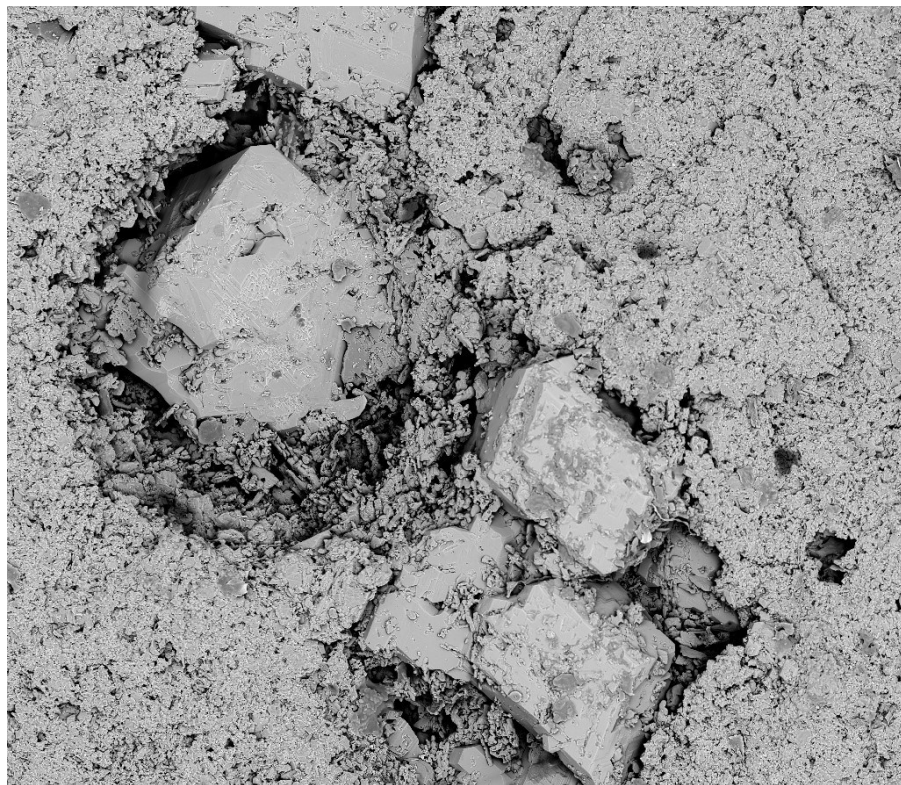


Karaktärisering av Cr-spinell i den ordoviciska Lokaformationen vid Skultorps stenbrott, Billingen

Bartosz Nawrocki

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 685
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2024

Karaktärisering av Cr-spinell i den ordoviciska Lokaformationen vid Skultorps stenbrott, Billingen

Kandidatarbete
Bartosz Nawrocki

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2024

Innehåll

1 Introduktion.....	7
2 Bakgrund.....	7
2.1 Hirnantetagen och sen-ordoviciska massutdöendet.....	7
2.2 Västergötlands platåberg.....	7
2.3 Lokalen Skultorp och Lokaformationen.....	7
3 Metod.....	10
4 Resultat.....	10
4.1 Ljuskopier.....	10
4.1.1 Prov 1.....	10
4.1.2 Prov 2.....	10
4.1.3 Prov 3.....	12
4.1.4 Prov 4.....	12
4.2 Polariseringsmikroskop.....	12
4.3 Rastermikroskop (SEM).....	14
4.4 Punkträkning.....	20
5 Diskussion.....	21
6 Slutsats.....	22
7 Tack.....	22
8 Källor.....	22

Karaktärisering av Cr-spinell i den ordoviciska Lokaformationen vid Skultorps stenbrott, Billingen

Bartosz Nawrocki

Nawrocki, B., 2024: Karaktärisering av Cr-spinell i den ordoviciska Lokaformationen vid Skultorps stenbrott, Billingen. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 685, 23 sid. 15 hp.

Abstrakt: I ett nedlagt kalkbrott i Skultorp, Västergötland, finns Lokaformationen, som är ett tunt kalkstenslager från sen-ordovicisk tid. Dess avsättning är samtida med de klimatförändringar och massutdöende som ägde rum under hiranteretagen. I den nedersta delen av mellersta Lokaformationen förekommer det mineralkorn vars ursprung väcker intresse. Syftet med detta arbete är att utförligt beskriva och karakterisera dessa mineralkorn med hjälp av ljusmikroskop, polarisationsmikroskop, svepelektronmikroskop och punkträkning. Mineralkornen kan efter mikroskopistudier och analys med svepelektronmikroskopi nu klassificeras som Cr-spineller omgivna av diagenetiskt bildad kalcium-aluminium-silikat som fungerar som en överväxt. En hypotes till Cr-spinellernas ursprung är vittering av ultrabasiska ofioliter från Iapetusområdet, som kan ha exponerats under hiranteretagens glacial, då den globala havsnivån sjönk och stora landytor var exponerade. Detta sammanfaller med det ordoviciska massutdöendet. Grundhaven kan då ha blivit anrikade på tungmineral. Ursprunget till kalcium-aluminium-silikat överväxten är okänt då det aldrig har beskrivits i tidigare litteratur. En hypotes är att de är en produkt av metasomatism eller kontaktmetamorfos när diabas intruderade i lagerföljden just ovanför Lokaformationen för 282 +/- 5 miljoner år sedan. Vidare forskning är nödvändig för att bekräfta dessa hypoteser och lära känna ursprunget till dess kalcium-aluminium-silikat överväxt.

Nyckelord: Skultorp, Lokaformationen, hiranteretagen, massutdöende, Cr-spinell

Handledare: Mikael Calner

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi, sedimentologi

*Bartosz Nawrocki, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.
E-post: bartosznawrocki74@gmail.com*

Characterization of Cr-spinel in the Ordovician Loka Formation at Skultorp quarry, Billingen

Bartosz Nawrocki

Nawrocki, B., 2024: Characterization of Cr-spinel in the Ordovician Loka Formation at Skultorp quarry, Billingen. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 685, 23 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The Loka Formation is a thin limestone unit outcropping in the Skultorp quarry, near Skövde in Västergötland. It formed in the Late Ordovician. Its deposition is contemporaneous with the climate changes and mass extinctions that took place during the Hirnantian. In the lowermost part of the middle Loka Formation there are abundant mineral grains whose origin is uncertain. The purpose of this work is to describe and characterize these mineral grains in detail, using light microscopy, polarizing microscopy, scanning electron microscopy and point counting. The mineral grains, after such study and analysis, can now be classified as Cr-spinels enclosed in diagenetically formed calcium-aluminum-silicate, which acts as an overgrowth. One hypothesis for the origin of the Cr spinels is the weathering of ultrabasic ophiolites from the Iapetus area, which may have been exposed during the Hirnantian ice age, when the global sea level fell and large land areas were exposed. This coincides with the Ordovician mass extinction. The shallow continental seas may then have been enriched in heavy minerals. The origin of the calcium-aluminum-silicate overgrowth is unknown as it may not have been described before. One hypothesis is that these overgrowths are products of metasomatism or contact metamorphism when diabase intruded into the sequence just above the Loka Formation 282 +/- 5 million years ago. Further research is necessary to confirm these hypotheses.

Keywords: Skultorp, Loka formation, Hirnantian, mass extinction, Cr-spinel

Supervisor(s): Mikael Calner

Subject: Bedrock Geology, sedimentology

*Bartosz Nawrocki, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: bartosznawrocki74@gmail.com*

1 Introduktion

Hirnantetagen i slutet av ordovicium är känd för omfattande klimatförändringar och det näst största massutdöendet i Jordens historia (Sheehan 2001; Harper et al. 2014; Harper, 2023). Dess historia kan studeras i ett numera nedlagt stenbrott i Skultorp, nära Skövde i Västergötland. Där finns en lagerserie som sträcker sig från övre delarna av ordovicium till de nedre delarna av silur, inklusive Lokaformationen, som är en kalksten rik på fossil typiska för ett varmt grundhav och vars stratigrafi omfattar ungefär halva hirnantetagen. Vid provtagning av Lokaformationen i maj 2022 noterades en stor mängd udda mineralkorn i den lägre delen av formationens mellersta del. Med lupp i fält noterades att de hade en central kärna omgiven av ett ljus kalcitförande material och de bedömdes därför vara ooider, som i övrigt är vanliga i formationen. Det har visat sig att dessa korn inte var ooider utan istället någon form av silikater som är ovanliga i lagerföljden och som inte tidigare är kända från Lokaformationen. Syftet med arbetet är därför att översiktligt redogöra för Lokaformationen i Västergötlands plåtåberg och i synnerhet att göra en grundläggande beskrivning av de ovanliga mineralkornen. Mineralkornen kan efter mikroskopistudier och analys med svepelektronmikroskopi nu klassificeras som Cr-spineller omgivna av diagenetiskt bildad kalcium-aluminium-silikat; en typ av korn som inte förväntas förekomma i formationen och vars närvaro kräver en annorlunda förklaringsmodell.

2 Bakgrund

2.1 Hirnantetagen och sen-ordoviciska massutdöendet

Det ordoviciska massutdöendet är det första av de fem stora massutdöendena och ägde rum i slutet av ordovicium (epoken Hirnant) innan övergången till silur, för cirka 445-443 miljoner år sedan (Harper 2023). Mångfalden av fossil som påverkades tyder på att det förmodligen skedde i två steg eller faser. Första fasen var den mest förödande delen av utdöendet, då flera familjer av brachiopoder, mollusker, och revbyggande organismer dog ut. Den andra fasen var mindre destruktiv men hade större geografisk spridning. Totalt utrotades 85% av alla arter, 40% av alla släkten och 25% av alla familjer. Stromatoporoider var en betydande del av den marina faunan i ordovicium. Dess mångfald påverkades under hirnantetagen men återhämtade sig efteråt. Brachiopoder påverkades kraftigt. I den första fasen dog 60% av alla släkten ut, och i den andra fasen dog 40% av alla släkten ut. Grundhavs-molluskernas diversitet minskade kraftigt och cephalopoder minskade från att vara 150 arter till bara 50 arter.

Orsaken enligt Twitchett (2013) till massutdöendet var globala temperaturförändringar. Tidig ordovicium hade ett varmt klimat med en växthuseffekt. Temperaturen sjönk sakta och någon gång under etagen kätian sjönk temperaturen drastiskt med 8°C vilket orsakade en istid (Twitchett, 2013). När stora inlandsisar bildades så sjönk havsnivån och grundhaven torrlades. Havstemperaturen i haven sjönk också. Första fasen av massutdöendet orsakades av dessa faktorer. Den andra fasen av massutdöendet började när istiden tog slut,

havets temperatur steg och inlandsisarna smälte, vilket orsakade en högre havsnivå. Det skedde även en förorening av haven från tungmetaller som kvicksilver från vulkareruptioner och vittring (Rasmussen et al. 2023). Fastän det ordoviciska massutdöendet var mycket omfattande så återhämtade livet sig och faunan i silur såg mer eller mindre likadan ut som innan massutdöendet i senare delen av ordovicium.

2.2 Västergötlands plåtåberg

Västergötlands plåtåberg består av sandsten, alunskifer, kalksten, lerskiffer och diabas (Calner et al. 2013; Plåtåbergens Geopark, 2024). Denna lagerserie sträcker sig från nedre kambrium till nedre silur och är drygt 200 m mäktig där den är som tjockast. Urberget är cirka 1700 miljoner år gammalt och består av graniter och gnejser. Med tiden så avsattes marina sediment i ett hav (Iapetushavet) ovanpå urberget som sedan litifierades till respektive sedimentära bergarter. För 282 +/- 5 miljoner år sedan trängde sig diabas in mellan de sedimentära bergarterna och stelnade (Priem et al. 1968; Calner & Ahlberg, 2011). Diabasen har fungerat som ett skyddande tak från erosion. Utan en vittrings- och erosionsbeständig magmatisk takbergart som diabas hade de mjuka sedimentära bergarterna eroderat bort. Kvar efter flera miljoner år av erosion står plåtåberget med dess lagerföljd bevarad. Åldern på de sedimentära bergarterna sträcker sig från 520 miljoner till ca 440 miljoner år. Billingen är ett av femton plåtåberg i Västergötland och det är också det största plåtåberget i Västergötland. Mineralkornen som används för studien härstammar från ett nedlagt kalkbrott nära toppen av Billingen [fig.1].

2.3 Lokalen Skultorp och Lokaformationen

Lokalen Skultorp är ett äldre, nedlagt kalkbrott på nordöstra sidan av plåtåberget Billingen i Västergötland [fig.1]. Koordinaterna till lokalen är 58°20'54.4"N 13°49'01.9"E. På denna lokal finns en sektion genom Ulundaformationen, Lokaformationen och lägre delarna av Kallholnformationen (Calner et al. 2013).

Skultorps stratigrafi omfattar gränsen mellan ordovicium och silur. Lokaformationen (som tillhör hirnantetagen) utgör den yngsta formationen från ordovicium och vilar ovanpå Ulundaformationen och överlagras av den siluriska Kallholnformationen. Flera tidigare författare har beskrivit denna formation och dess stratigrafi. Bland annat Calner et.al (2013), Stridsberg (1980) och Bergström & Bergström (1996).

Lokaformationen [fig.2] har utförligt beskrivits av Stridsberg (1980; som Dalmanitinalager). Formationen består av tre delar. Den nedersta delen består huvudsakligen av lersten, emellanåt av siltig kalksten och överlagras av Ulundaformationens lerstenar. Färgen är ljus och tjockleken från 0 till 3,0 m beroende på lokal. Den är väl litifierad och löses inte upp i HCl och på vissa ställen är den rik på fossil. Den mellersta delen består av kalksten som beroende på lokal är 0,4 till 1,6 m tjock. Kalkstenen är för det mesta homogen, vid enstaka ställen ersätts den av siltsten. I de flesta lokaler är kalkstenen fattig på fossil men koraller och

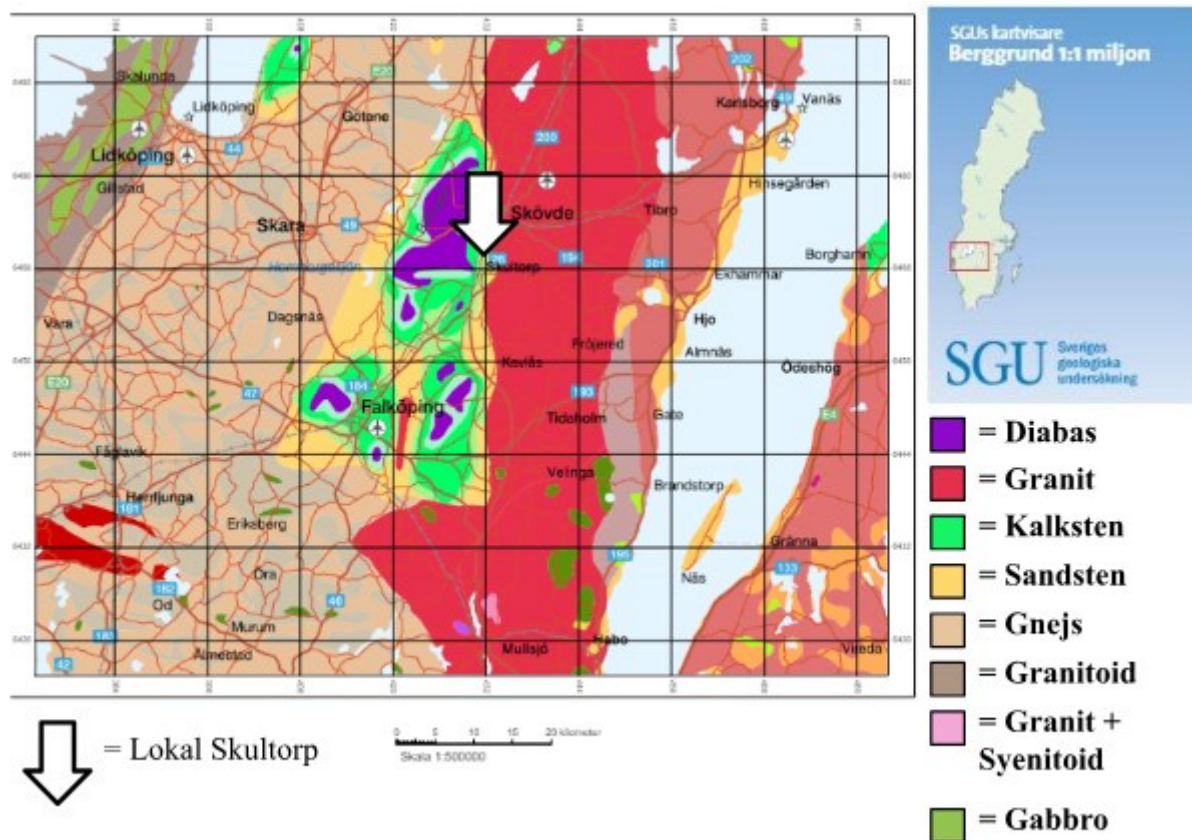


Fig 1. Översiktskarta över Västra Götaland och lokalen Skultorps stenbrott. Nedladdad från SGU's kartvisare.



Fig 2. Fotografi över den västra väggen av stenbrottet vid Skultorp. Lokaformationen börjar ovanför de vita strecken.

Fotografi av Mikael Calner.

skalbärande organismer förekommer på vissa lokaler. Den översta delen är identisk med den nedre delen men innehåller färre fossil. Tjockleken varierar mellan 0,2 och 0,7 m. Stridsberg (1980) beskrev även dessa lager vid Skultorp. Den nedersta delen av Lokaformationen saknas på denna lokal. Istället börjar formationen från den mellersta delen som här är en 1,52 m tjock enhet av ljusgrå kalksten som är rik på peloider i botten och ooider i toppen. Den översta delen av formationen är vid Skultorp en 0,21 m tjock ljusgrå till gulaktig homogen lersten med koraller. Stridsberg (1980) har beskrivit Lokaformationen även från andra lokaler, som Ulunda, Bestorp, Stommen och Ållebergsände. Bergström & Bergström (1996) definierade och namngav Lokaformationen. De beskrev den från Råssnäsudden i Motala men även från en borrhäls kärna från lokalen Smedsby Gård, som ligger strax utanför Motala, vid Vätterns strand (se också Bergström et al 2011, 2012). I denna kärna är Lokaformationen 2,34 m tjock. De nämner tre enheter, A, B och C. Enhet A är en lersten rik på kalciumkarbonat med en grönaktig färg. Enhet B är en 0,2-0,4 m tjock kalksten. Dess färg varierar mellan grå och vit till fläckigt röd. Den är delvis oolitisk. Fossil av trilobiten *Dalmanitina (mucronaspis)* förekommer tillsammans med andra fossil från skalbärande djur och koraller. Enhet C i stratigrafisk ordning, utgörs av en grönaktig lersten, sedan calcilitite och sist lersten.

Vid Skultorp underlagras Lokaformationen av Ulundaformationen [fig.3] som är en siliciklastisk lersten med enstaka laminae av lersten och siltsten (Calner et al. 2013). Den innehåller inte mycket mikrofossil, dock så innehåller ett siltstenslager upp till 20 olika trilobitarter. Gränsen mellan Ulundaformationen och Lokaformationen består av en diskontinuitetsyta. Kallholnformationen överlagras Lokaformationen. Gränsen mellan Lokaformationen och Kallholnformationen består också av en diskontinuitetsyta. Kallholnformationen består av flera meter tjock skiffer som tillhör nedre silur.

Kalkstenen i Lokaformationen är lokalt rik på ooider (Stridsberg, 1980). Det är sfäriska eller äggformade korn uppbyggda av kalciumkarbonat (Flügel, 2004). Ooider består av en kärna (nucleus) och ett inneslutande koncentriskt lager (cortex). Kärnan kan vara lermineral, bioklast, spillning (fecal peloid), kvartskorn eller annat. De flesta ooider är mellan 0,5-1 mm i diameter. Ooider större än 2 mm kallas för pisoider. Generellt så bildas ooider i vatten som är mättade på kalciumkarbonat. Detta är oftast i varma och grunda marina vatten inom subtropikerna.

Det som under fältarbete antogs vara ooider har i denna studie visat sig vara spineller med en överväxt. Spinell är ett mineral som tillhör spinellgruppen och är känt för sin kubiska kristallstruktur (Bosi et al., 2019). Kemiskt sett är spinell magnesiumaluminiumoxid ($MgAl_2O_4$), men den kan innehålla varierande mängder av andra element som krom, järn och zink, vilket ger upphov till olika varianter. Spinell bildas vanligtvis i magmatiska och metamorfa bergarter (Lee, 1999). Dess mekaniska och kemiska motståndighet gör den en utmärkt indikator för

AGE (Ma)	GLOBAL		FORMATION	
	Series	Stage	Östergötland	Västergötland
444	Upper	Hirn.	Loka	Loka
446			Jonstorp	Ulunda
		Katian		Jonstorp
			Fjäckå	Fjäckå
			Slandrom	Bestorp
456	Upper	Sandbian	Freberga	Mossen
			Kinnekuile K-bentonite	Skagen
			Dalby	Dalby
461				

Fig 3. Stratigrafiskt diagram för överordovicium. Hirn. = hirnantetagen. Modifierad efter Bergström et al. (2011).

protolitbergarten. Den återfinns ofta i kalksten som har genomgått kontaktmetamorfos, samt i peridotit och andra ultrabasiska bergarter.

De ovannämnda mineralkornen från proverna är utspridda i ett matrix. Matrix i proverna utgörs av lermineralet illit som är en variant av muskovit (Mindat, 2024). Det bildas ofta genom omvandling av muskovit eller andra mineraler under låga temperatur- och tryckförhållanden, vilket gör det vanligt i marina sedimentära bergarter som skiffer och lerskiffer. Illit består av kalium, aluminium, kisel och syre, med en generell kemisk formel $K_{0,65}Al_{2,0}[Al_{0,65}Si_{3,35}O_{10}](OH)_2$.

3 Metod

Arbetet bygger på ett fåtal bergartsprover som samlats in vid Skultorp i maj 2022 av Mikael Calner och Niklas Gunnarsson (LU). Dess ursprung är från den nedre delen av mellersta Lokaformationen. Fyra prover undersöktes i ljusmikroskop [fig.4]. Bergarten beskrivs övergripande och de speciella mineralkornen beskrivs med avseende på form, storlek, uppbyggnad, och bevaringsgrad. För att undersöka mineralkornen i polarisationsmikroskop tillverkades två tunnslip; SK1 och SK2 (efter Skultorp). Totalt togs 29 stycken bilder som ansågs intressanta och/eller representativa. För vidare undersökning i svepelektronmikroskop belades ett polerat bergartsprov med platina och palladium. Svepelektronmikroskopet är en Tescan Mira3 och är ett FEG-SEM mikroskop (Field Emission Gun – Scanning Electron Microscope) (Alwmark, 2021). Syftet var att få fram högupplösta detaljerade bilder och dokumentera den kemiska sammansättningen av matrix, mineralkornen och dess beståndsdelar samt övrigt material. Karaktärer som ansågs vara representativa eller speciella avbildades. För punkträkning i JMicroVision (JMicroVision, 2024) skannades tunnslip SK1 och SK2 i hög upplösning. Fyra förstörade men representativa bilder från ett polarisationsmikroskop togs från de två tillverkade tunnslipen (två för varje tunnslip) och punkträknades. De kategorier som punkträknades (300 punkter) var *Matrix*, *Mineralkorn*, *Fe-utfällning* och *Övrigt*. För punkträkning valdes 300 punkter enligt rekommenderade 300-500 punkter av Petrog (2024). Alla fragment som var svåra att identifiera valdes att kategoriseras som *Övrigt*.



Fig 4. De fyra bergartsproverna från Skultorp.

4 Resultat

Analys och mikroskopi visar att kornen har en genomsnittlig storlek av 508 μm i diameter och att de utgörs av två olika delar; en kärna som är opak/svart i ljusmikroskopi och ett hölje som varierar i form från hexagonal till dendritisk eller blomkålsliknande. Storleksrelationen mellan kärnan och höljet är ca 1:6 - 1:13. Nedan beskrivs kornen med olika metoder.

4.1 Ljuskopi

4.1.1 Prov 1

Det mesta av prov 1 utgörs av tätt packade mineral-korn [fig.5a]. Den täta packningen försvårar tolkningen av relationer mellan matrix, mineral-korn och kärna. Matrix är finkornigt och den kemiska sammansättningen $(\text{K}_{0.65}\text{Al}_{2.0}[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2)$, (särskilt spikar av kalium) matchar lermineralet illit. Vidare så är illit en omvandlingsprodukt från andra lermineral vilket stämmer överens med hypotesen om lågradig kontaktmetamorfos (se diskussionsdelen). Mineralkornen som är fokus för studien består av två delar. Dels en kärna, dels en omgivande överväxt, som på flera punkter skiljer sig från vad som är typiskt för marina kalkooider, t.ex. med avseende på mineralogi och koncentrisk eller radiell uppbyggnad av cortex. Mineralkornens diameter är som minst 270 μm och som störst 932 μm . Medeldiameter är 508 μm och medianvärdet är 506 μm . Medel och medianvärdet beräknades från 70 mineral-korn. Mineralkornen är sällan perfekt runda. Vissa mineral-korn uppvisar en "blomkålsliknande" struktur [fig.5b, d]. De ser spontant kristalliserade ut, alternativt starkt nedvitrade. I de flesta mineral-korn ser man ingen kärna, vilket beror på att kärnan är liten och endast syns där mineral-kornet är kluvet nära mitten. I de fall där kärnan syns uppvisar den en irreguljär form med en stark kontrasterande svart nyans och skarpa gränser [fig.5c]. Kärnans diameter från den längsta axeln är som minst 45 μm och som störst 72 μm (inget medel/medianvärde räknades ut då antalet kärnor var för litet för ett pålitligt värde). Detta ger ett kärna/cortex (överväxt) förhållande till 1:6 - 1:13. Viss felmarginal finns då mineral-kornens diameter inte alltid har skarpa gränser. Flera fristående kärnor utan överväxt ses i matrix [fig.5d].

4.1.2 Prov 2

Väldigt likt prov 1. Vad som särskiljer prov 2 är järn-utfällningar (Fe-utfällning) [fig.6a, b] som inte alls förekommer i prov 1. Mineral-kornens diameter är lite större än mineral-kornens diameter från prov 1. Det förekommer mineral-korn med en diameter om 1200 μm . Matrix är massivt och finkornigt.

Prov 1

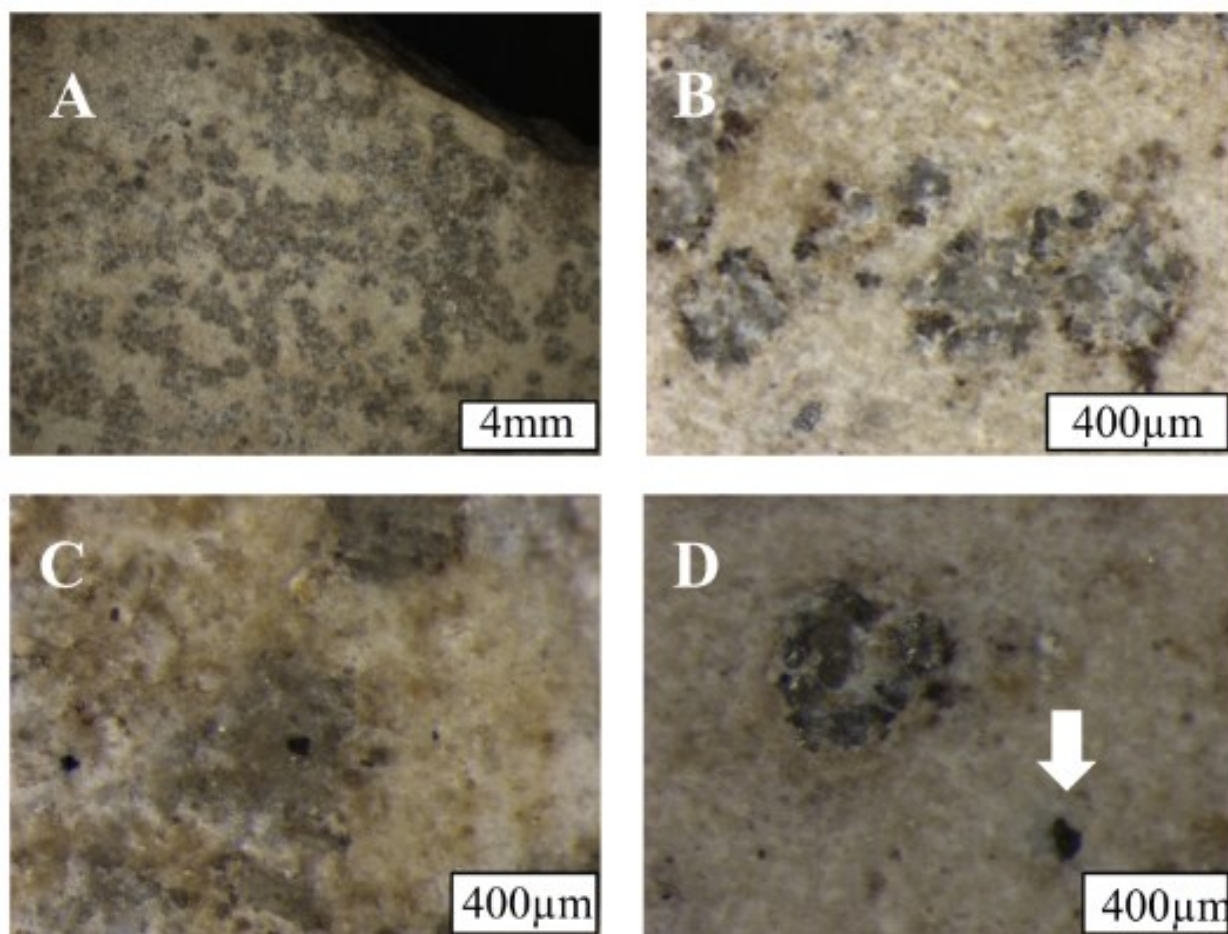


Fig 5. Representativa bilder av från ljusmikroskopet, som visar mineralkornen från prov 1 i Lokaformationen. (a) Översiktlig och utzoomad bild över prov 1. Notera de tätt packade mineralkornen. (b) "Blomkålsliknande" utseende hos mineralkornen. (c) Ett mineralkorn med kärnan intakt. (d) Ett mineralkorn och en fristående kärna (vit pil) utan inneslutande överväxt.

Prov 2

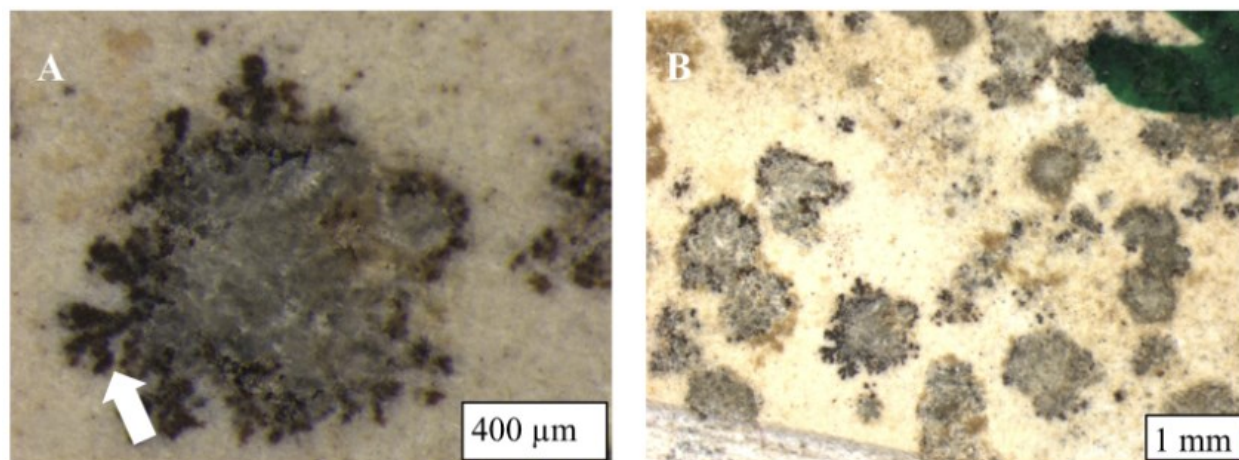


Fig 6. Representativa bilder från ljusmikroskopet, som visar mineralkornen från prov 2 i Lokaformationen. (a) Mineralkorn med Fe-utfällningar (vit pil). (b) Översiktlig och utzoomad bild över prov 2.

Prov 3

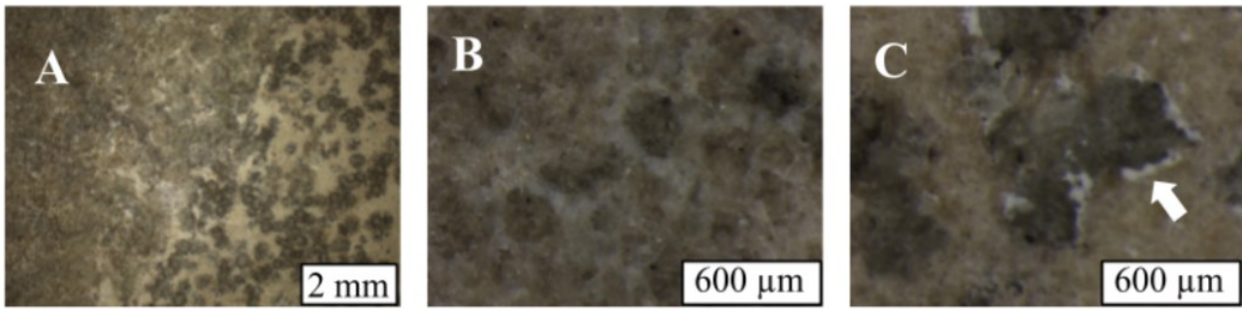


Fig 7. Representativa bilder över prov 3 från ljusmikroskopet som visar mineralkornen från Lokaformationen. (a) Gränsen mellan två tunna lager (eller laminae) av mineralkorn. Vänster: Tätt packade mineralkorn. Höger: Fristående mineralkorn. (b) Tätt packade mineralkorn under förstoring. (c) Mineralkorn under förstoring med vita utfällningar (vit pil) vars ursprung är okänd.

4.1.3 Prov 3

Provytan är skuren så att den representerar två olika lager. Lagergränsen är skarp [fig.7a]. Vänster del av [fig.7a] uppvisar tätt packade mineralkorn. Höger del uppvisar fristående mineralkorn. De tätt packade mineralkornen överlagrar de fristående mineralkornen. Fotograferat finns även tätt packade mineralkorn under förstoring [fig.7b, c]. Bland de tätt packade mineralkornen hittar man även fristående kärnor. Medeldiameter är 469 μm , medianvärdet är 470 μm . Medel och medianvärde beräknades från 70 mineralkorn. Vissa mineralkorn har vita utfällningar [fig.7c] runt omkring sig vars ursprung eller kemiska sammansättning är okänd.

4.1.4 Prov 4

Provets sammansättning och beskrivning liknar prov 1. Mineralkornens medeldiameter är 546 μm . Medianvärdet är 534 μm . Medel och medianvärde beräknades från 24 mineralkorn.

4.2 Polarisationsmikroskop

Matrix är finkornigt och homogent. Inga optiska egenskaper kunde noteras i planpolariserat (PPL) och korspolariserat ljus (XPL). Enstaka kärnor av den typ som finns innesluten i mineralkornen kan påträffas i matrix [fig.11b]. Det förekommer mörka fläckar som är Fe-utfällningar [fig.8b, c]. Fe-utfällningarna är betydligt mindre än mineralkornen. De flesta Fe-utfällningar förekommer fristående men några av dem är sammanväxta med mineralkornen. Fe-utfällningarna saknar optiska egenskaper i planpolariserat (PPL) och korspolariserat ljus (XPL). Mineralkornen är ofta tätt packade [figs. 8a & 9a, d] och det går ofta inte att urskilja tydliga gränser mellan kornen. Tidvis förefaller de till och med sammanväxta. Det förekommer fristående mineralkorn men sällan har de en välbevarad struktur. Bara enstaka fristående mineralkorn har en välbevarad struktur som lämpar sig för en mineralogisk tolkning [fig.9b]. Optiska egenskaper i planpolariserat (PPL) och korspolariserat ljus (XPL) kunde inte noteras. Hos de mineralkorn som har sin struktur bevarad kan man ana en fem/ sexkantig form [fig.9b].

SK1

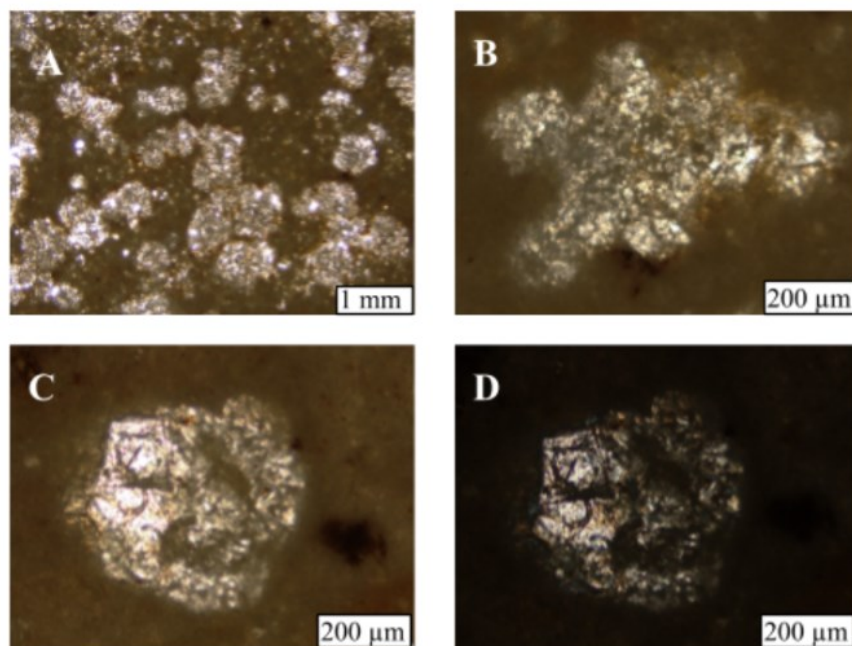


Fig 8. Fotografier av tunnslip SK1 som visar mineralkornen från Lokaformationen vid Skultorp. (a) Representativ och översiktlig bild över tunnslip SK1 (PPL). (b) Dåligt bevarade tätt packade mineralkorn (PPL). (c) Välbevarat fristående mineralkorn (PPL). (d) Mineralkorn i korspolariserat ljus (XPL).

SK2

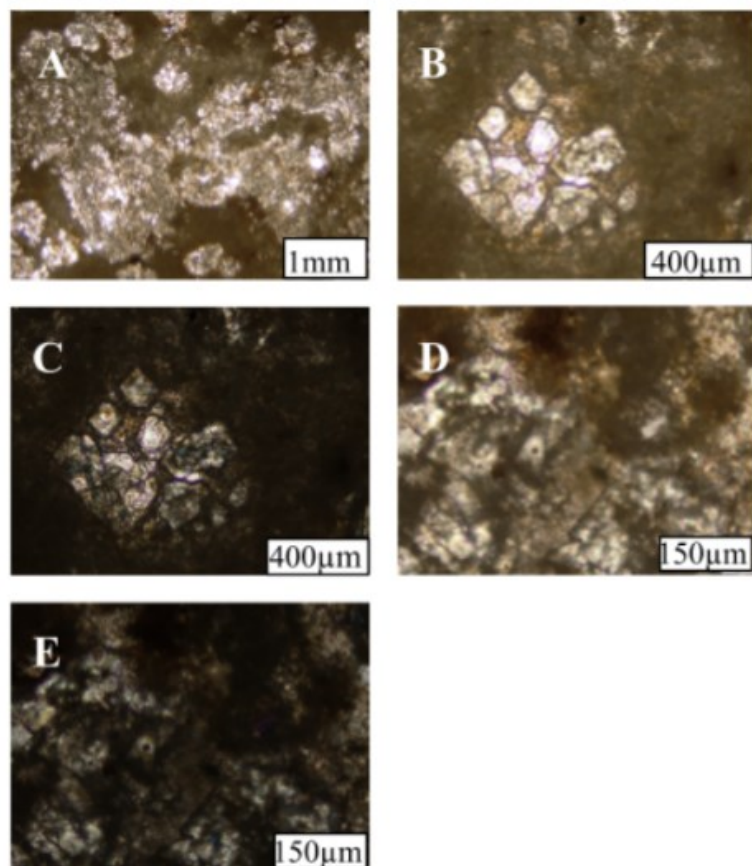


Fig 9. Fotografier av tunnslip SK2 som visar mineralkornen från Lokaformationen vid Skultorp. (a) Tätt packade mineralkorn (PPL). (b) Välbevarat mineralkorn (PPL). (c) Mineralkorn i korspolariserat ljus (XPL). (d) Tätt packade mineralkorn (PPL). (e) Tätt packade mineralkorn i korspolariserat ljus (XPL).

4.3 Svepelektronmikroskop (SEM)

Mineralkornen förekommer rikligt men är inte i kontakt med varandra [fig.10a]. Matrix är uppbyggda av små kristaller i lerfraktion och dess kemiska sammansättning matchar lermineralet illit [fig. 10e och fig.14a]. Topparna av kalium, syre, aluminium och kisel är identiska till illits kemiska formel. Illit är för det mesta kaliumrik men det förekommer även ställen där den är aluminiumrik. I matrix noterades ett enda exemplar av mikroffossil [fig.10e]. Dess kemiska sammansättning har stor halt av grundämnet kol och mindre halter syre och kalcium [fig.14b]. I matrix påträffas det flera fristående mineralkorn av spinell,

zirkon och titanit [fig.10d, f] men även mindre antal mineralkorn av fosfor. De mineralkorn som är fokus för denna studie består av en kärna och en överväxt [fig.10b, d]. Överväxten fungerar som ett hölje och består av en tillväxt av ett kalcium-aluminium-silikat [figs.11a, 12 & 13a]. Kärnan består av Cr-spinell (krom-spinell). Järnhalten i Cr-spinellerna varierar men är aldrig större än kromhalten [figs 11a & 13b]. Mineralkornens form är oftast anhedral med "blomkålsliknande" former [fig.10b, d] men det förekommer enstaka mineralkorn med starkt euhedraformer [fig.10c].

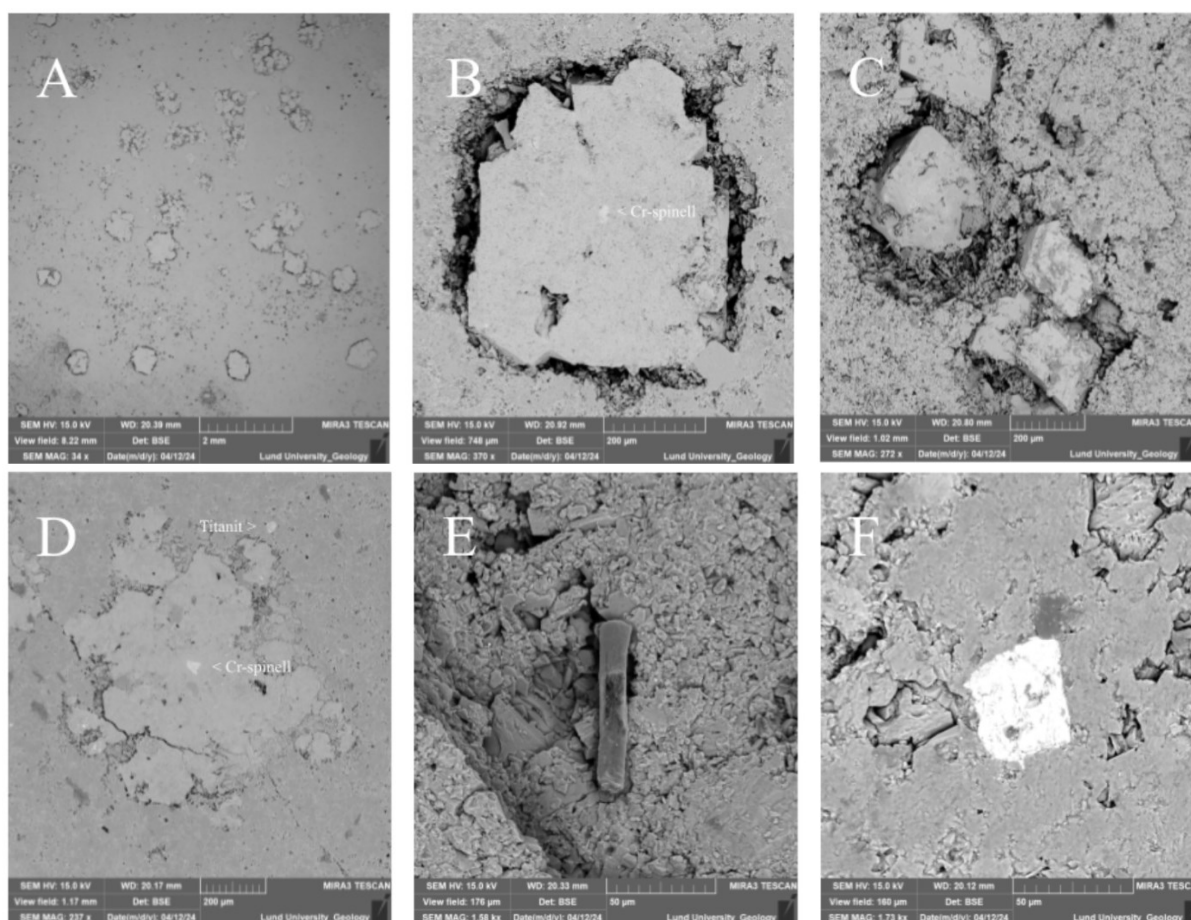


Fig 10. SEM-fotografier av mineralkornen från Lokaformationen vid Skultorp. För respektive kemisk sammansättning se [fig.11-15]. (a) Översiktsbild som visar det generella utseendet och variationen hos mineralkornen. Inget spectra av den kemiska sammansättningen togs av delfigur (a). (b) Något vittrat korn av kalcium-aluminium-silikat. Det ljusa (högre densitet) kornet som bildar kärna i mitten är en krom-spinell. (c) Högupplöst tredimensionell bild över ett relativt välbevarat euhedralt mineralkorn. (d) Kraftigt nedbrutet anhedralt mineralkorn med spinellkärna och fristående mineralkorn av titanit. (e) Högupplöst bild över illit och ett mikroffossil. (f) Fristående mineralkorn av zirkon.

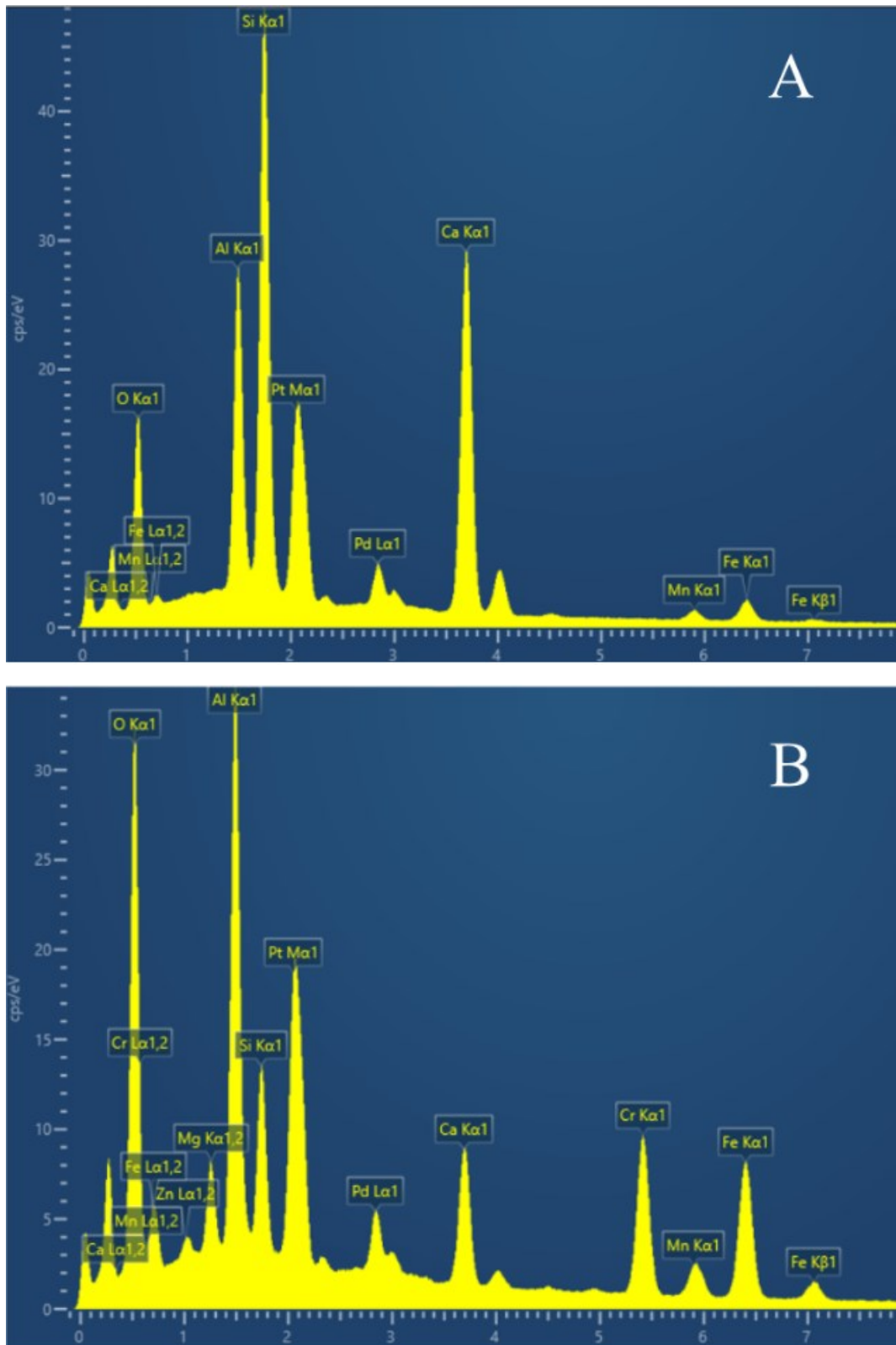


Fig 11. Spectra av den kemiska sammansättningen för [fig.10b]. (a) Kemisk sammansättning av kalcium-aluminium-silikat överväxten. (b) Kemisk sammansättning av Cr-spinellkärnan.

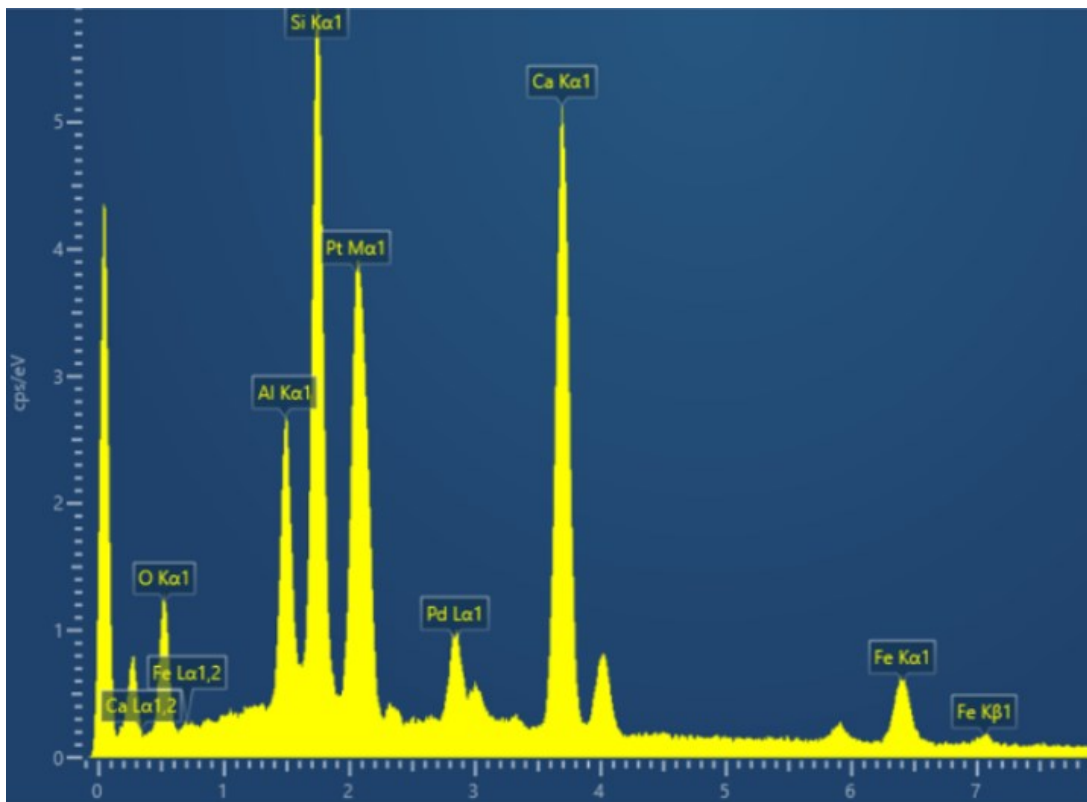
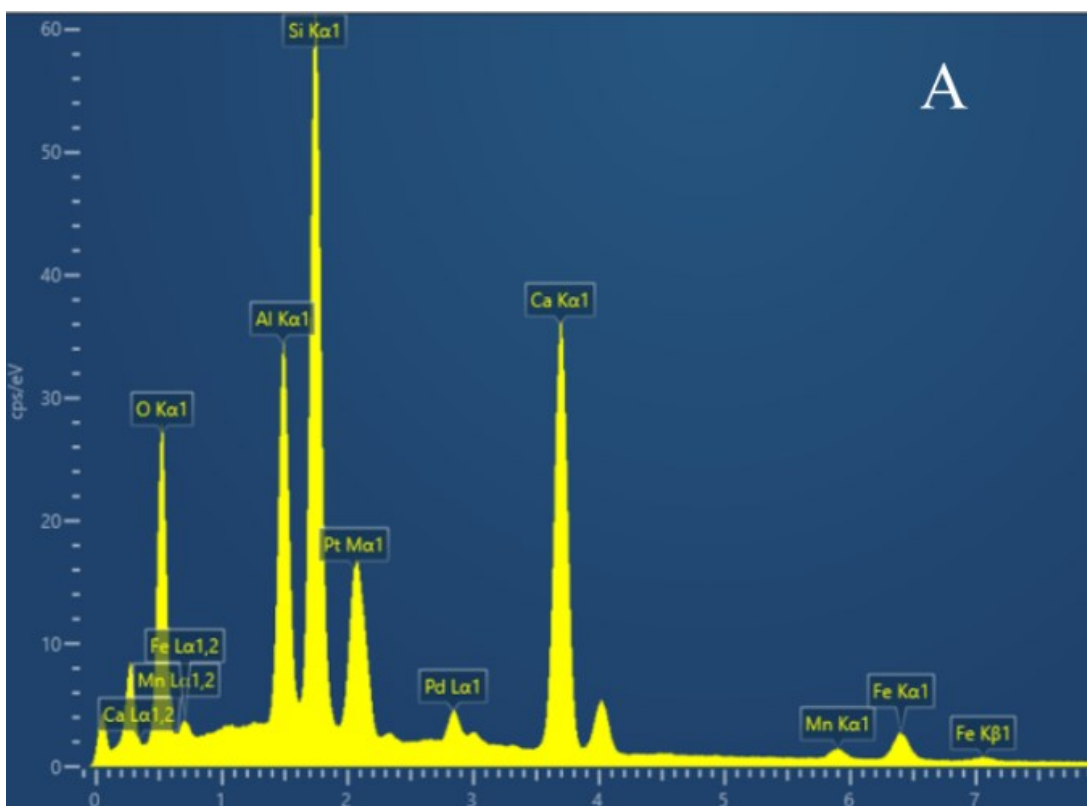


Fig 12. Spectra av den kemiska sammansättningen för [fig.10c], kalcium-aluminium-silikat överväxten.



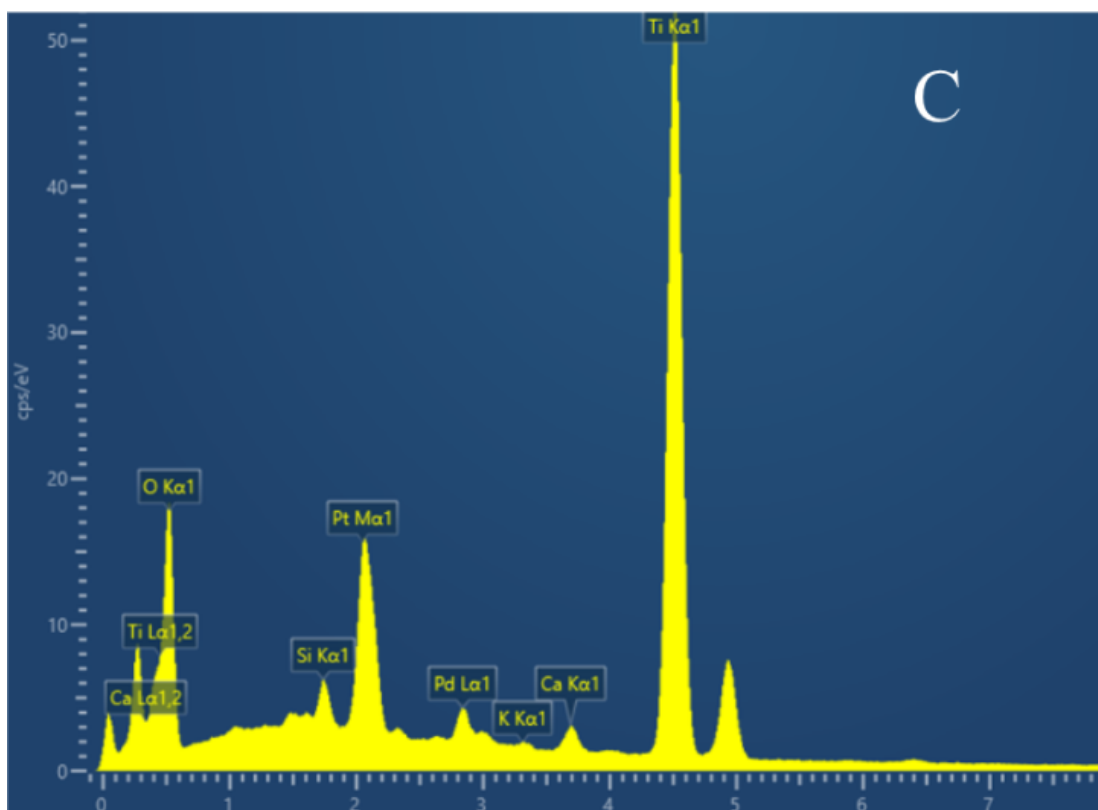
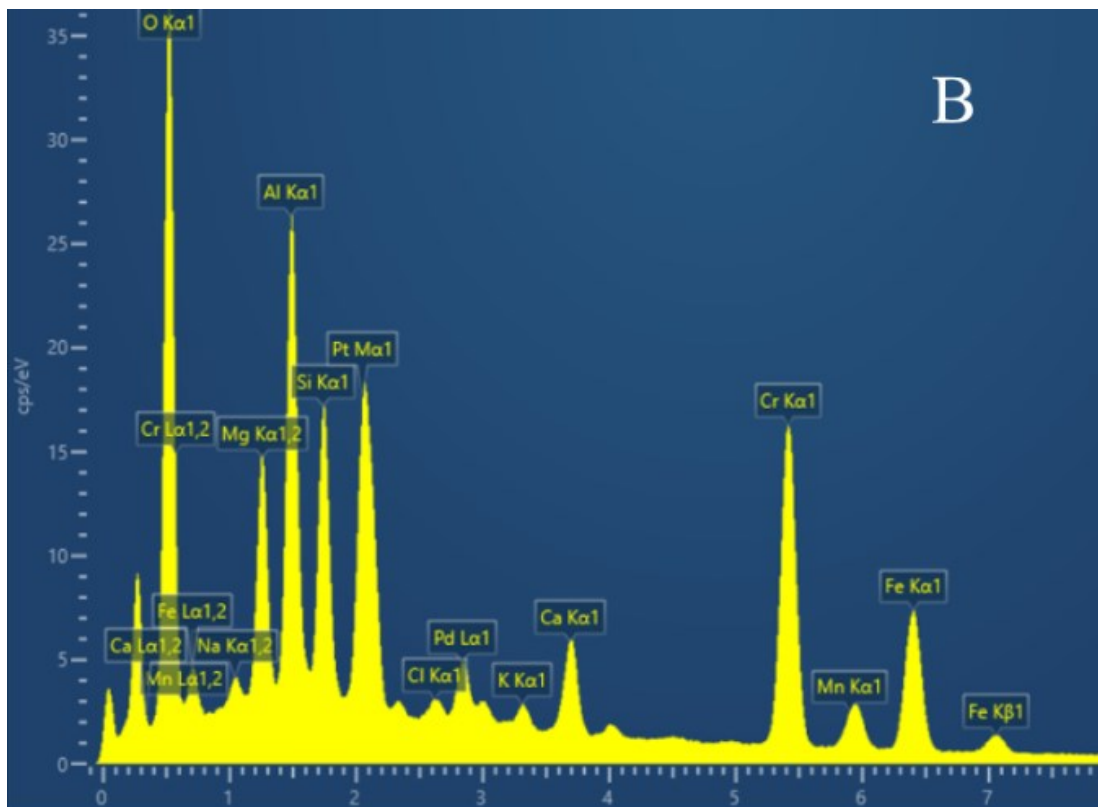


Fig 13. Spectra av den kemiska sammansättningen för [fig.10d]. (a) Kemisk sammansättning av kalcium-aluminium-silikat överväxten. (b) Kemisk sammansättning av Cr-spinellkärnan. (c) Kemisk sammansättning av ett fristående titanitkorn.

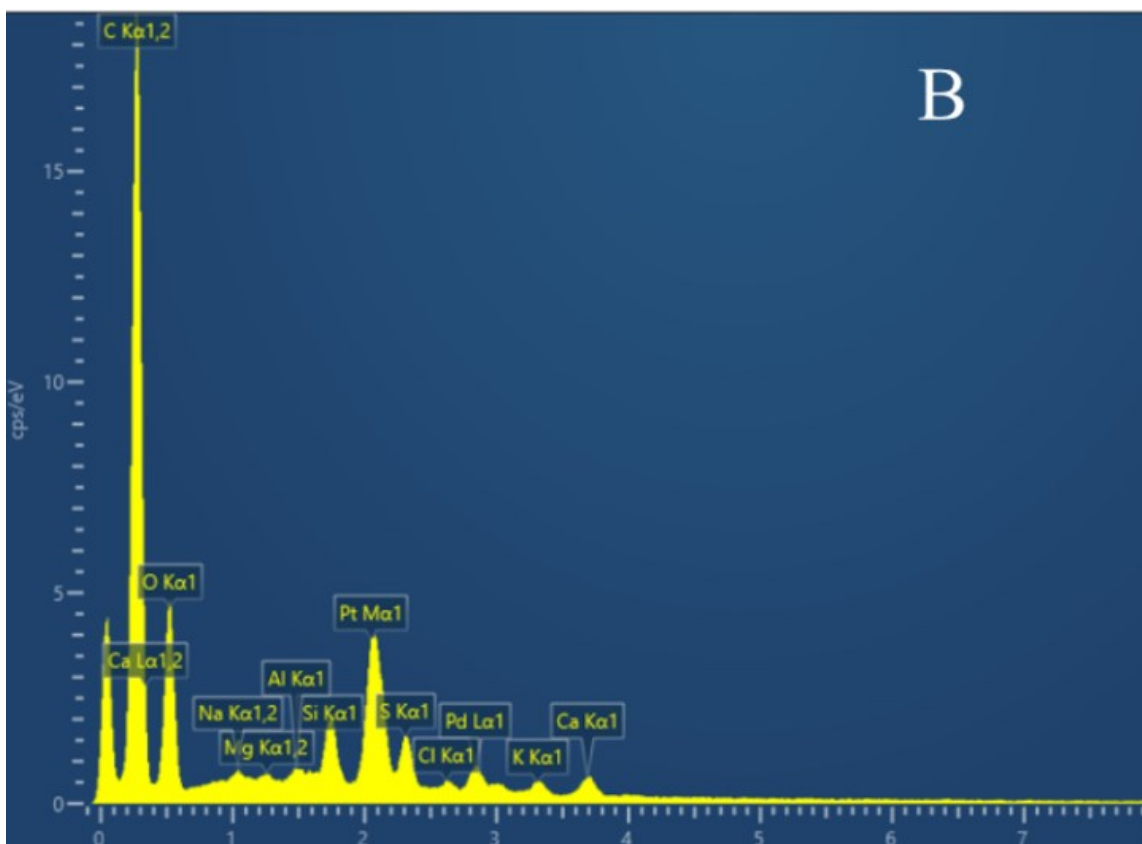
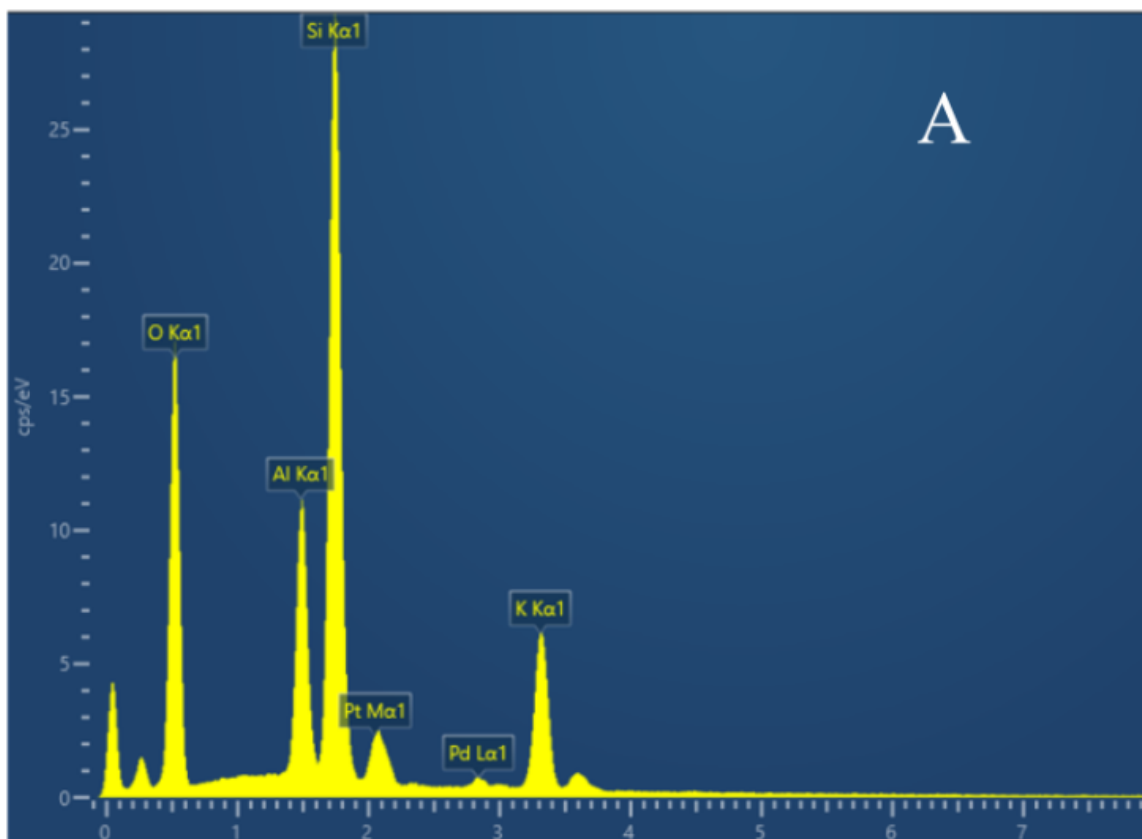


Fig 14. Spectra av den kemiska sammansättningen för [fig.10e]. (a) Kemisk sammansättning av illit (matrix).
(b) Kemisk sammansättning av mikrofossil.

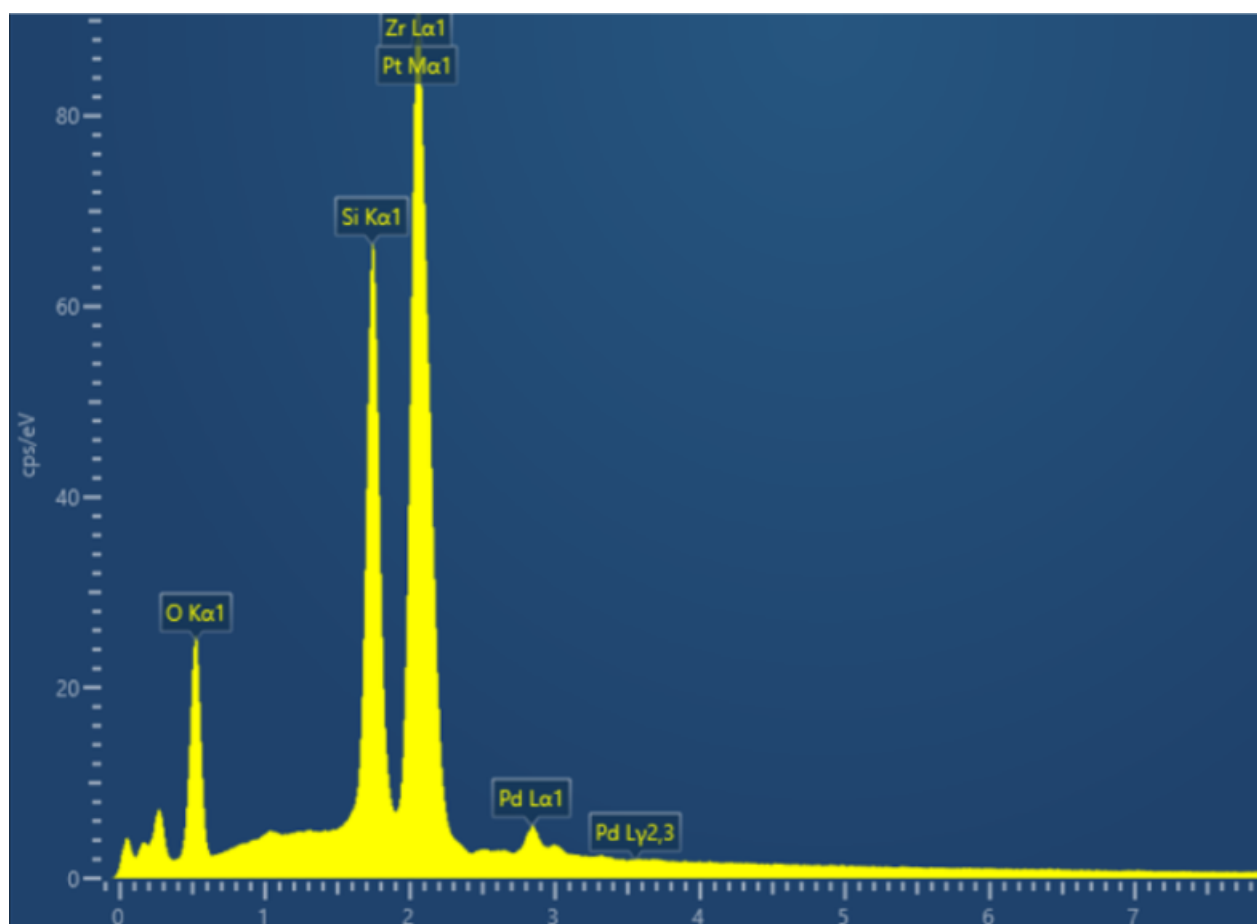


Fig 15. Kemisk sammansättning av zirkon.

4.4 Punkträkning

Bilderna som användes för punkträkning syns i [fig.16] tillsammans med resultaten. Om man sammanställer samtliga resultat till ett genomsnittlig värde får man följande resultat:

Matrix = 56,65%

Mineralkorn = 31,02%

Fe-utfällning = 2,89%

Övrigt = 9,44%

Tunnslip SK1 och SK2 hade störst innehåll av övrigt material. Detta beror på att den mindre förstoringen försvårade tolkningen. I jämförelse har SK1 006, SK1 003, SK2 008 och SK2 009 minst innehåll av övriga material på grund av förstoringen. Övrigt material gränsar mellan matrix och mineralkorn.

Den verkliga sammansättningen kan tas fram om man subtraherar det övriga materialet. Man får då följande resultat:

Matrix = 62,55%

Mineralkorn = 34,26%

Fe-utfällning = 3,19%

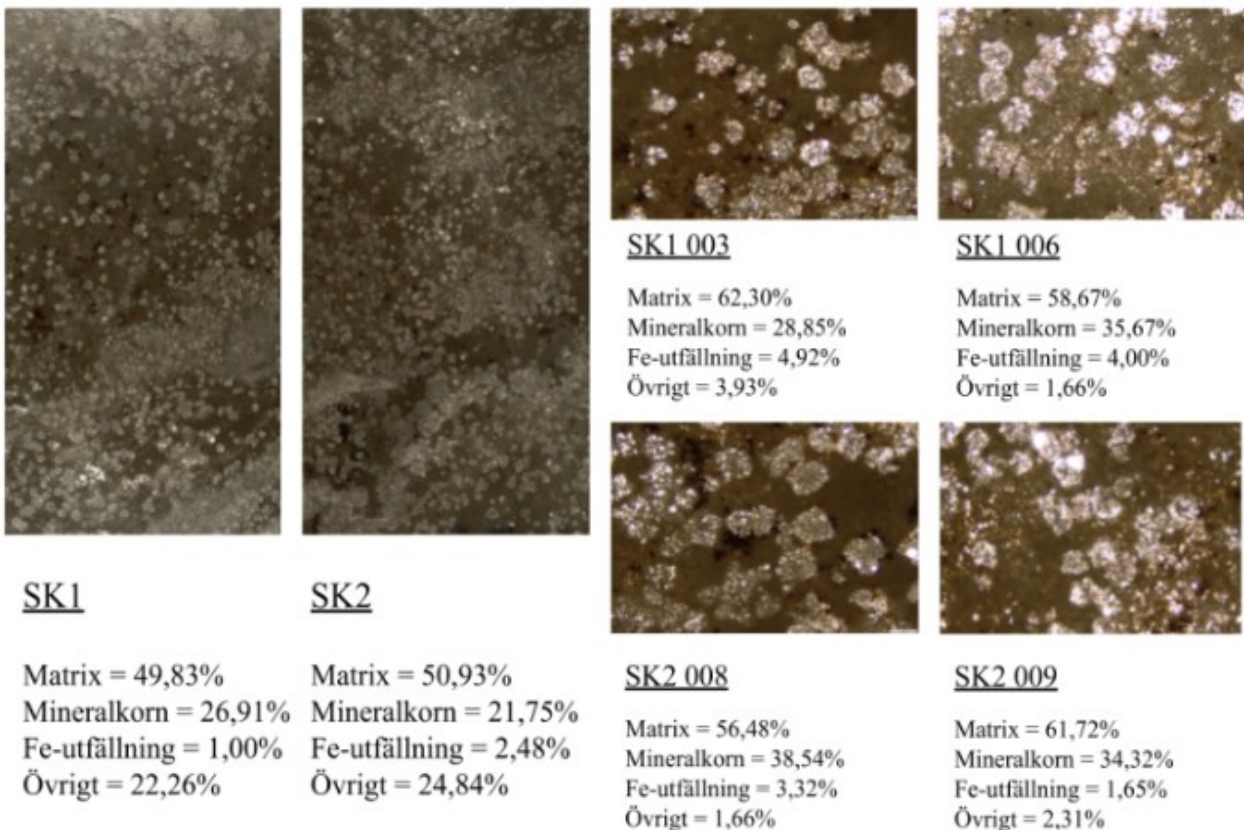


Fig 16. Resultat från punkträkningen för varje bild som punkträknades.

5 Diskussion

Tidigare studier av Lokaformationens stratigrafi och sedimentologi har beskrivit kalkooider från den kalkrika mellersta delen (Stridsberg, 1980). Därför är det lätt att missta de nu undersökta kornen för ooider om man inte studerar dem i hög upplösning. De har på ett övergripande plan ett liknande utseende och form, samt en struktur med en tydlig kärna och ett hölje. Dock, om man undersöker mineralkornen närmare så drar man slutsatsen att detta inte är ooider. Det saknas koncentrisk laminering som tyder på en kalköverväxt inifrån och ut. De flesta mineralkorn har en oregelbunden form som i stor utsträckning kan liknas till en "blomkålsform". Överväxten som innesluter kärnan består av kalcium-aluminium-silikat vilket avviker starkt från kalciumkarbonat som de flesta ooider har. Denna överväxt har oftast en anhydral form som ser ut att ha mineraliserat spontant och oregelbundet och är förmodligen en sekundär diagenetisk tillväxt. Det finns dock undantag då enstaka mineralkorn har en stark euhedral form. Man kan ana en ursprunglig fem/sexkantig form. Kärnans kemiska sammansättning undersöktes och bekräftades vara Cr-spinell. Matrix identifierades som lermaterial illit. Det förekommer tungmineral i matrix av Cr-spinel, zirkon och titanit och en liten del fosfor som förmodligen har samma terrigena ursprung. Det tyder på att det skedde en anrikning av tungmineral i nedre delen av mellersta Lokaformationen.

Flera studier har publicerats om Cr-spineller. Det finns två typer av spineller baserat på ursprung. Det kan antingen ha extraterrestriskt eller terrigent ursprung. Simon et al. (2000) skrev om Cr-spineller från den så kallade Allendemeteoriten som slog ned på Jorden 1969. Dessa Cr-spineller har en omslutande överväxt av olivin. Alwmark & Schmitz (2007) beskrev också Cr-spineller (chromite) med extraterrestriskt ursprung. De återfanns i Locknekratern i Sverige och dess ålder kan dateras till sen ordovicisk tid. Singh (2009) beskrev Cr-spineller som var inneslutna i olivin (peridot). De hade ofiolitiskt ursprung och genomgick en lågradig partiell uppsmältning. Proverna var insamlade från östra Indien. Mekhonoshin et al. (2020) beskrev Cr-spinell med hög TiO halt som också är inneslutna i olivinkristaller. Dessa Cr-spineller kommer från intrusiva bergarter från södra Sibirien och dess ålder kan dateras till prekambrium. Andronikov et al. (2022) beskrev Cr-spineller som också är inneslutna i olivinkristaller. De återfanns i xenoliter som kommer från övre manteln. Proverna samlades in från östra Antarktis. Yong-Feng (2008) skrev om Cr-spineller från ultrabasiska harzburgite-bärande ofioliter. Cr-spinell utgör själva överväxten som har en maskliknande form. Alla dessa studier beskriver Cr-spineller i magmatiska bergarter och med Alwmark & Schmitz (2007) och Yong-Feng (2008) som undantag så är de alla inneslutna av en olivin överväxt.

Wagreich et al. (1995) beskrev detritala Cr-spineller i en kalksten. Dess ursprung kunde också spåras till harzburgite-bärande ofioliter. Dess ålder dateras till nedre krita och proverna samlades in från

alperna. Bónová et al. (2016) skrev också om detritala Cr-spineller med höga halter TiO och Fe från sedimentära bergarter från västra Karpaterna i Slovakien. Cr-spinellerna utgjorde själva överväxten och inneslöt mineralerna forsterit, amfibol, pyroxen och plagioklas. Dess ursprung spårades till ultrabasiska harzburgite-bärande ofioliter. Dess ålder kunde spåras från eocen till tidig oligocen. Lenaz et al. (2022) beskrev också Cr-spineller med ofiolitiskt ursprung. Proverna kommer från en ordovicisk kalksten från Thorsbergs stenbrott i Sverige.

Från alla tidigare forskning kan man anta att Cr-spinellerna från Skultorp har ett terrigent ultrabasiskt harzburgite-bärande ofiolitiskt ursprung och att de transporterades till ett grundhav på grund av vittring av ofioliter. Detta är det vanligaste ursprunget för spinell. Det är möjligt att haven anrikades på tungmineral som Cr-spinel, titanit, zirkon och fosfor under den omfattande glacien i slutet av ordovicium. Då var havsnivån som lägst vilket exponerade stora landområden och accelererade vittringen. Det är då möjligt att mafiska bergarter i anslutning till den kaledoniska orogenesen vittrade och tillförde spinellerna.

Mineralkornens struktur tyder på att överväxten runt Cr-spinellerna är en sekundär diagenetisk tillväxt. Cr-spinellen befann sig fristående i lerstenen innan den litifierades. Tidigare forskning beskriver Cr-spineller som är inneslutna av en olivinöverväxt eller fall där Cr-spinell innesluter ett mineral. Men ingen tidigare forskning har beskrivit Cr-spineller som är inneslutna av en kalcium-aluminium-silikat överväxt eller att det förekommer tillsammans med fristående mineral av titanit, zirkon eller fosfor. Därför är det svårt att spekulera om överväxtens ursprung. En hypotes är att det kunde ha skett en lågradig kontaktmetamorfos när diabasen trängde in i kalkstenen som orsakade tillväxten kalcium-aluminium-silikat överväxten. Alternativt har diabasen värmt upp fluider som sedan vandrade igenom Lokaformationen med joner som orsakade en tillväxt av kalcium-aluminium-silikat. Ulunda och Kallholnformationen är mindre permeabla bergarter än Lokaformationen och därför skedde det en anrikning av främmande joner runtomkring Cr-spinellen. Denna process kallas för metasomatism. Dessa hypoteser förklarar dock inte varför kalcium-aluminium-silikat växte endast runt om Cr-spinellerna och inte runt titanit, zirkon och fosfor.

6 Slutsats

1. Lokaformationen på Billingen i Västergötland innehåller lokalt ett stort antal mineralkorn som baserat på SEM-studier och XRF består av Cr-spinell omgiven av ett hölje av kalcium-aluminium-silikat.

2. Ursprunget för Cr-spinellen är osäkert. Troligen har den ett terrestriskt ursprung, från ultrabasiska bergarter och möjligen som ett resultat av den ökade vittringen i anslutning till den sen-ordoviciska glacialen. Detta sammanfaller med det sen-ordoviciska massutdöendet.

3. Cr-spinellerna avsattes tillsammans med lermineral. Efter diagenesen växte ett hölje av kalcium-aluminium-silikat runt Cr-spinellen (men inte runt korn av titanit, zirkon eller fosfor) vilket teoretiskt kan ha varit ett resultat av kontaktmetamorfos från när diabas trängde sig in i bergarten eller ett resultat av metasomatism.

4. Med tanke på bristande forskning om Cr-spinell med inneslutande kalcium-aluminium-silikat överväxt kan man dra slutsatsen att detta arbete är först med att beskriva den typen av mineralkorn. Ytterligare forskning är nödvändig för att förstå varför Cr-spinellerna har en diagenetisk påväxt och hur denna process gick till, samt varför andra tungmineral inte blev anrikade av kalcium-aluminium-silikat.

7 Tack

Jag vill tacka Anders Lindskog som har lärt mig tillverka tunnslip med dyra verktyg, för att ha hjälpt mig gå tillväga med mikroskoperingen och ta professionella bilder till detta kandidatarbete. Jag vill även tacka Carl Alwmark för att ha hjälpt både mig och Mikael Calner med svepelektronmikroskopet och hans geologiska tolkningar.

Och ett stort tack till Mikael Calner som har varit en engagerad och fantastisk handledare. Det var en ära att få samarbeta med honom och att skriva ett kandidatarbete som direkt främjar hans forskningsfält. Det var väldigt lärorika månader och jag ser fram emot att skriva en masterexamen i framtiden med honom som handledare.

8 Källor

Alwmark, C. (4 juni 2024) *Instrument*. Department of Geology

<https://www.geology.lu.se/research/laboratories-equipment/field-emission-scanning-electron-microscopy-and-edsebsd-analysis-laboratory/instrument>

Alwmark, C., Schmitz, B. (2007). Extraterrestrial chromite in the resurge deposits of the early Late Ordovician Lockne crater, central Sweden. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol (253). <https://portal.research.lu.se/sv/publications/extraterrestrial-chromite-in-the-resurge-deposits-of-the-early-la>

Andronikov, A.V., Andronikova, I.E. & Pour, O. (2022). Major and Trace-Element Chemistry of Cr-Spinel in Upper Mantle Xenoliths from East Antarctica. *Minerals*, Vol (12). <https://www.mdpi.com/2075-163X/12/6/720>

Bergström, S.M. & Bergström, J. (1996). The Ordovician-Silurian boundary successions in Östergötland and Västergötland, S. Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar Vol (118)*, s.25-42.

Bergström, S.M., Calner, M., Lehnert, O. & Noor, A. (2011). A new Upper Ordovician-Lower Silurian drillcore standard succession from Borenhult in Östergötland, southern Sweden: 1. Stratigraphical review with regional comparisons. *GFF 133*, s.149-171.

Bergström, S.M., Lehnert, O., Calner, M. & Joachimski, M. (2012). A new Upper Ordovician-Lower Silurian drillcore standard succession from Borenhult in Östergötland, southern Sweden: 2. Significance of $\delta^{13}\text{C}$ chemostratigraphy. *GFF 134*, s.39-63.

Bónová, K., Spišiak, J., Bóna, J. & Kováčik, M. (2016). Chromian spinels from the Magura Unit (Western Carpathians, Eastern Slovakia) – their petrogenetic and palaeogeographic implications. *Geological Quarterly*, Vol (61). https://gq.pgi.gov.pl/article/view/25357/pdf_1298

Bosi, F., Biagioni, C. & Pasero, M. (2019). Nomenclature and classification of the spinel supergroup. *European Journal of Mineralogy*, Vol (31). <https://pubs.geoscienceworld.org/eurjmin/article/31/1/183/548462/Nomenclature-and-classification-of-the-spinel>

Calner, M., & Ahlberg, P. (2011). Guide till de västgötska platåbergens geologi. *Geologiskt forum 70*, s.17-28.

- Calner, M., Ahlberg, P., Lehnert, O. & Erlström, M. (2013). The lower Palaeozoic of southern Sweden and the Oslo Region, Norway. *Sveriges Geologiska Undersökning. Rapporter och meddelanden* 133, s.50-54.
- Chen, B. & Yong-Feng, S. (2008). Petrology of ultramafic rock in Darbut ophiolite (Xinjiang), evidence from Cr-spinel. *Earth Science Frontiers*, Vol (15), s.312-322. <https://www.earthsciencefrontiers.net.cn/EN/Y2008/V15/I6/312>
- Flügel, E. (2004). *Microfacies of carbonate rocks*. s.142-144. Springer Verlag. Berlin.
- Harper, D.A.T., Hammarlund, E.U. & Rasmussen, C.M.Ø. (2014). *End Ordovician extinctions: a coincidence of causes*. *Gondwana research* 25, s.1294-1307.
- Harper, D. (2023). Late Ordovician Mass Extinction: Earth, fire and ice. *National Science Review*, Vol (11). <https://academic.oup.com/nsr/article/11/1/nwad319/7478030>
- Lee, Y. (1999). Geotectonic significance of detrital chromian spinel: a review. *Geosciences Journal*, Vol (3). <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02910231>
- Lenaz, D., Velicogna, M., Petrelli, M. & Schmitz, B. (2022). The Österplana Fossil Meteorites and. . . What Else? Terrestrial Cr-Spinels and Zircons in the Ordovician Limestones of the Thorsberg Quarry (Sweden). *geosciences*, Vol (12). <https://www.mdpi.com/2076-3263/12/2/54>
- Mekhonoshin, A.S., Kolotilina, T.B., Doroshkov, A.A. & Pikiner, E.E. (2020). *Compositional Variations of Cr-Spinel in High-Mg Intrusions of the Primorsky Ridge (Western Baikal Region, Russia)*. *Minerals*, Vol (10). <https://www.mdpi.com/2075-163X/10/7/608>
- Mindat. (18 maj 2024). *Illite*. <https://www.mindat.org/min-2011.html>
- Petrog. (6 juni 2024). *Point Counting in Geology*. https://ws2.petrog.com/point_counting.html
- Platåbergens Geopark. (10 april 2024). *Platåbergens Geologi*. <https://www.platabergensgeopark.se/platabergens-geologi/>
- Priem, H. N. A., Mulder, F. G., Boelrijk, N. A. I. M., Hebeda, E. H., Verschure, R. H. & Verdurmen, E. A. T. (1968). Geochronological and palaeomagnetic reconnaissance survey in parts of Central and Southern Sweden. *Phys. Earth Planet*, Vol (1). s.373-380.
- Rasmussen, C.Ø., Vandenbroucke, T.R.A., Nogues-Bravo, D. & Finnegan, S. (2023). Was the Late Ordovician mass extinction truly exceptional?. *Trends in Ecology & Evolution*, Vol (38), s.812-821. [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(23\)00089-7](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(23)00089-7)
- Roduit, N. (2024). *JMicrovision (1.3.4). [Bildanalysverktyg för att mäta och kvantifiera komponenter i högupplösta bilder]*. <https://jmicrovision.github.io/index.htm> (brukades den 3 juni 2024).
- Sheehan, P.M. (2001). The Late Ordovician Mass Extinction. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 29, s.331-364.
- Simon, S.B., McKeegan, K.D., Ebel, D.S. & Grossman, L. (2000). Complexly zoned chromium-aluminum spinel found in situ in the Allende meteorite. *Meteoritics & Planetary Science*, Vol (35), s.215-227. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1945-5100.2000.tb01770.x>
- Singh, A.K. (2009). High-Al chromian spinel in peridotites of Manipur Ophiolite Complex, Indo-Myanmar Orogenic Belt: implication for petrogenesis and geotectonic setting. *Current Science*, Vol (96), s.973-978. https://www.jstor.org/stable/24104690?casa_token=GfShic1_ho8AAAAA%3At7lwHa2Bf6ZGo0OvFsm4LKl0cXilPMGJly_zbSLAK-Nt-pXCqQh7mgdaH36xRnhgJarOJkNnubs5DO2jRT-gN0nrGjiP_NHq2ewZPnAjMwj7hhoSqKxw
- Stridsberg, S. (1980). Sedimentology of Upper Ordovician regressive strata in Västergötland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, Vol (102), s.213-221.
- Twitchett, R.J. & Levin, S.A. (Red.) (2013). Mass Extinctions, Notable Examples of. *Encyclopedia of Biodiversity* (4 uppl.). Academic Press. https://www.researchgate.net/publication/279946085_Mass_Extinctions_Notable_Examples_of
- Wagreich, M., Faupl, P. & Schlagintweit, F. (1995). Heavy minerals from Urgonian limestone pebbles of the Northern calcareous alps (Austria, Bavaria): Further evidence for an intra-austroalpine suture zone. *Geologica Carpathica*, Vol (46), s.197-204. https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/GeolCarp_Vol46_No4_197_204.pdf

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

629. Smith, Thomas, 2022: Assessing the relationship between hypoxia and life on Earth, and implications for the search for habitable exoplanets. (45 hp)
630. Neumann, Daniel, 2022: En mosasaurie (Reptilia, Mosasauridae) av paleocensk ålder? (15 hp)
631. Svensson, David, 2022: Geofysisk och geologisk tolkning av kritskollors utbredning i Ystadsområdet. (15 hp)
632. Allison, Edward, 2022: Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige. (15 hp)
633. Jirdén, Elin, 2022: OSL dating of the Mesolithic site Nilsvikdalen 7, Bjørøy, Norway. (45 hp)
634. Wong, Danny, 2022: GIS-analys av effekten vid stormflod/havsnivåhöjning, Morupstrakten, Halland. (15 hp)
635. Lycke, Björn, 2022: Mikroplast i vattenavsatta sediment. (15 hp)
636. Schönherr, Lara, 2022: Grön fältspat i Varbergskomplexet. (15 hp)
637. Funck, Pontus, 2022: Granens ankomst och etablering i Skandinavien under post-glacial tid. (15 hp)
638. Brotzen, Olga M., 2022: Geologiska besöksmål och geoparker som plattform för popularisering av geovetenskap. (15 hp)
639. Lodi, Giulia, 2022: A study of carbon, nitrogen, and biogenic silica concentrations in *Cyperus papyrus*, the sedge dominating the permanent swamp of the Okavango Delta, Botswana, Africa. (45 hp)
640. Nilsson, Sebastian, 2022: PFAS- En sammanfattning av ny forskning, med ett fokus på föroreningskällor, provtagning, analysmetoder och saneringsmetoder. (15 hp)
641. Jägfeldt, Hans, 2022: Molnens påverkan på jordens strålningsbalans och klimatsystem. (15 hp)
642. Sundberg, Melissa, 2022: Paleontologiska egenskaper och syreisotopsutveckling i borrhärnan Limhamn-2018: Kopplingar till klimatförändringar under yngre krita. (15 hp)
643. Bjermo, Tim, 2022: A re-investigation of hummocky moraine formed from ice sheet decay using geomorphological and sedimentological evidence in the Vomb area, southern Sweden. (45 hp)
644. Halvarsson, Ellinor, 2022: Structural investigation of ductile deformations across the Frontal Wedge south of Lake Vättern, southern Sweden. (45 hp)
645. Brakebusch, Linus, 2022: Record of the end-Triassic mass extinction in shallow marine carbonates: the Lorüns section (Austria). (45 hp)
646. Wahlquist, Per, 2023: Stratigraphy and palaeoenvironment of the early Jurassic volcanoclastic strata at Djupadalsmölle, central Skåne, Sweden. (45 hp)
647. Gebremedhin, G. Gebreselassie, 2023: U-Pb geochronology of brittle deformation using LA-ICP-MS imaging on calcite veins. (45 hp)
648. Mroczek, Robert, 2023: Petrography of impactites from the Dellen impact structure, Sweden. (45 hp)
649. Gunnarsson, Niklas, 2023: Upper Ordovician stratigraphy of the Stora Sutarve core (Gotland, Sweden) and an assessment of the Hirnantian Isotope Carbon Excursion (HICE) in high-resolution. (45 hp)
650. Cordes, Beatrix, 2023: Vilken ny kunskap ger aDNA-analyser om vegetationsutvecklingen i Nordeuropa under och efter Weichsel-istiden? (15 hp)
651. Bonnevier Wallstedt, Ida, 2023: Palaeocolour, skin anatomy and taphonomy of a soft-tissue ichthyosaur (Reptilia, Ichthyopterygia) from the Toarcian (Lower Jurassic) of Luxembourg. (45 hp)
652. Kryffin, Isidora, 2023: Exceptionally preserved fish eyes from the Eocene Fur Formation of Denmark – implications for palaeobiology, palaeoecology and taphonomy. (45 hp)
653. Andersson, Jacob, 2023: Nedslagskratrars inverkan på Mars yt-datering. En undersökning av Mars främsta ytdateringsmetod "Crater Counting". (15 hp)
654. Sundberg, Melissa, 2023: A study in ink – the morphology, taphonomy and phylogeny of squid-like cephalopods from the Jurassic Posidonia Shale of Germany and the first record of a loligosepiid gill. (45 hp)
655. Häggblom, Joanna, 2023: En patologisk sjöilja från silur på Gotland, Sverige. (15 hp)
656. Bergström, Tim, 2023: Hur gammal är jordens inre kärna? (15 hp)
657. Bollmark, Viveka, 2023: Ca isotope, oceanic anoxic events and the calcareous nanoplankton. (15 hp)
658. Madsen, Ariella, 2023: Polycykliska aromatiska kolväten i Hanöbuktens kustnära sediment - En sedimentologisk undersökning av vikar i närhet av pappersbruk. (15 hp)
659. Wangritthikraikul, Kannika, 2023: Holocene Environmental History of Warming Land, Northern Greenland: a study based

- on lake sediments. (45 hp)
660. Kurop, Anna, 2023: Reconstruction of the glacier dynamics and Holocene chronology of retreat of Helagsglaciären in Central Sweden. (45 hp)
 661. Frisendahl, Kajsa, 2023: Holocene environmental history of Washington Land, NW Greenland: a study based on lake sediments. (45 hp)
 662. Ryan, Cathal, 2023: Luminescence dating of the late Quaternary loess-palaeosol sequence at Velika Vrbica, Serbia. (45 hp)
 663. Lindow, Wilma, 2023: U-Pb datering av zirkon i metasediment tillhörande Stora Le-Marstrand, SV Sverige. (15 hp)
 664. Bengtsson, Kaisa, 2023: Geologisk karaktärisering av den kambriska Faludden-sandstenen i Östersjön och dess lämplighet för koldioxidlagring. (15 hp)
 665. Granbom, Johanna, 2023: Insights into simple crater formation: The Hummeln impact structure (Småland, Sweden). (45 hp)
 666. Jonsson, Axel, 2023: Datering av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, genom paleomagnetiska analysmetoder. (15 hp)
 667. Muller, Elsa, 2023: Response of foraminifera *Ammonia confertitesta* (T6) to ocean acidification, warming, and Deoxygenation An experimental approach. (45 hp)
 668. Struzynska, Patrycja, 2023: Petrography, geochemistry, and origin of deep magmatic cumulates in the Canary Islands – the xenolith record. (45 hp)
 669. Krätzer, Tobias, 2023: Artificiella torskrev i Hanöbukten: Förstudie. (15 hp)
 670. Khorshidian, Farid, 2023: 3D modelling and resistivity measurements for hydrogeological assessments in the northern part of Vombsänkan. (45 hp)
 671. Sundberg, Oskar, 2023: Methodology for Stored Heat “Heat In Place” (HIP) assessment of geothermal aquifers – Exemplified by a study of the Arnager Greensand in SW Scania. (45 hp)
 672. Haraldsson, Emil, 2023: Kan akademien hjälpa industrin utveckla mer robusta grundvattenmodeller? En studie av moderna Svenska industriframtagna grundvattenmodeller. (15 hp)
 673. Barabas, Ricky, 2024: Kan chockmetamorfos i okonventionella mineral hjälpa till att identifiera nedslagskratrar? (15 hp)
 674. Nilsson, Sebastian, 2024: The glaciotectionic evolution of Ven, Sweden: insights from a comprehensive structural, sedimentological, and geomorphological analysis. (45 hp)
 675. Brotzen, Olga M., 2024: A new Lagerstätte-like fossil assemblage from the early Silurian of Mösseberg, Sweden. (45 hp)
 676. Eng, Simon, 2024: Precursors to the South Atlantic Anomaly - Magnetic field variations in Lake Eilandvlei, South Africa. (45 hp)
 677. Husén, Simon, 2024: Structural Geological Model of the Kaunisvaara Mining District, Norrbotten, Sweden. (45 hp)
 678. Hjalmarsson, Tilda, 2024: Det underkambriska problematiska fossilet *Spatangopsis* - Vad är dess verkliga affinitet? (15 hp)
 679. Kuberna, Marcos, 2024: En litteraturstudie om klorparaffiner i grundvattnet och dess implikationer på hälsa och miljö. (15 hp)
 680. Persson, Viktor, 2024: Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid. (15 hp)
 681. Selin, Sigrid, 2024: Hur kan paleoekologiska studier hjälpa oss att bättre förstå hur de ekosystem vi anser skyddsvärda har formats och hur de bör vårdas? (15 hp)
 682. Rey, August, 2024: Isrörelser och havstransgressioner speglade i Kåsebergåsen. (15 hp)
 683. von Vultée, Anton, 2024: Babets kvarlevor - En morfologisk och sedimentologisk undersökning av överspolningssediment vid Tobisvik, Simrishamn. (15 hp)
 684. Olsson Roso, Céline, 2024: Fåglarnas ursprung och tidiga utveckling. (15 hp)
 685. Nawrocki, Bartosz, 2024: Karaktärisering av Cr-spinell i den ordoviciska Lokformationen vid Skultorps stenbrott, Billingen. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund