

Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie

Anna Eklöv Pettersson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 350
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie

Kandidatarbete
Anna Eklöv Pettersson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Innehåll

1	Introduktion	5
1.1	Syfte	5
1.2	Material och metoder	5
2	Bakgrund	5
2.1	Den Svekonorvegiska orogenesisen	5
2.2	Regional geologi	6
2.3	Monazit	6
2.3.1	Utseende, struktur och kemisk sammansättning	6
2.3.1	Ekonomisk betydelse	8
3	Resultat	8
3.1	Petrografi, allmänt	8
3.2	Petrografi, monazit	9
3.3	Mineralkemi	9
4	Diskussion.....	10
4.1	Petrografi och mineralogi	10
4.2	Kemisk zonerings i monazit	10
4.3	Spårämnen	10
5	Slutsatser	10
6	Framtida studier	10
7	Tack	10
8	Referenser	11
9	Appendix	12

Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie

ANNA EKLÖV PETTERSSON

Eklöv Pettersson, A., 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 350, 16 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Berggrunden i sydvästra Sverige består av medel-, till högmetamorfa bergarter med flera metamorfa segment och skuvzoner. Det är främst den senaste orogenesen som präglat berggrunden, den så kallade Svekonorvegiska orogenesen, som skedde för 1,14-0,92 Ga sedan. Obbhult-komplexet i Halland ligger i det Östra segmentet och består främst av metabasiter med ljusare och mörkare band av finkorniga bergarter. Det undersökta materialet är en safirin-rik mafisk bergart med granulit-faciesmineral. Även accessoriska mineral som zirkon, korund och monazit har observerats. Studien har fokuserat på monazit för att undersöka om detta mineral kan ge ett bredare underlag och utökad kunskap om den metamorfa utvecklingen i berggrunden. I proverna har flera mindre kristaller, 0,1-1 mm i diameter, av monazit observerats och studerats närmare i SEM. Kvantitativ kemisk-analys och BSE-bilder visar komplexa kristaller med upp till fyra olika zoner, där särskilt skillnader i Th-halt är märkbara. Zonerna är sannolikt bildade vid olika metamorfa skeenden. De yttre zonerna har högre halt Th än de inre zonerna.

Nyckelord: Monazit, Obbhult, Svekonorvegiska orogenesen, komplexa kristaller, mineral kemi

Handledare: Charlotte Möller

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

Anna Eklöv Pettersson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: anna.eklov.pettersson@gmail.com

Monazite in the Obbhult-complex: a pilot study

ANNA EKLÖV PETTERSSON

Eklöv Pettersson, A., 2013: Monazite in the Obbhult-complex: a pilot study. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 350, 16 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The Sveconorwegian orogeny (1.14-0.92 Ga) is one of the main tectonometamorphic events that has effected the crystalline bedrock in southern Sweden. It consists of highgrade metamorphic rocks. The Obbhult-complex east of Varberg consists mainly of metabasites and is, with its coarse-grained sapphirine, geologically unique for Sweden. The survey material for the present study is a gneissic, granulite-facies rock. Emphasis has been investigation of the mineral monazite which may tell us more about the metamorphic events in the basement. Several smaller crystals, 0.1-1mm in diameter, have been observed and studied in SEM. Quantitative chemical-analysis and BSE-images demonstrate complex crystals with several zones that can be connected to variable amounts of Th. The outer zones contain a higher amount Th than the crystal core.

Keywords: Monazite, Obbhult, Sveconorwegian orogeny, complex crystals, mineral chemistry.

Anna Eklöv Pettersson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: anna.eklov.pettersson@gmail.com

1 Introduktion

Denna studie behandlar mineralet monazit och dess förekomst i berggrunden i Obbhult, en lokal cirka 15 km öster om Varberg. Berggrunden i Halland har genomgått två orogener: den Hallandiska- och den Svekonorvegiska orogesen för 1,46–1,42 Ga respektive 1,14–0,92 Ga sedan. Dessa har skapat metamorfos av berggrunden vid höga temperaturer. Obbhult-komplexet består främst av metabasiter och har en, för Sverige, unik förekomst av grovkornig safirin (C. Möller & L. Johansson, opubl. data). I komplexet går också att återfinna inslag av sura bergarter och av plagioklas-rika smältor och FeTi-mineraliseringar. Ursprunget till denna bergart är ännu inte klarlagt.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att utöka kunskapen och förståelsen för berggrundens bildning och utveckling, samt förekomsten av monazit i Obbhult. Det har skett genom undersökningar av en safirin-rik bergart. Studien förväntas bidra till ökad kunskap om bergartens textur och mineral-innehåll samt ge information om de metamorfa händelser som präglat berggrunden i Halland.

1.2 Material och metoder

Denna studie baseras på analyser av ett tidigare insamlat (av Leif Johansson, LU) prov från Obbhult, och litteraturstudier av böcker och vetenskapliga artiklar som behandlar mineralet monazit samt den regionala geologin i Halland. Berggrunden i området är för närvarande föremål för både kartläggning och forskning, vilket gör att delar av materialet som hänvisas till här är opublicerat (Jenny Andersson, SGU och Charlotte Möller, LU).

För denna studie valdes en safirinrik bergart (LJ-saf) i vilken det tidigare hade observerats rikligt med monazit. Från denna har sex stycken tunnslip tagits fram för närmare observationer. Två av slipen representerar snitt vinkelrätt med, respektive vinkelrätt mot veckaxeln. Övriga slip är utvalda för att representera ett så brett underlag som möjligt.

Mineralidentifiering, observationer av enskilda korn, samt beskrivning av kornens utseende och generella drag i bergarten har gjorts med polarisationsmikroskop. Två av tunnslipen valdes därefter ut och belades med ett tunt koltäcke för fortsatta undersökningar i svepelektronmikroskop på geologiska institutionen vid Lunds universitet. Instrumentet är ett svepelektronmikroskop av typen Hitachi S-3400N anpassad med EDS för kvantitativ kemisk-analys av mineral. Arbetsavståndet har varit 10 mm och spänningen 15 kV. Undersökningarna gjordes med en live-time på 30 till 70 sekunder. Instrumentet kalibrerades om med jämna mellanrum med en Co-standard. EDS-analyser gjordes på monazitkristaller och samexisterande mineral för mineral-identifikation samt undersökning av eventuella skillnader i den kemiska sammansättningen inom utvalda kristaller.

