Ockelbodomänen skedde under M_2 -fasen.

Två analyser från samma zirkon i prov STB220030A (01a och 01b) (fig. 21) är nästan konkordanta, och har en konkordia-uran-bly-ålder på 1873 ± 6 Ma, och en $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -ålder på 1864 ± 3 Ma (MSWD 1,1). Det faktum att endast två analyser ger detta resultat medför stor osäkerhet i tolkningen, men åldern kan ses som en indikation på en möjlig magmatisk kristallisationsålder. Denna zirkon har låg uranhalt, och är inte metamikt som de andra zirkonerna och kan ha överlevt metamorfa processer (fig. 21). Ytterligare dateringsförsök av bergarter påverkade av en lägre grad av metamorfos behövs för att bevisa en yngre kristallisationsålder i detta område

jämfört med det som är normalt i övriga Bergslagen. Om åldern ca 1870 Ma stämmer, så är det en indikation att de metavulkaniter som ligger strax norr om Gävle–Rättvikzonen är mer associerade med magmatismen i Losområdet än den i Bergslagen.

Geokemiska skillnader mellan Ockelbodomänen och Bergslagen

Resultaten ovan visar att det finns geokemiska skillnader mellan bergarterna i Bergslagen och Ockelbodomänen. Sammanfattningsvis har mafiska metavulkaniter i Ockelbodomänen generellt högre halter och kvoter av fosfor, strontium, Y/Zr, Y/Nb, HREE och lägre av kalium, rubidium, barium, torium, La/Lu och inkompatibla grundämnen. Felsiska metavulkaniter i Ockelbodomänen har generellt högre halter av järn, titan, zirkonium och HREE och lägre av aluminium, magnesium och inkompatibla grundämnen. Mafiska metaplutoniter i Ockelbodomänen har generellt högre halter av aluminium, barium, strontium, terbium och lantan, medan felsiska metaplutoniter har generellt högre halter av kalium, titan och rubidium och lägre av natrium och strontium.

En skillnad mellan metavulkaniterna i Bergslagen och Ockelbodomänen är att de i det senare området har en bimodal karaktär (fig. 4), ett faktum som noterades även av Ogenhall (2007), och något som är karakteristiskt för rift-miljöer (se t ex Wilson 1989). De vanligaste metavulkaniterna i Ockelbodomänen är basaltiska andesiter respektive ryoliter. Deras kemiska sammansättningar avviker något från motsvarande bergarter i Bergslagen (fig. 5). I båda fallen är de senare mer fraktionerade eftersom kurvorna i figur 5 lutar ner åt vänster, där de mest inkompatibla grundämnena är placerade. Förutom HREE har basaltiska andesiter i Ockelbodomänen lägre halter än motsvarande i Bergslagen av övriga grundämnen som plottats. Ockelbodomänens ryoliter har dock i de flesta fall istället högre halter än Bergslagens motsvarigheter. Högre halter av dessa genomgående inkompatibla grundämnen tyder på en mer alkalisk karaktär, vilket i sin tur kan peka mot att dessa bergarter bildades längre innanför en subduktionszon än de i Bergslagen.

Den ovan presenterade sammanställningen (se avsnitt *Resultat*) av olika bergarters förekomst i Ockelbodomänen och Bergslagen visar att den relativa andelen metavulkaniter är jämförbar i båda områdena, så det är inte troligt att eventuella skillnader beror på olika grader av erosion. Sammanställningen visade också att avsättningsförhållandena var olika. På grund av den generellt högre metamorfa graden som medfört omkristallisation och partiell uppsmältning i Ockelbodomänen är det svårt att bedöma metavulkaniternas karaktär vad gäller bildningsmiljö, och man kan inte utesluta att en del av dem är subvulkaniska intrusioner. I Ockelbodomänen avsattes relativt liten mängd karbonatsten som skulle kunna bli värdbergarter vid hydrotermala malm-bildningsprocesser av de typer som utmärker majoriteten av mineraliseringar i Bergslagen. Möjligen avsattes vulkaniterna i Ockelbodomänen i högre grad subaeriskt snarare än subakvatiskt. Att de i lägre grad har alkali- och magnesiumomvandlats än motsvarande bergarter i Bergslagen (fig. 3a) talar för att de åtminstone i mindre omfattning avsattes submarint vilket försämrat möjligheterna att bilda hydrotermala system och mineraliseringar. Betydelsen av submarin avsättning eller inte för alkaliomvandling och malmbildning i Bergslagen diskuterades av Frietsch (1982).

Den avsevärt lägre förekomsten av kända mineralförekomster i Ockelbodomänen skulle kunna tänkas i viss mån bero på att den högre metamorfa graden avhållit prospektörer från lika intensiv verksamhet i detta område som i det mot söder och att man helt enkelt letat mindre. Denna orsak bedöms dock ha mindre betydelse än den sparsamma förekomsten av karbonatsten, tillsammans med den sannolikt mindre tillgången till havsvatten till hydrotermala system.

Betydelse av de geokemiska skillnaderna

Skillnaden i mineraliseringspotential mellan Bergslagen och Ockelbodomänen på grund av kemiska skillnader i bergarterna skulle kunna bero på att de bildades i olika tektoniska miljöer. Allen m.fl. (1996) tolkade den tektoniska miljön i Bergslagen som en extensionsmiljö i en ”back-arc”-region på kontinental jordskorpa. Detta bekräftas i huvudsak av diagrammet i figur 8 som visar att den övergripande tektoniska miljön var en kontinental magmatisk båge och att den var liknande i båda områdena (och i Hamrånge). Samtidigt visar figur 8 att de mafiska vulkaniska bergarterna i Bergslagen har betydligt högre halter av strontium, kalium, rubidium, barium och torium, en anrikning vilken enligt Pearce (1983) bör tolkas bero på hydrotermala processer i en subduktionszon. Likaså visar Bergslagens mafiska metavulkaniter en relativt starkare förhöjning av cerium, vilket enligt Pearce (1983) bör tolkas bero på anrikning genom en smältfas i subduktionszonen. En tolkning kan vara att Bergslagen och Ockelbodomänen rumsligt (och tidsmässigt, se avsnitt *Berggrunden* ovan) hade olika relation till subduktionen.

Diagrammen i figur 5 visar att Bergslagens bergarter är mer fraktionerade än motsvarande i Ockelbodomänen. För de basaltiska andesiterna torde skillnaden i grad av kristallisation vara liten, och en tolkning kan vara att de i Bergslagen representerar en lägre uppsmältningsgrad av manteln. Skillnaden i strontiumhalt kan antingen bero på närvaro eller ej av plagioklas i manteln eller att mer eller mindre plagioklas kristalliserat ur en primitiv smälta. Båda faktorerna är tryckberoende, och kan innebära att uppsmältning av manteln i Bergslagenfallet skedde vid låga tryck eller att kristallisation skett vid så högt tryck att plagioklas var bland de första faserna att fraktioneras, eller en kombination av dessa processer.

Högre halter av inkompatibla grundämnen i felsiska metavulkaniter (fig. 5b) i Ockelbodomänen jämfört med i Bergslagen tyder på en mer alkalin karaktär, vilket i sin tur kan peka mot att dessa bergarter bildades längre innanför en subduktionszon än de i Bergslagen, kanske i en mer utpräglad rift-miljö (back-arc rifting). Rift-karaktären hos vulkaniterna i Ockelbodomänen visas också av ovan nämnda bimodalitet (fig. 4).

Området som motsvaras av Ockelbodomänen utgör enligt Stephens & Bergman (2020) den nordligaste delen av Bergslagens litotektoniska enhet. Vid en framtida revidering av utbredningen av de litotektoniska enheterna bör de kemiska och eventuella åldersmässiga likheterna med Ljusdals litotektoniska enhet beaktas.

Implikationer för förekomst av mineraliseringar

Resonemanget ovan om att Ockelbodomänens berggrund skulle vara bildad i en rift-miljö, längre ifrån subduktionszonen än Bergslagens berggrund, leder till att framtida prospekteringsinsatser i Ockelbodomänen behöver ha annan inriktning än de i Bergslagen. Mineraliseringar som bildas i back arc-miljöer är typiskt för de med VMS-karaktär (se t ex Piercey 2011). Det gäller alltså att i ett första steg hitta submarint eller subakvatiskt avsatta ytbergarter, dvs. sådana med tydlig sedimentär struktur eller tecken på alkaliomvandling.

En sulfidmineralisering strax utanför projektområdet är Flätsbo med koppar, zink och lite bly som disseminering, band och delvis massiva aggregat i metagråvacka eller paragnejs (Wik m.fl. 2009; se omslagsbilden); dess genes är dock oklar. Övriga mineraliseringar som kan tänkas är fler av Lostyp. Granitrelaterade mineraliseringar med bland annat volfram och tenn förekommer i vissa extensionsmiljöer (se t ex Cao m.fl. 2018).

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, 979–1008.
- Bergman, S. & Sjöström, H., 1994: The Storsjön-Edsbyn Deformation Zone, central Sweden. Opublicerad forskningsrapport, 1–46. <<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-331133>> Senast åtkommen 22 november 2023.
- Bergman, S. & Söderman, J., 2005: Berggrundskartan 12H Söderfors NO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning K 37*.
- Boynton, W.V., 1984: Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. I P. Henderson (red.): *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- Cao, J., Yang, X., Du, J., Wu, Q., Kong, H., Li, H., Wan, Q., Xi, X. Gong, Y. & Zhao, H., 2018: Formation and geodynamic implication of the Early Yanshanian granites associated with W–Sn mineralization in the Nanling range, South China: an overview. *International Geology Review* 60, 1744–1771.
- Delin, H. & Aaro, S., 1992: Berggrundskartorna 16F Kårböle, 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ai 56–59*.
- Delin, H. & Aaro, S., 2000: Berggrundskartorna 15F Voxna, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ai 140–143*.
- Delin, H. & Söderman, J., 2005: Berggrundskartan 13H Gävle NV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning K 32*.
- Frietsch, R., 1982: Alkali metasomatism in the ore-bearing metavolcanics of central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 791*, 54 s.
- Hjelmqvist, S., 1966: Beskrivning till berggrundskarta över Kopparbergs län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 40*, 217 s.
- Hughes, C.J., 1973: Spilites, keratophyres and the igneous spectrum. *Geological Magazine* 6, 513–527.
- Högdahl, K. & Bergman, S. 2020. Chapter 5, Paleoproterozoic (1.9–1.8 Ga), syn-orogenic magmatism and sedimentation in the Ljusdal lithotectonic unit, Svecokarelian orogen. I M.B. Stephens & J. Bergman Weihed (red.): Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs*, 50, 131–153.
- Högdahl, K., Sjöström, H. & Bergman, S., 2009: Ductile shear zones related to crustal shortening and domain boundary evolution in the central Fennoscandian Shield. *Tectonics* 28, TC1003, doi: 10.1029/2008TC002277.
- Janousek, V., Farrow, C.M. & Erban, V., 2006: Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47, 1255–1259. doi: 10.1093/petrology/egl013
- Kresten, P. & Aaro, S., 1987: Berggrundskartorna 13F Falun NV och NO. *Sveriges geologiska undersökning Ai 15–16*.
- Kresten, P., Aaro, S. & Karis, L., 1991: Berggrundskartorna 14F Rättvik NV, NO, SV och SO, 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ai 46–48*.
- Ludwig, K. R., 2003: Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Special Publication 4, Berkeley Geochronological Center, Berkeley, California.
- Lundegårdh, P. H., 1967: Berggrunden i Gävleborgs län. *Sveriges geologiska undersökning Ba 22*, 303 s.

- Ogenhall, E., 2007: Plate tectonic settings of the Svecofennian Palaeoproterozoic volcanic rocks at Hamrange and Loos, south-central Sweden, based on geochemical data. *GFF* 129, 211–226.
- Pearce, J.A., 1983: Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. I C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (red.): *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva Publishing Ltd., 231–272.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983.
- Piercey, S.J., 2011: The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits. *Mineralium Deposita* 46, 449–471.
- Ripa, M., Sundberg, A., Wik, N.-G., Bergman, T., Claeson, D., Hallberg, A., Hellström, F., Kübler, L. & Nysten, P., 2015: Malmer, industriella mineral och bergarter i Dalarnas län. *Rapporter och meddelanden 139*, del 1–3, Sveriges geologiska undersökning, 918 s.
- SGU, 2022: Berggrund 1:1 miljon – databas. 2022-10-20.
- SGU, 2023: Berggrund 1:50 000–1:250 000 – databas. 2023-03-02.
- Sjöblom, B., Lundqvist, T. & Aaro, S., 1987a: Berggrundskartan 15E Älvho NO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning Ai 20.
- Sjöblom, B., Lundqvist, T. & Aaro, S., 1987b: Berggrundskartan 15E Älvho SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning Ai 22.
- Stephens, M.B. & Bergman Weihed, J., 2020: Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society of London Memoir* 50, 631 s.
- Stephens, M.B. & Bergman, S., 2020: Chapter 2, Regional context and lithotectonic framework of the 2.0–1.8 Ga Svecokarelian orogen, eastern Sweden. I M.B. Stephens & J. Bergman Weihed (red.): Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs*, 50, 19–26.
- Stephens, M.B. & Jansson, N.F., 2020: Chapter 6, Paleoproterozoic (1.9–1.8 Ga) syn-orogenic magmatism, sedimentation and mineralization in the Bergslagen lithotectonic unit, Svecokarelian orogen. I M.B. Stephens & J. Bergman Weihed (red.): Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs*, 50, 105–206.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, 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, 259 s.
- Stålhös, G., 1991: Beskrivning till berggrundskartorna Östhammar NV, NO, SV, SO med sammanfattande översikt av basiska gångar, metamorfos och tektonik i östra Mellansverige. *Af* 161, 166, 169, 172, Sveriges geologiska undersökning, 249 s.
- Sukotjo, S., 1995: Berggrundskartorna 14H Söderhamn NV/NO och SV/SO, 1:50 000. Ai 27–28, Sveriges geologiska undersökning.
- Sukotjo, S. & Sträng, T., 2005a: Berggrundskartan 14G Ockelbo NV, skala 1:50 000. K 21, Sveriges geologiska undersökning.
- Sukotjo, S. & Sträng, T., 2005b: Berggrundskartan 14G Ockelbo NO, skala 1:50 000. K 22, Sveriges geologiska undersökning.
- Sukotjo, S. & Sträng, T., 2005c: Berggrundskartan 14G Ockelbo SV, skala 1:50 000. K 23, Sveriges geologiska undersökning.
- Sukotjo, S. & Sträng, T., 2005d: Berggrundskartan 14G Ockelbo SO, skala 1:50 000. K 24, Sveriges geologiska undersökning.
- Sukotjo, S., Sträng, T. & Söderman, J., 2005: Berggrundskartan 13G Hofors NO, skala 1:50 000., *Sveriges geologiska undersökning K* 26.

- Taylor, S.R. & McLennan, S.M., 1985: *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 s.
- Tirén, S. & Beckholmen, M., 1990: Influence of regional shear zones on the lithological pattern in central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 112, 197–199.
- Vermeesch, P., 2018: IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers* 9, 1479–1493.
- Whitehouse, M. J. & Kamber, B. S., 2005: Assigning dates to thin gneissic veins in high-grade metamorphic terranes: a cautionary tale from Akilia, southwest Greenland. *Journal of Petrology* 46, 291–318.
- Wilson, M., 1989: *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman, London, 466 s.
- Wik, N.-G., Albrecht, L., Bergman, S., Kübler, L. & Sundberg, A., 2009: Malmer, industriella mineral och bergarter i Gävleborgs län. *Rapporter och meddelanden* 130, Sveriges geologiska undersökning, 310 s.
- Åberg, G., Levi, B. & Fredrikson, G., 1983: Zircon ages of metavolcanic and synorogenic granitic rocks from the Svärdsjö and Yxsjöberg areas, south central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 105, 199–203.