2 Bakgrund

2.1 Den Svekonorvegiska orogesen

Den Svekonorvegiska orogesen, för 1,14–0,92 Ga sedan, orsakade medel- till höggradig metamorfos i sydvästra Sverige och södra Norge. Orsaken till denna orogenes var en kollision mellan Fennoskandia och en annan kontinent (möjligen Amazonia). Den Svekonorvegiska provinsen i Sverige och Norge kan grovt delas in i fyra geologiska områden; det Östra segmentet, samt Idefjorden, Bamble-Kongsberg, och Rogaland-Vest-Agder-Telemark. Dessa segment skiljs av storskaliga skjuvzoner där två av de största återfinns i Sverige. En av dessa är den så kallade Mylonitzonen (MZ; Fig. 1). Mylonitzonen utgör gränsen mellan Idefjor-

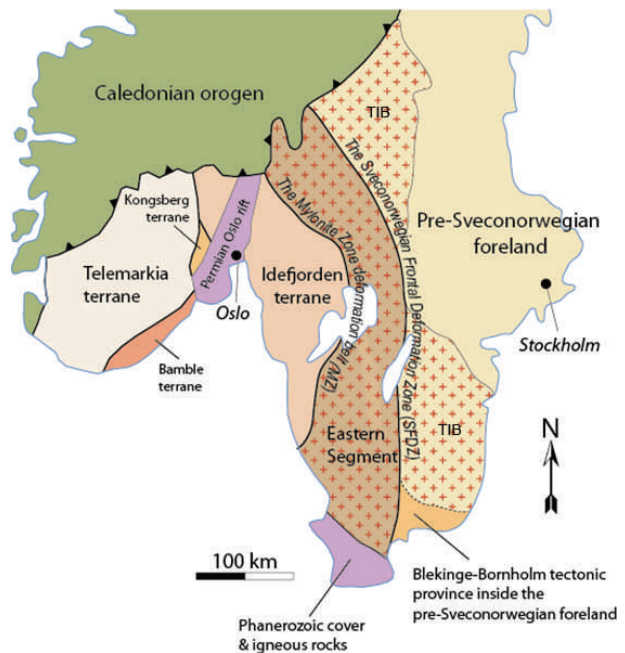


Fig. 1 Karta över södra Sverige och Norge som illustrerar utbredningen av den Svekonorvegiska provinsen. TIB = Transskandinaviska magmatiska bältet (1,87-1,66Ga), med granit-syenit. Östra segmentet = parautoktona bergarter. Idefjorden segmentet = alloktona bergarter. Andersson, J. & Möller, C. opublicerad, modifierad efter Möller, et al. 2007.

den-terrängen och det Östra segmentet, där den senare är parautokton och består av ortognejser, mafiska bergarter och migmatiter (Andersson et al., 2002; Möller et al., 2007). I det Östra segmentet är den metamorfa graden främst granulit-, och amfibolit-facies med tryck mellan 9 och 12 kbar och temperaturer i intervallet 680–800°C (Wang & Lindh, 1996; Möller et al., 1998). Gnejser i Östra segmentet har daterats och korrelerats till det Transskandinaviska magmatiska bältet (TIB; Söderlund et al., 1999; Andersson et al., 2002; Möller et al., 2007). Mellan 1,40 och 1,38 Ga intruderades Östra segmentet av monzoniter, graniter och basiska bergarter vilka har genomgått Svekonorvegisk migmatisering, duktil deformation och höggradig metamorfos (Andersson et al., 1999; Möller et al., 2007).

2.2 Regional geologi

Den undersökta bergarten kommer från Obbhult, cirka 15 kilometer öster om Varberg, i det Östra segmentet (Fig. 2). Den Hallandiska orogensen, för 1,46–1,42 Ga sedan, samt den Svekonorvegiska orogensen (se ovan), för 1,14–0,92 Ga sedan, har präglat berggrunden i området. I stort betecknas området som högtemperaturmetamorft och de båda orogenserna har skapat stor-, och småskaliga veckstrukturer. Förhållandena och händelseförloppet under den Hallandiska orogensen är inte klarlagd, men under denna period pågick magmatism i södra Skandinavien och ett annat resultat var migmatiseringen i sydvästra Sverige (Söderlund *et al.*, 2002; Möller *et al.*, 2007; Bingen *et al.* 2008).

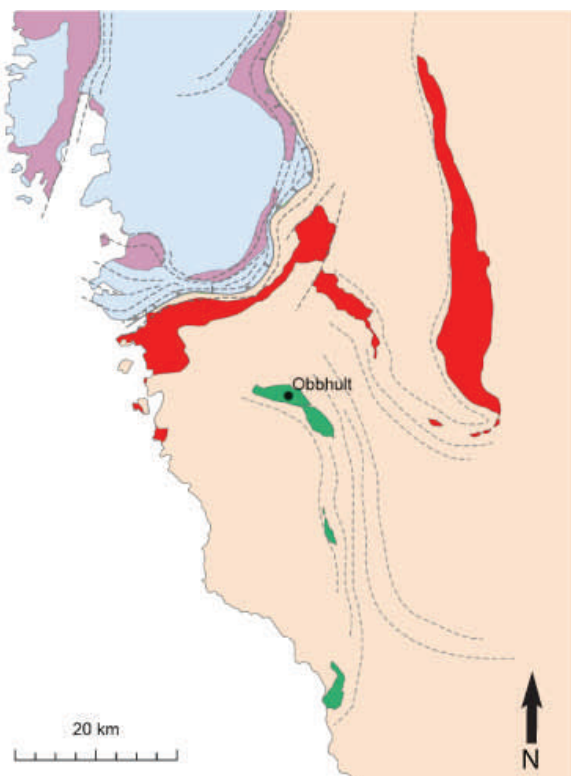


Fig. 2 Berggrundskarta över Falkenbergs området. Ljusblått och lila = Idefjorden segmentet; blått = gnejser med protolitalder 1,55 Ga, lila = granitiska ögongnejser med protolitalder 1,3 Ga. Beige, rött och blågrönt = Östra segmentet med gnejser i protolitalder 1,7 Ga; rött = granitiska ögongnejser med protolitalder 1,4 Ga, blågrönt = metabasitkomplex (Obbhult) och sillimanitgnejs (Stensjöstrand). Opublicerad karta av Andersson, J. & Möller, C.

Obbhult-komplexet innefattar många olika bergarter, de flesta finkorniga och basiska men även sura partier med bland annat sillimanitgnejs förekommer. Mindre linser av liknande bergarter har observerats i ett stråk från Obbhult söderut till Stensjöstrand. (opublicerad data från kartläggning i Falkenbergsområdet, C. Möller pers. kom.). Förekomsten av grovkornig safirin gör platsen till geologiskt unik för Sverige. Bergarterna har en gnejsig struktur och är starkt deformerade liksom vissa ljusare band av leukonorit och mörkare band av ilmenit (Fig. 3).



Fig. 3 Finkorning basisk-intermediär bergart i stenbrottet i Obbhult, här med cm- till dm-breda band av FeTi-oxider (till höger) och leukonorit (plagioklas och ortopyroxen, till vänster). 10-krona (20,5mm) som skala. Foto av Charlotte Möller.

2.3 Monazit

2.3.1 Utseende, struktur och kemisk sammansättning

Monazit är ofta rödbrunt, gult till gulbrunt (Overstreet, 1967). Det är monoklint och cleavage kan förekomma i plan {100}, samt mer ovanligt i {001}. Längs samma plan kan tvillingar förekomma (Deer *et al.*, 1962). Mineraliet förekommer i alkalina intrusiva bergarter men återfinns även i metamorfa, sedimentära och till viss mån även vulkaniska bergarter. Enligt Overstreet (1967), finns det framförallt i metamorfa bergarter av pelitisk sammansättning så som migmatiter, gnejser och högmetamorfa skiffrar. Det förekommer däremot i mindre utsträckning i metamorfa bergarter som har sitt ursprung i sandiga, kalk-, eller kolrika sediment. Monazit förekommer också, men mer sällan, i olika typer av magmatiska bergarter så som pegmatiter och graniter (Overstreet, 1967; Deer *et al.*, 1962).

Monazit är ett LREE-rikt (Light Rare Earth Element) fosfatmineral. LREE är ämnen som La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, och Gd vilka kan förekomma i flera mineral och återfinns över hela världen. I monazit förekommer främst ämnena La och Ce (Fig. 4). Den generella formeln är $(\text{Ce,La,Th})\text{PO}_4$ där Ca kan substituera för Ce vilket ofta sker i samband med att La byts ut mot Th enligt

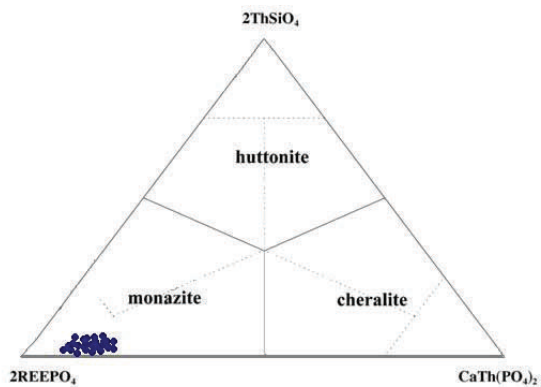
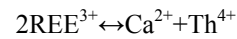


Fig. 4 Triangeldiagram för monazitmineral uttryckt i andelen $2\text{REEPO}_4 - \text{CaTh}(\text{PO}_4)_2 - 2\text{ThSiO}_4$. Mineral med $>50\%$ $\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$ betecknas som cheralit (vid beräkning av ämnehalt tillkommer ämnerna Ti, Fe^{2+} , Mg, Zr, Cu, Sr, U, Pb och Mn^{2+} cheralit). Mineral med $>50\%$ 2ThSiO_4 = huttonit, övriga sammansättningar kallas monazit. Monazitkristallerna i bergarten från Obbhult karakteriseras av REE och är utmärkade med blå punkter i diagrammet. Modifierad efter Linthout (2007).



Om antalet mol Ca, Th överstiger antal mol REE benämns mineralet som en cheralit istället för monazit. Även en Th-, och Si-rik variant förekommer vilken benämns huttonit. Mindre mängder av Al, Fe och/eller U kan förekomma men Pb tas inte in i gittret (Deer et al., 1962; Williams et al. 2007). Detta betyder att all Pb som detekteras i monazit är bildat genom sönderfall av de radioaktiva isotoperna Th och U. Ofta är monazitkristallerna komplexa med flera zoner som karakteriseras av skillnader i ämnes-halter. Genom Th-U-Pb-systemet kan man datera zonerna och därmed också datera metamorfa skeenden. Undersökning av olika REE kan även bidra med kunskap om olika metamorfa skeenden och fluidfaser. Bland LREE kan, utöver La och Ce, bland annat Pr, Nd, Sm och Gd förekomma i mindre mängder. Deras liknande egenskaper gör att substitution mellan dessa ämnen sker med lätthet. Ibland kan även HREE (Heavy Rare Earth Element), så som Y och Yb, förekomma. Det har bland annat observerats Y-, och Yb-innehållande monazit i Bolivia, Kanada och på Nya Zeeland (Deer et al., 1962).



Fig. 5 Skannad bild av tunnslip (ID: LJ-saf A) av safirinförande bergart från Obbhult. Snitt vinkelrätt mot veckaxeln. Storlek 26x40mm.



Fig. 6 Skannad bild av tunnslip (ID: LJ-saf B) Snitt parallellt med veckaxeln. Storlek 26x40mm.

2.1.1 Ekonomisk betydelse

Ur ett ekonomiskt perspektiv har förekomsten av sällsynta jordartsmetaller och torium i monazit gjort det till ett ätråvärt mineral. Th används framför allt inom kärnkraftsindustrin men även inom vissa forskningsområden. Th-bärande monazit har generellt en halt mellan 4 och 12 vikt% ThO₂ men kan i fåtalet fall uppnå över 30 vikt% (Deer *et al.*, 1962). Marknaden för REE håller på att jämnas ut då produktionen är beräknad att överstiga efterfrågan under de kommande åren, men ännu fortgår brytning i tidigare takt. Monazit utgör, tillsammans med xenotim (Y(PO)₄) och bastnäsit (Ce(CO₃)F), ett av de viktigaste mineralen för den industriella marknaden (SGU, 2011). Ce och La används bland annat vid katalys, tillverkning av batterier, metaller, glas och keramik (BGS, 2011).

3 Resultat

3.1 Petrografi, allmänt

Den undersökta bergarten (LJ-saf) förekommer som ett ca 2 dm brett band som är rikt på blå safirin. Tunnslipen visar att de mest framträdande mineralen är biotit, safirin, ilmenit, granat, ortopyroxen och plagioklas. Det förekommer också mindre mängder av apatit,

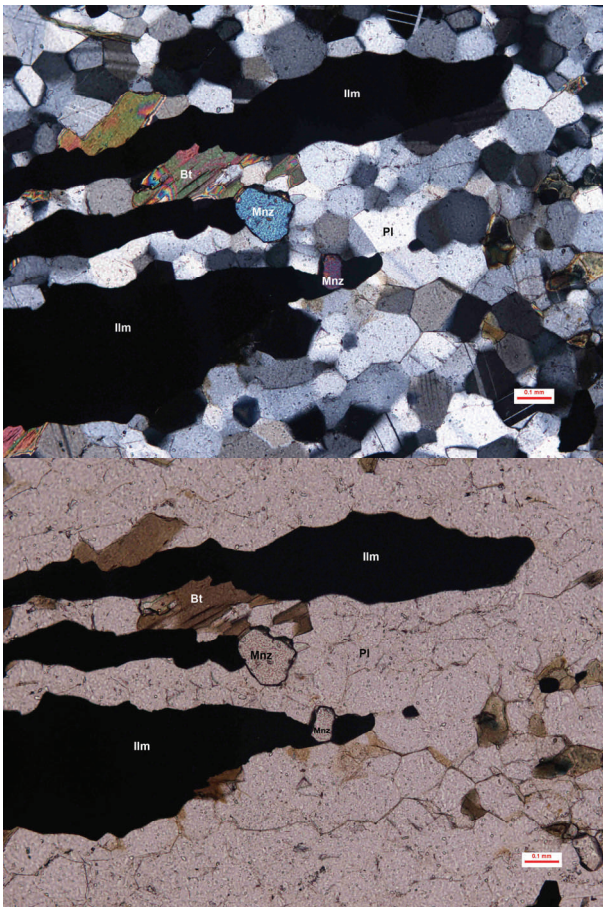


Fig. 7 Foto taget med polarisations mikroskop (ID: OBB-LJ A1); överst = korspolariserat ljus, underst = planpolariserat ljus.

zirkon, monazit och kordierit. Fler sammanväxningar av ortopyroxen och kordierit har observerats. Kornen är förhållandevis små och varierande i form. Något större aggregat med safirin, ilmenit och biotit finns men generellt är texturen mycket varierande. Veckstrukturen har gjort att mineralkornen är runda till nästa fyrkantiga vinkel mot veckaxeln (Fig. 5) och mer avlånga parallellt med veckaxeln (Fig. 6). Plagioklas bildar aggregat av granoblastiska korn med mycket fina femkantiga former och är, till skillnad från ilmenit, inte långsträckt (Fig. 7). Däremot bildar plagioklaskornen tillsammans långsträckta aggregat. Safirinkristaller förekommer i mycket varierande storlek och struktur. De större kristallerna är ofta inhomogena med inneslutningar av framför allt ilmenit. Större granatkristaller har även de inneslutningar av mineral. Mängden biotit varierar över små avstånd och många gånger bildar biotitkristallerna större aggregat. Mer ovanliga mineral som korund har även påträffats bland annat i kontakt med biotit och ortopyroxen.

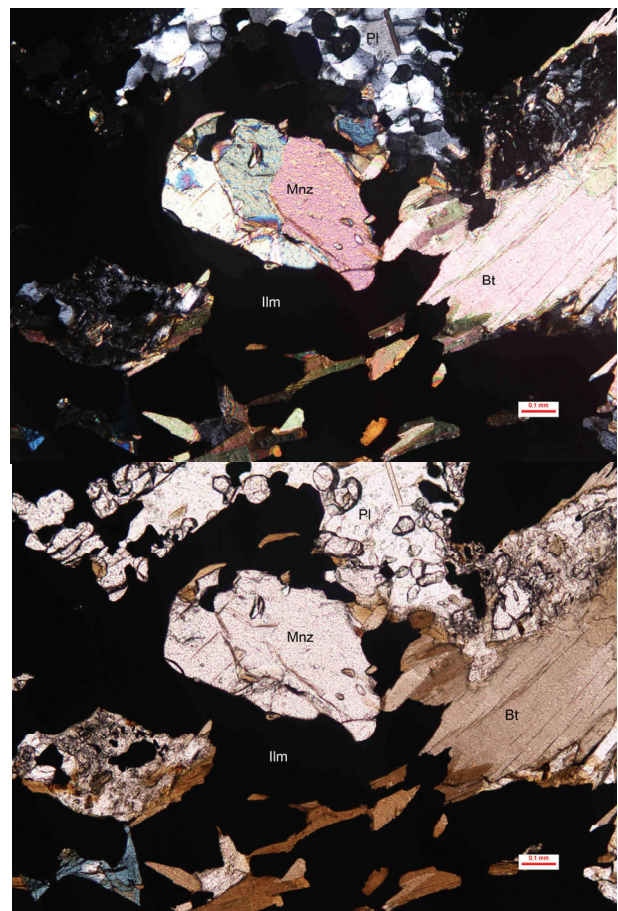


Fig. 8 Foto taget med polarisations mikroskop av monazit aggregat (ID: OBB-LJ A2); överst = korspolariserat ljus, underst = planpolariserat ljus.

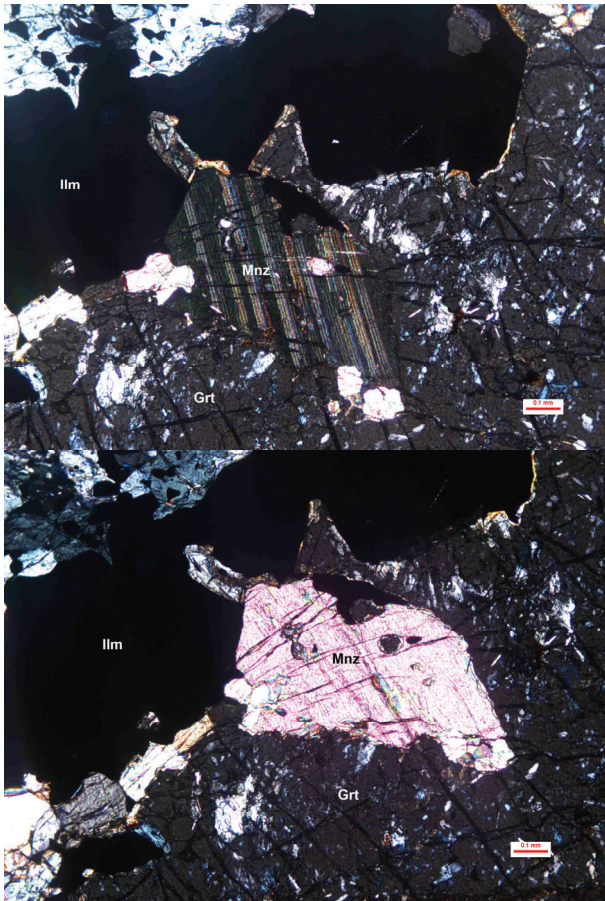


Fig. 9 Foto taget med polarisations mikroskop (korspolariserat ljus) av monazitkristall med tvillingar (ID: OBB-LJ A2); övers = släckt kristall med tydligt tvillingmönster, underst = samma kristall i annan vinkel.

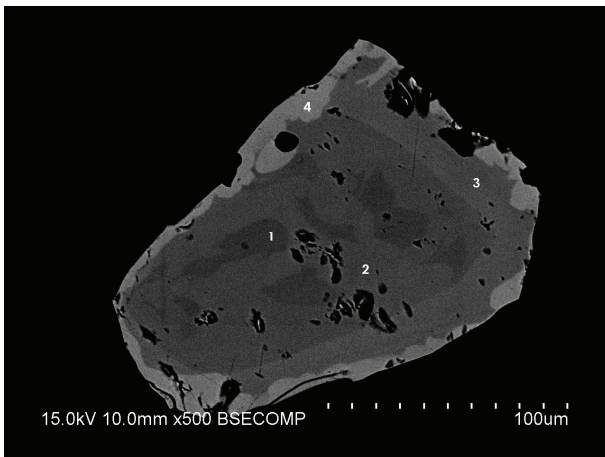


Fig. 10 BSE-bild av (ID: OBBLJ A1) monazitkristall med kemisk zonering.

3.2 Petrografi, monazit

Monazitkornen i proverna är rundade med jämna till något ojämna kanter. De är generellt små (0,1-1mm i diameter) och förekommer i mindre grupper av 3 eller fler korn. Isolerade korn har observerats (Fig. 7) men i flera fall förekommer mindre aggregat (Fig. 8). Enbart en monazitkristall med tvillingar har observerats (Fig.

9). Kornen sitter ofta i direktkontakt med ilmenit, biotit och i vissa fall även plagioklas och granat. Även safirin, zirkon, apatit och kordierit förekommer i kontakt med monazit men då mer sällan. Upp till fyra gråtoner i en och samma kristall har observerats i BSE (backscatter elektron)-bilder (Fig. 10). Dessa är (1) mörka domäner i kärnan (2) grå, homogen kärna med jämna kanter (3) något ljusare, homogen och ehudral kant (4) ljus yttre kant med oregelbunden kontakt mot zon 3. Även kristaller med mindre komplex zonering samt helt homogena korn har observerats.

3.3 Mineralkemi

EDS-analyser av monazit i proverna från Obbhult visar att de innehåller Si, Th, Al, Ca, Pb och P. Även Ce och La finns i samtliga analyser (Appendix; Tabell 1). I spektrum från flera monazitkristaller har Pb observerats dock har inte halterna kunnat analyseras kvantitativt. I alla kristaller har Ca och Th detekterats. Al återfinns i små mängder i flertal analyserade monazitkristaller. Ett fåtal observerades innehålla en mindre halt Si. Skillnader i Th-halt inom monazitkristaller korrelerar med mörkare och ljusare partier i BSE-bilder (Fig 11). De kristaller som är näst intill homogena eller har mycket diffusa zoneringar har ofta högre halt Th i kärnan jämfört med kornets kanter (Appendix; Tabell 2).

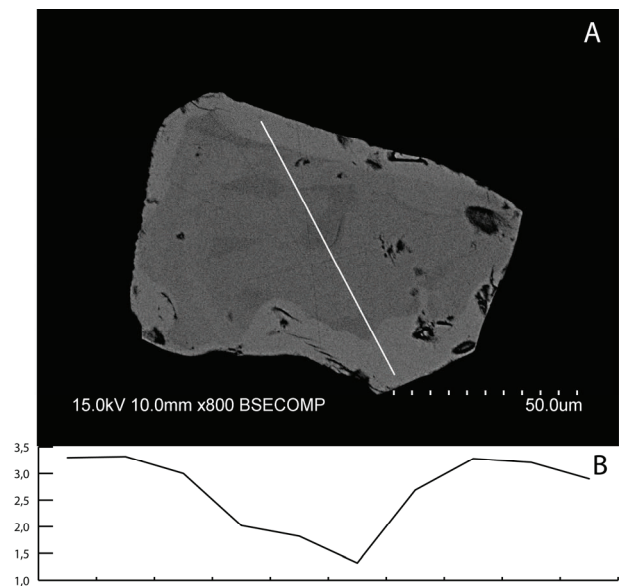


Fig. 11 BSE-bild av (ID: OBBLJA1) monazitkristall med kemisk zonering. (A) Den vita linjen markerar läget för den kemiska profilen (nedanför fotot). (B) Schematiskt diagram över skillnader i ThO_2 i kristallen. Halterna varierar mellan 1.32 vikt% ThO_2 i kristallens kärna till runt 3 vikt% i kanterna.

Analys har också utförts på omkringliggande mineral (Appendix; Tabell 3). Biotit sammansättningen är Si, Ti, Fe, Mg och K; plagioklas innehåller Si, Al, Ca, Na och K. Safirin innehåller en mindre mängd Fe och är i övrigt rikt på Si, Al och Mg. Ilmenit har en låg halt av Al men består huvudsakligen av Ti och Fe. Vid ett

av undersökningstillfällena upptäcktes strålförmiga kristaller av korund (Al_2O_3 ; Fig. 12) omgivet av främst biotit och ortopyroxen. Tidigare har liknande kristaller (korund) observerats i ilmenit.

4 Diskussion

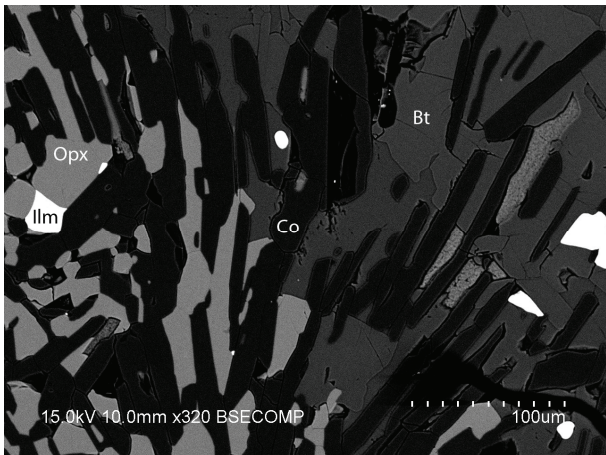


Fig. 12 BSE-bild av strålförmiga kristaller i korund med omgivande mineral främst biotit och ortopyroxen, men även ilmenit och ortopyroxen-kordierit (ID: OBB-LJ A2).

4.1 Petrografi och mineralogi

De kemiska analyserna av mineral visar på en Fe-, Ti-, och Al-rik mafisk bergart med låg halt Si. Observationer med polarisationsmikroskop visar att det finns strålförmiga kristaller i ilmenit. De antas vara korund då Al är ett av få element som kan ingå i FeTi-oxider. Korund förekommer framför allt i Si-fattiga miljöer vilket denna bergart är. Bland annat har kvarts inte observerats i den undersökta bergarten.

Det är relativt ovanligt med Al i monazit (Deer *et al.*, 1962). Näst intill alla undersökta monazitkristaller innehåller Al. Den höga Al-halten i bergarten skulle kunna vara en orsak till förekomsten av ämnet i de undersökta monazitkristallerna.

De granoblastiska plagioklaskristallerna tyder på höga temperaturer. Plagioklasen är en andesin (An_{30-50}), vilket är karakteristiskt av temperaturer runt 800°C . Flera mineral indikerar på höga temperaturer och höga tryck. Blandningen mellan ortopyroxen och kordierit ger information om metamorfos i granulit-fasies vilket även ilmenit indikerar.

4.2 Kemisk zonerings i monazit

Skillnaden i Th-halt inom monazitkristallerna visar på olika faser i tillväxt som följd av metamorfa händelser i berggrunden. De inre zonerna med lägre Th-halt antas därav vara äldre än de yttre mer Th-rika zonerna. Den eventuella förekomsten av Pb visar på nedbrytning av Th. Inga kvantitativa mätningar har dock gått att genomföra på Pb och inget påvisat samband med Th-Pb systemet har därmed gått att bevisa.

4.3 Spårämnen

REE i de undersökta monazitkristallerna från Obbhult är framför allt Ce och La. Troligtvis finns även mindre mängder av andra LREE så som Sm och Nd men det har inte gått att med säkerhet bekräfta det med den tillgängliga analysutrustningen. Även Y som är ett HREE kan förekomma. Överlappade toppar i EDS-spektra är också ett problem. P som ju förekommer i större mängder i monazit ger ett stort utslag på EDS-spektrumet vilket med lätthet kan överskugga en mindre anomali av Y.

5. Slutstättser

- Förekomsten av granoblastisk andesin visar på höga temperaturer.
- Ilmenit samt sammanväxningen av kordierit och ortopyroxen visar på metamorfos i granulit-fasies.
- Den Al-förande monaziten kan vara ett resultat av en Al-rik bergart.
- De kemiska zonerna i monazit antas vara olika gamla och vara ett resultat av flera metamorfa skeenden.
- Inget bevis på REE, med undantag Ce och La, har kunnat bevisas.

6. Framtida studier

En fortsatt studie på bergarten genom närmare undersökningar av monazit i proverna föreslås. Genom Th-U-Pb-dateringar kan en större kunskap om vilka metamorfa händelser som präglat bergartens utseende fås. Även en spårämnesanalys med högre precision borde genomföras då dessa ämnen ger utökad information om P-T förhållanden samt eventuella fluid-faser i metamorfosen. Dessa undersökningar skulle även kunna ge en större kunskap till den ännu obesvarade fråga om hur monazit har uppkommit i Obbhult-komplexet.

7. Tack

Stort tack till min handledare Charlotte Möller för intresseväckande diskussioner, stort engagemang guidning samt texträttning i flera omgångar under projektets gång. Ett tack sänds också till Leif Johansson (Lu) och Jenny Andersson (SGU) för insamlat och utlånat material inklusive bildmaterial. Jag vill också tacka Andreas Olsson som har jobbat med ett liknande projekt vilket har bidragit till givande diskussioner, idéer och tips. Jag tackar också Paul Eklöv Pettersson, Stella Macheridis och Hanna Sigeman för grammatik och korrekturläsning.

8. Referenser

- Andersson, J., Söderlund, U., Cornell, D., Johansson, L. & Möller, C., 1999: Sveconorwegian (-Grenvillian) deformation, metamorphism and leucosome formation in SW Sweden, SW Baltic Shield: constraints from a Mesoproterozoic granite intrusion. *Precambrian Research* 98, 151-171.
- Andersson, J., Möller, C. & Johansson, L., 2002: Zircon geochronology of migmatite gneisses along the Mylonite Zone (S Sweden): A major Sveconorwegian terrane boundary in the Baltic Shield. *Precambrian Research* Vol. 114:121-147.
- British Geological Survey, 2011: *Rare Earth Elements*. MineralsUK, Mineral profiles.
- Bingen, B., Nordgulen, Ø. & Viola, G., 2008: A four-phase model for the Sveconorwegian orogeny, SW Scandinavia. *Norwegian Journal of Geology* Vol. 88:43-72.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussmann, J., 1962: *Rock-forming minerals; vol. 5, Non-silicates*, Geological Society of America 920 pp, 338-346.
- Linthout, K., 2007: Tripartite division of the system $2\text{REEPO}_4 - \text{CaTh}(\text{PO}_4)_2 - 2\text{ThSiO}_4$, discreditation of brabantite, and recognition of cheralite as the name for members dominated by $\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$. *The Canadian Mineralogist* Vol. 45. 503-508
- Möller, C., 1998: Decompressed eclogites in the Sveconorwegian (-Grenvillian) Orogen of SW Sweden; petrology and tectonic implications. *Journal of Metamorphic Geology* Vol. 16: 641-656.
- Möller, C., Andersson, J., Lindqvist, I. & Hällström, F., 2007: Linking deformation, migmatite formation and zircon U-Pb geochronology in polymetamorphic orthogneisses, Sveconorwegian Province, Sweden. *Journal of metamorphic geology*: 727-750.
- Overstreet, W. C., 1967: The Geologic Occurrence Of Monazite. *Geological Survey Professional Paper* 530. Washington, DC.
- SGU, 2011: *Mineralmarknaden Tema: Specialmetaller*. Sverige Geologiska Undersökningars Periodiska publikationer 2011:1
- Söderlund, U., Jarl, L.-G., Persson, P.-O., Stephens, M. B. & Wahlgren, C.-H., 1999: Protolith ages and timing of deformation in the eastern, marginal part of the Sveconorwegian orogen, southwestern Sweden. *Precambrian Research* Vol. 94: 29-48.
- Söderlund, U., Möller, C., Andersson, J., Johansson, L. & Whitehouse, M., 2002: Zircon geochronology in polymetamorphic gneisses in the Sveconorwegian orogen, SW Sweden: Ion microprobe evidence for 1.46-1.42 and 0.98-0.96 Ga reworking. *Precambrian Research* Vol. 113. 193-225.
- Wang, X.-D., Lindh, A., 1996: Temperature-pressure investigation of the southern part of the Southwest Swedish granulite region. *European Journal of Mineralogy* Vol. 8: 51-67.
- Williams, M.L., Jercinovic, M.J. & Hetherington, C.J., 2007: Microprobe Monazite Geochronology: Understanding Geologic Processes by Integrating Composition and Chronology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* Vol. 35: 137-175.

9. Appendix

Analys	Mnz1	Mnz2	Mnz3	Mnz4	Mnz5
vikt%					
SiO ₂	0	0	0	0	0,45
ThO ₂	2,88	3,57	1,32	4,77	3,96
Ce ₂ O ₃	33,5	35,58	34,06	33,74	33,65
La ₂ O ₃	13,59	16,31	15,52	14,23	13,87
Al ₂ O ₃	0,61	0,65	0,83	0	0,49
CaO	0,78	0,93	0,61	1,42	1,17
PbO	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	27,97	28,51	29,7	29,89	29,68
Total	79,33	85,55	82,04	84,05	83,27
Formel baserad på 4 syre					
Si	0	0	0	0	0,02
Th	0,03	0,04	0,01	0,05	0,04
Ce	0,56	0,56	0,54	0,53	0,53
La	0,23	0,26	0,25	0,22	0,22
Al	0,03	0,03	0,04	0	0,02
Ca	0,04	0,04	0,03	0,07	0,05
Pb	0	0	0	0	0
P	1,07	1,04	1,08	1,08	1,07
Total	1,95	1,97	1,95	1,95	1,95

Tabell 1 Mineralkemi för fem olika monazitkristaller i bergarten från Obbhult (analys Mnz1-Mnz3 ID: OBBLJA1; Mnz4-Mnz5 ID: OBBLJA2). Mnz1 = något trekantig kristall med rundade hörn och två gråtoner i BSE-bild, intilliggande mineral är plagioklas och biotit; Mnz2 = något fyrkantig kristall och tre gråtoner i BSE-bild, intilliggande mineral plagioklas, ilmenit och biotit; Mnz3 = kristall med fyra gråtoner i BSE-bild, något fyrkantig med runda hörn (se Fig. 10), intilliggande mineral är plagioklas, ilmenit och biotit; Mnz4 = homogen, rund kristall med intilliggande mineral av ilmenit och biotit; Mnz5 = avlång kristall med mycket sprickor, intilliggande mineral främst ilmenit men även mindre mängd biotit.

ID: OBBLJAI; Minz3		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Analys	1									
vikt%										
SiO2	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
ThO2	3.57	-	3.2	3.07	2.41	2.24	2.62	2.7	2.48	3.18
Ce2O3	35.58	-	31.17	31.38	31.68	31.8	32.44	32.1	31.7	30.88
La2O3	16.31	-	14.04	13.4	13.5	14.24	14.63	13.36	13.96	13.51
Al2O3	0.65	-	0.69	0.54	0.43	0.44	0.53	0	0.44	0.42
CaO	0.93	-	0.86	0.72	0.71	0.73	0.74	0.86	0.62	0.6
PbO	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	28.51	-	29.24	29.31	29.66	29.07	28.93	29.17	29	29.63
Total	85.55	-	79.2	78.42	78.39	78.52	79.89	78.19	78.2	78.22
Formel baserad på 4 syre										
Si	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0.04	-	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
Ce	0.56	-	0.51	0.51	0.51	0.52	0.53	0.53	0.52	0.5
La	0.26	-	0.23	0.22	0.22	0.23	0.24	0.22	0.23	0.22
Al	0.03	-	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03		0.02	0.02
Ca	0.04	-	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
Pb	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
P	1.04	-	1.1	1.11	1.11	1.1	1.09	1.11	1.1	1.12
Total	1.97	-	1.94	1.93	1.93	1.94	1.94	1.93	1.93	1.92

ID: OBBLJA1; Minz6		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Analys											
vikt%											
SiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ThO2	3.3	3.32	3	2.02	1.82	1.32	2.69	3.28	3.21	3.21	2.9
Ce2O3	36.13	36.76	35.05	34.62	34.78	34.06	34.97	35.79	35.46	35.46	35.5
La2O3	14.76	15.07	15.67	15.79	16.15	15.52	14.94	14.87	14.5	14.5	14.28
Al2O3	0.68	0.51	0.84	0.72	0.8	0.83	0.63	0.83	0.77	0.77	0.65
CaO	0.76	0.76	0.74	0.67	0.64	0.61	0.66	0.72	0.81	0.81	0.77
PbO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	29.25	29.81	29.5	29.95	29.42	29.7	29.15	28.88	28.8	28.8	28.41
Total	84.88	86.23	84.8	83.77	83.61	82.04	83.04	84.37	83.55	83.55	82.51
Formel baserad på 4 syre											
Si	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Ce	0.57	0.57	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.57	0.56	0.56	0.57
La	0.23	0.23	0.25	0.25	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23
Al	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03
Ca	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	1.06	1.06	1.06	1.08	1.07	1.08	1.07	1.05	1.06	1.06	1.06
Total	1.96	1.96	1.96	1.95	1.96	1.95	1.95	1.96	1.96	1.96	1.96

ID: OBBLJA1; Mnz5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Analys											
vikt%											
SiO2	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ThO2	3.75	3.96	3.44	3.67	3.12	4.12	3.31	3.83	3.27	3.98	
Ce2O3	33.05	33.65	31.57	32.34	32.11	32.2	32.64	31.98	31.5	32.07	
La2O3	14.61	13.87	13.68	14.2	14.52	14.5	13.93	14.35	14.24	13.75	
Al2O3	0.44	0.49	0	0	0.48	0	0	0	0	0	0
CaO	1.23	1.17	1.09	1.15	1.14	1.12	1.15	1.08	1.01	0.88	
PbO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	30.5	29.68	29.3	29.84	29.39	29.83	29.96	29.29	29.21	29.13	
Total	83.58	83.27	79.08	81.2	80.76	81.77	80.99	80.53	79.23	79.81	
Formel baserad på 4 syre											
Si	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04
Ce	0.51	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
La	0.23	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
Al	0.02	0.02	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0
Ca	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	1.09	1.07	1.11	1.1	1.09	1.1	1.11	1.1	1.1	1.1	1.1
Total	1.95	1.95	1.93	1.94	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.93

Tabell 2 Skillnader i Th-halt inom tre olika monazitkristaller i bergarten från Obbhult (ID: OBBLJA1). Analyser gjorda från kant till kant på korn med mörkare kärna i BSE. Lägre halter av Th går att koppla till kristallernas kärna. OBBLJA1; Mnz3 = kristall med fyra gråtoner iBSE-bild, något fyrkantig med runda hörn (se Fig. 10), intilliggande mineral är plagioklas, ilmenit och biotit. Analys 2 ofullständig; OBBLJA1; Mnz6 = rund, homogen kristall, intilliggande mineral granat och ilmenit; OBBLJA1; Mnz5 = avlång kristall med mycket sprickor, intilliggande mineral främst ilmenit men även mindre mängd biotit.

Analys	Plagioklas	Safirin	Biotit	Ilmanit	Zirkon
Vikt%					
SiO2	61,29	14,7	35,44	-	28,28
TiO2	-	-	2,17	10,49	-
Al2O3	26,36	63,4	17,06	0,61	-
FeO	-	8,56	5,7	71,2	-
MgO	-	17,5	19,1	-	-
CaO	7,74	-	-	-	-
Na2O	7,92	-	-	-	-
K2O	0,34	-	9,19	-	-
ZrO2	-	-	-	-	72,45
Total	103,65	104,16	88,66	82,3	100,73
Formel baserad på:	8 syre	20 syre	22 syre	3 syre	4 syre
Si	2,65	1,68	5,44	-	0,89
Ti	-	-	0,25	0,31	-
Al	1,34	8,55	3,08	0,03	-
Fe	-	0,82	0,73	2,34	-
Mg	-	2,99	4,37	-	-
Ca	0,36	-	-	-	-
Na	0,66	-	-	-	-
K	0,02	-	1,8	-	-
Zr	-	-	-	-	1,11
Total	5,03	14,04	15,67	2,68	2

Tabell 3 Mineralkemi för samexisterande mineral i bergarten från Obbhult.

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

300. Lindenbaum, Johan, 2012: Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi. (45 hp)
301. Andersson, Josefin, 2012: Karakterisering av arsenikförening i matjordsprofiler kring Klippans Läderfabrik. (45 hp)
302. Lumetzberger, Mikael, 2012: Hydrogeologisk kartläggning av infiltrationsvattentransport genom resistivitetsmätningar. (15 hp)
303. Martin, Ellinor, 2012: Fossil pigments and pigment organelles – colouration in deep time. (15 hp)
304. Rådman, Johan, 2012: Sällsynta jordartsmetaller i tungsand vid Haväng på Österlen. (15 hp)
305. Karlstedt, Filippa, 2012: Jämförande geokemisk studie med portabel XRF av obehandlade och sågade ytor, samt pulver av Karlshamnslabrador. (15 hp)
306. Lundberg, Frans, 2012: Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och facietyper. (15 hp)
307. Thulin Olander, Henric, 2012: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Ekenäs-Kvarndammen, Jönköpings län. (15 hp)
308. Demirer, Kursad, 2012: U-Pb baddeleyite ages from mafic dyke swarms in Dharwar craton, India – links to an ancient supercontinent. (45 hp)
309. Leskelä, Jari, 2012: Loggning och återfyllning av borrhål – Praktiska försök och utveckling av täthetskontroll i fält. (15 hp)
310. Eriksson, Magnus, 2012: Stratigraphy, facies and depositional history of the Colonius Shale Trough, Skåne, southern Sweden. (45 hp)
311. Larsson, Amie, 2012: Kartläggning, beskrivning och analys av Kalmar läns regionalt viktiga vattenresurser. (15 hp)
312. Olsson, Håkan, 2012: Prediction of the degree of thermal breakdown of limestone: A case study of the Upper Ordovician Boda Limestone, Siljan district, central Sweden. (45 hp)
313. Kampmann, Tobias Christoph, 2012: U-Pb geochronology and paleomagnetism of the Westerberg sill, Kaapvaal Craton – support for a coherent Kaapvaal-Pilbara block (Vaalbara). (45 hp)
314. Eliasson, Isabelle Timms, 2012: Arsenik: förekomst, miljö och hälsoeffekter. (15 hp)
315. Badawy, Ahmed Salah, 2012: Sequence stratigraphy, palynology and biostratigraphy across the Ordovician-Silurian boundary in the Röstånga-1 core, southern Sweden. (45 hp)
316. Knut, Anna, 2012: Resistivitets- och IP-mätningar på Flishultsdeponin för lokalisering av grundvattenytor. (15 hp)
317. Nylén, Fredrik, 2012: Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ? (15 hp)
318. Younes, Hani, 2012: Carbon isotope chemostratigraphy of the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (45 hp)
319. Weibull, David, 2012: Subsurface geological setting in the Skagerrak area – suitability for storage of carbon dioxide. (15 hp)
320. Petersson, Albin, 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. (15 hp)
321. Axbom, Jonna, 2012: Klimatets och människans inverkan på tallens etablering på sydsvenska mossar under de senaste århundradena – en dendrokronologisk och torvstratigrafisk analys av tre småländska mossar. (15 hp)
322. Kumar, Pardeep, 2012: Palynological investigation of coal-bearing deposits of the Thar Coal Field Sindh, Pakistan. (45 hp)
323. Gabrielsson, Johan, 2012: Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. (15 hp)
324. Lundgren, Linda, 2012: Variation in rock quality between metamorphic domains in the lower levels of the Eastern Segment, Sveconorwegian Province. (45 hp)
325. Härling, Jesper, 2012: The fossil wonders of the Silurian Eramosa Lagerstätte of Canada: the jawed polychaete faunas. (15 hp)
326. Qvarnström, Martin, 2012: An interpretation of oncoïd mass-occurrence during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (15 hp)
327. Ulmius, Jan, 2013: P-T evolution of paragneisses and amphibolites from Romeleåsen, Scania, southernmost Sweden. (45 hp)

328. Hultin Eriksson, Elin, 2013: Resistivitetsmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. (15 hp)
329. Mozafari Amiri, Nasim, 2013: Field relations, petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. (45 hp)
330. Saeed, Muhammad, 2013: Sedimentology and palynofacies analysis of Jurassic rocks Eriksdal, Skåne, Sweden. (45 hp)
331. Khan, Mansoor, 2013: Relation between sediment flux variation and land use patterns along the Swedish Baltic Sea coast. (45 hp)
332. Bernhardson, Martin, 2013: Ice advance-retreat sediment successions along the Logata River, Taymyr Peninsula, Arctic Siberia. (45 hp)
333. Shrestha, Rajendra, 2013: Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of aeolian sediments of Skåne, south Sweden. (45 hp)
334. Fullerton, Wayne, 2013: The Kalgoorlie Gold: A review of factors of formation for a giant gold deposit. (15 hp)
335. Hansson, Anton, 2013: A dendroclimatic study at Store Mosse, South Sweden – climatic and hydrologic impacts on recent Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growth dynamics. (45 hp)
336. Nilsson, Lawrence, 2013: The alteration mineralogy of Svartliden, Sweden. (30 hp)
337. Bou-Rabee, Donna, 2013: Investigations of a stalactite from Al Hota cave in Oman and its implications for palaeoclimatic reconstructions. (45 hp)
338. Florén, Sara, 2013: Geologisk guide till Söderåsen – 17 geologiskt intressanta platser att besöka. (15 hp)
339. Kullberg, Sara, 2013: Asbestkontamination av dricksvatten och associerade risker. (15 hp)
340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Wictor, 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)
342. Sidenmark, Jessica, 2013: A reconnaissance study of Rävliiden VHMS-deposit, northern Sweden. (15 hp)
343. Adamsson, Linda, 2013: Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth. (45 hp)
344. Gunterberg, Linnéa, 2013: Oil occurrences in crystalline basement rocks, southern Norway – comparison with deeply weathered basement rocks in southern Sweden. (15 hp)
345. Peterffy, Olof, 2013: Evidence of epibenthic microbial mats in Early Jurassic (Sinemurian) tidal deposits, Kulla Gunnarstorp, southern Sweden. (15 hp)
346. Sigeman, Hanna, 2013: Early life and its implications for astrobiology – a case study from Bitter Springs Chert, Australia. (15 hp)
347. Glommé, Alexandra, 2013: Texturella studier och analyser av baddeleyitovandlingar i zirkon, exempel från sydöstra Ghana. (15 hp)
348. Brådenmark, Niklas, 2013: Alunskiffer på Öland – stratigrafi, utbredning, mäktigheter samt kemiska och fysikaliska egenskaper. (15 hp)
349. Jalnefur Andersson, Evelina, 2013: En MIFO fas I-inventering av fyra potentiellt förorenade områden i Jönköpings län. (15 hp)
350. Eklöv Pettersson, Anna, 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund