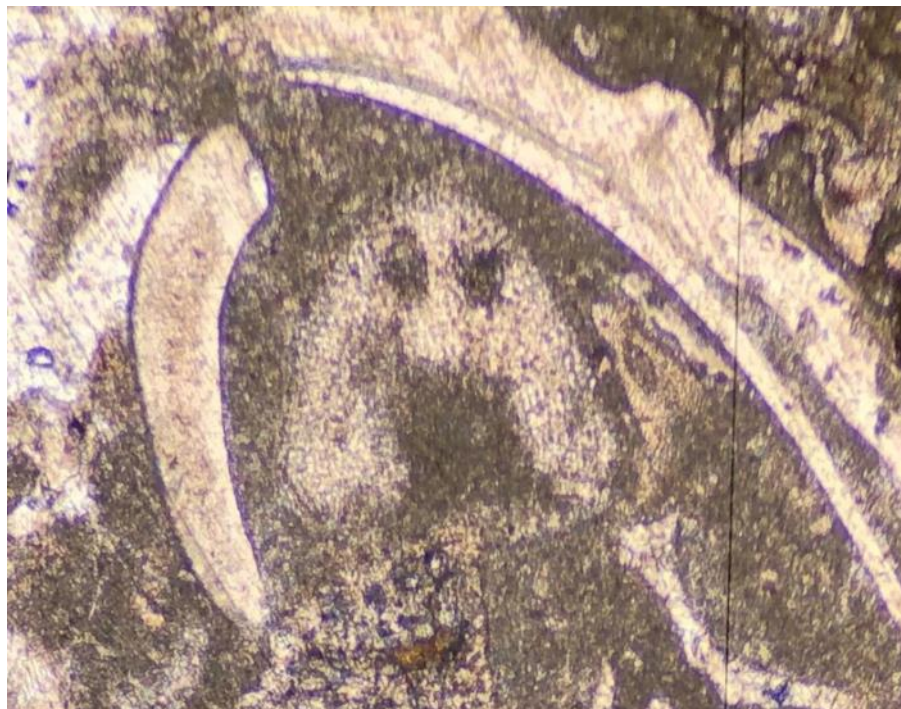


**En detaljerad undersökning av  
kalkstenslager i den mellanordoviciska  
gullhögenformationen på Billingen i  
Västergötland**

***Lovisa Gleisner***

**Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 620  
(15 hp/ECTS credits)**



**Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2021**



**En detaljerad undersökning av  
kalkstenslager i den mellanordoviciska  
gullhögenformationen på Billingen i  
Västergötland**

Kandidatarbete  
Lovisa Gleisner

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2021

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Material och metoder</b>	<b>7</b>
2.1	Litteraturstudier	7
2.2	Fältundersökningar	7
2.3	Tunnslipsundersökningar	7
<b>3</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>8</b>
3.1	Geologisk bakgrund	8
3.1.1	Gullhögens stenbrott	8
3.2	Lagerföljden i Gullhögens stenbrott	8
3.2.1	”Lannakalkstenen” och ”holenkalkstenen”, ca 20 m (regionala etagera volkhov och kunda)	8
3.2.2	”Våmbkalkstenen”, ca 0.1 m (aseri; f.d. ”vikarbykalkstenen”)	9
3.2.3	”Skövdekalkstenen”, ca 0.2 m (lasnamägi)	9
3.2.4	Gullhögenformationen, ca 12 m (uhaku)	9
3.2.5	”Rydalkstenen”, ca 9 m (uhaku)	9
3.3	Elnesformationen i Norge	9
3.4	The Great Ordovician Biodiversification Event	11
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>11</b>
4.1	Fältobservationer	11
4.2	Tunnslipstudier	11
4.2.1	GULL19-E	12
4.2.2	GULL19-X3	13
4.2.3	GULL19-X4	14
4.2.4	GULL19-X7	15
4.2.5	GULL19-X8	15
4.2.6	GULL19-X12	16
4.3	Förändringar i karbonattexturer	16
4.4	Förändringar i fauna	17
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>18</b>
5.1	Stratigrafiska trender i gullhögenformationen speglar avsättningsmiljön	18
5.2	Diagenes och geokemiska förhållanden	19
5.3	Likåldriga enheter i Sverige	20
5.3.1	Jämförelse med elnesformationen i Norge	20
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Tack</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>20</b>

**Omslagsbild:** Är det en liten goomba som tittar fram? Echinodermkorn i tunnslip (foto: Johanna Granbom).

# En detaljerad undersökning av kalkstenslager i den mellanordoviciska gullhögenformationen på Billingen i Västergötland

LOVISA GLEISNER

Gleisner, L., 2021: En detaljerad undersökning av kalkstenslager i den mellanordoviciska gullhögenformationen på Billingen i Västergötland. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 620, 21 sid. 15 hp.

Under mellanordovicium täcktes paleokontinenten Baltica av ett grundhav och i det temperade klimatet som rådde avsattes långsamt kallvattenkarbonater som kom att täcka stora delar av paleokontinenten. Idag har merparten av dessa sedimentlager eroderat bort och kalksten har endast bevarats på spridda platser i Sverige. Mellanordovicisk kalksten är väl exponerad i Gullhögens stenbrott på Billingen i Västergötland, där lagergångar av diabas som intruderat under perm skyddat lagerföljden från erosion. I stenbrottet finns en utmärkt sektion av den darriwil-åldriga gullhögenformationen, som är intressant då den med sin skifferrika facies avviker från likåldriga kalkstenar i Sverige och snarare visar större likheter med norska sedimentbergarter från denna tid (elnesformationen i Osloområdet). Studier av tunnslip ger en detaljerad bild av kalkstens mikroskopiska uppbyggnad och så kallade mikrofacies. Med hjälp av punkträkning har procenthalten av korn och kalcitisk cement kontra matrix samt faunasammansättning framställts. Det har i sin tur använts som underlag för tolkningar av bergartsegenskaper, förändringar i fauna samt lokala havsnivåvariationer genom det studerade intervallet. Resultatet visar på tydliga förändringar i både litologi och fauna stratigrafiskt uppåt genom formationen, med en övergripande trend mot deposition i successivt grundare vatten. Samtidigt ses antydning till kortare intervall där avsättningen av finkorniga sediment ersattes av grövre sediment. Avsättningsmiljön har tolkats som en lugn och relativt distal miljö i paleobassängen, med cykler av högre energi. I jämförelse med den likåldriga "furudalkalkstenen" i Dalarna tycks gullhögenformationen visa mer variationer i avsättningsmiljön. En översiktlig jämförelse med elnesformationen i Norge visar att gullhögenformationen har många likheter med norska samtida facies, men fördjupade undersökningar krävs.

**Nyckelord:** Kalksten, Ordovicium, Gullhögen, Billingen, Mikrofacies, Sverige, Elnes, GOBE

**Handledare:** Anders Lindskog & Mats E. Eriksson

**Ämnesinriktning:** Berggrundsgeologi

*Lovisa Gleisner, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.*

*E-post: [lovisa.gleisner@gmail.com](mailto:lovisa.gleisner@gmail.com)*

# A detailed study of limestone beds in the Middle Ordovician Gullhögen Formation at Billingen in Västergötland, Sweden

LOVISA GLEISNER

Gleisner, L., 2021: A detailed study of limestone beds in the Middle Ordovician Gullhögen Formation at Billingen in Västergötland, Sweden. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 620, 21 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

During the Middle Ordovician the paleocontinent Baltica was covered by an epicontinental sea, wherein cool-water carbonates were deposited. The carbonate deposits covered most of the oscandian paleobasin, but due to erosion only a small portion is preserved today. Ordovician limestone at the Gullhögen quarry, Billingen, Västergötland is preserved due to protection from overlying Permian dolerite sills. The quarry is an exceptionally fitting place to study the strata of the Gullhögen Formation (Darriwilian), which is of interest due to its lithological differences from coeval limestone throughout Sweden. The shale-rich Gullhögen Formation more resembles strata belonging to the Norwegian facies, in particular the Elnes Formation in the Oslo area. Studies of thin sections revealed a detailed picture of the microfacies of the limestone beds of the Gullhögen Formation. Point counting of grains, cement and matrix, together with calculation of the relative abundance of different groups of fossils, provided an overview of variations in the properties of the studied formation. The results reveal distinct stratigraphic variations in both lithology and fauna of the Gullhögen Formation, which show tendencies towards deposition in successively shallower environments upwards. This trend appears to be superimposed by shorter periods with deposition of coarser sediments. The depositional environment has been interpreted as a calm, rather distal, part of the paleobasin, with repeated higher-energy influence. In comparison to the "Furudal Limestone" of the same age in the Siljan region in Dalarna (central Sweden), the Gullhögen Formation seems to have record a more varied environment. A synoptic comparison with the Elnes Formation in Norway reveals many similarities, but further research is needed.

**Keywords:** Limestone, Ordovician, Gullhögen, Billingen, Micro facies, Sweden, Elnes, GOBE

**Supervisor(s):** Anders Lindskog & Mats E. Eriksson

**Subject:** Bedrock Geology

*Lovisa Gleisner, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.  
E-mail: [lovisa.gleisner@gmail.com](mailto:lovisa.gleisner@gmail.com)*

# 1 Introduktion

Under ordovicium nåddes rekordhöga havsnivåer och marina faunor genomgick en nästintill explosionsartad diversifiering (Haq & Schutter 2008). Norra Europa tillhörde paleokontinenten Baltica, som vid tidpunkten låg på södra halvklotet och täcktes av ett grundhav. Kallvattenkarbonater avsattes långsamt i det tempererade klimatet och kom att täckta stora områden (Cocks & Torsvik 2005). Idag har större delen av de ordoviciska lagren eroderat bort, men på ett fåtal platser har de bevarats och kan studeras. En av dessa platser är i Västergötland, där lagergångar av diabas har trängt fram under perm och skyddat underliggande berggrund från erosion (Lidmar-Bergström 1995, 1996; Calner et al 2013).

Under mellersta ordovicium avsattes en ca 8–12 meter mäktigt kalk- och skifferssekvens som kallas gullhögenformationen (Jaanusson 1964; Zhang 1998). Denna bergenhhet, med sin blandning av kalksten och skiffer, utgör ett udda inslag i den svenska geologin från detta tidsavsnitt, som annars domineras av relativt rena kalkstenar. I jämförelse med likåldriga lager i Sverige tycks gullhögenformationen ha större likheter med elnesformationen i Norge (e.g., Jaanusson, 1982; Calner et al. 2013). Det är därför av intresse att titta närmare på formationen och jämföra den med svenska och norska lagerföljder. Tidigare forskning kring gullhögenformationen är begränsad och endast ett fåtal studier har dokumenterat formationen i någon detalj: Jaanusson (1964) definierade och beskrev formationen översiktligt baserat på prover från Gullhögens stenbrott på Billingen samt på borrhningarna vid Norra Skagen (Kinnekulle) och Stora Åstorp (Billingen; Fig. 1).

Den här studien fokuserar på att få en bättre förståelse av hur miljön i den baltoskandiska bassängen i Billingenområdet förändrades under den darriwilliska perioden för ca 460 miljoner år sedan. Noggranna studier av bergarternas egenskaper kan avslöja detaljer om vattendjup, fauna, bottenstrat, mm., under den tidsperiod då de sediment som kom att bli gullhögenformationen avsattes.

## 2 Material och metoder

### 2.1 Litteraturstudier

Innan arbetet påbörjades insamlades en mängd relevant publicerad vetenskaplig litteratur, rörande olika aspekter av den mellanordoviciska kalkstenen i Sverige med omnejd. Det gav inte bara en fördjupad förståelse för bergartens uppbyggnad och utbredning, utan även en god inblick i forskningshistoriken och resultat som detta arbete kunde bygga vidare på.

### 2.2 Fältundersökning

Provmaterial fanns redan tillgängligt vid studiens start, men möjligheten att studera gullhögenformationen *in situ* kändes värdefull för arbetets helhet. En helg avsattes därför till en resa till Västergötland, för att på plats studera berglagren i den nedlagda delen av Gullhögens stenbrott på Billingen (Fig. 1).

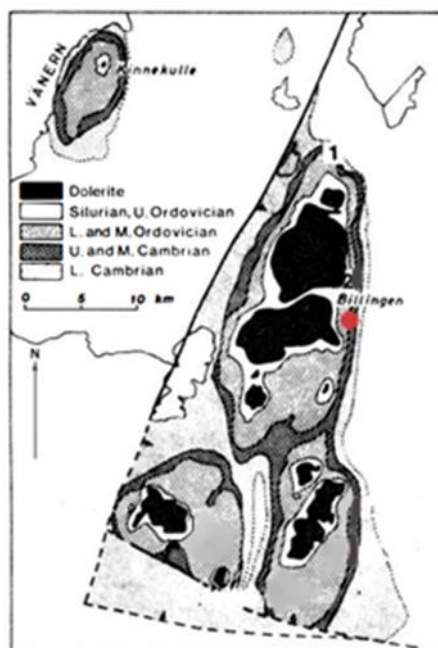


Fig. 1. Geologisk karta över platåbergområdet i Västergötland, med Billingen och Kinnekulle markerade. Gullhögens stenbrott är markerat med röd cirkel. Modifierad karta från Jaanusson (1982).

### 2.3 Tunnslipsundersökningar

Från tidigare provtagning av lagerföljden i stenbrottet har ett flertal tunnslip tillverkats. Av dessa valdes sex slip ut för analys av mikrofacies och för beskrivning av den fossila faunan. Eftersom tunnslipen ligger till grund för resultatet var det viktigt att dessa gav en så representativ bild av formationen som möjligt. Därför valdes slipen ut från olika stratigrafiska nivåer och även från övergångarna till omgivande bergenheter. Fokus lades på kalkstenslager, då dessa lämpar sig väl för tunnslipstillverkning och mikrofaciesanalys. Tunnslipen undersöktes enligt rutiner som beskrivits i detalj av Lindskog & Eriksson (2017).

För att klassificera kalkstenen användes Dunhams system för beskrivning av karbonattextur, som bygger på förhållandet mellan förekomst av korn, cement och matrix (Dunham 1962). Analyser skedde via punkträkning, där  $2 \times 300$  punkter/slip räknades i nätmönster som lagts över högupplösta fotografier (2400 dpi) av tunnslipen. Varje gång korn eller cement hamnade i ett av nätets kryss gjordes en markering; om enbart en del av ett korn hamnade i krysset räknades detta som 0,5 korn (så, när två ”halv-markeringar” noterats räknades de som ett korn). Resultaten fördes in i en Microsoft Excel-fil, där procentförhållandena mellan korn, cement och matrix beräknades för att understödja klassificeringen av karbonattexturer.

Vidare undersöktes fossilsammansättningen i varje slip i mikroskop, systematiskt via punkträkning. Majoriteten av fossilinnehållet kan klassas som mikrofossil eller fragment av makrofossil. Kornen identifierades, räknades och grupperades i åtta kategorier: trilobiter, echinodermer, gastropoder, mollusker (annat än gastropoder), ostracoder, brachiopoder, övrigt och oidentifierbart. Kategorin övrigt innefattar korn som inte kunde sorteras in i andra kategorier. Dessa samt oidentifierbara korn fotograferades emellertid och be-

dömdes med hjälp av handledare innan slutgiltig kategorisering. I varje slip kategoriserades 300 korn enligt grupperna ovan och över varierande sliparea beroende på kornfördelning i individuella slip. I de slip med en rikare förekomst av korn undersöktes en mindre area då 300 punkter uppnåddes snabbare än i de med lägre kornförekomst. För varje slip valdes en minsta kornstorleksgräns ut, där korn som föll under gränsen ej räknades. Eftersom bevaringskvaliteten och kornstorleksfördelningen såg olika ut för varje slip varierade den minsta korngränsen, men överlag låg den omkring 50–100 µm; det är oundvikligt att vissa kategorier är lättare än andra att identifiera i mindre kornstorlekar. En punkträkningsmaskin (Swift) användes för att beakta räkningen. Ytterligare 300 punkter räknades av huvudhandledaren för kontroll och maximerad datainsamling.

## 3 Bakgrund

### 3.1 Geologisk bakgrund

Under ordovicium bredde stora grundhav ut sig över jordens yta, havsnivåerna hade stigit sedan slutet av kambrium och nådde exceptionellt höga nivåer, speciellt under tidig-mellersta ordovicium (Haq & Schutter 2008). Norra delarna av Europa tillhörde paleokontinenten Baltica, som befann sig på medelhöga latituder söder om Ekvatorn. Under ordovicium rörde sig kontinenten mot Ekvatorn, vilket resulterade i att det regionala klimatet skiftade med en generell temperaturökning (Cocks & Torsvik 2005).

På Baltica bredde grundhavet ut sig över det subkambriskas penneplanet, vilket resulterade i extremt låga reliefer i landskapet (Lindström 1971). Sedimenten som avsattes bestod i varierande proportioner av karbonater och siliciklastiska komponenter (Nielsen 2011). En generell avsaknad av terräng ovanför vattenytan resulterade i begränsad tillförsel av terrigt material och ackumulation av sediment kännetecknas därför av extremt låga hastigheter; sedimentlagerföljderna som avsattes var typiskt tunna och mycket kondenserande (Cocks & Torsvik 2005). Mot slutet av mellersta ordovicium var klimatet tempererat och kallvattenkarbonater avsattes i haven, i motsats till de siliciklastiska sediment (sandsten, skiffer, lersten) som dominerande under kambrium (Lindström 1971).

Kallvattenkarbonaterna som avsattes täckte stora delar av norra Europa och idag finns de bevarade på ett fåtal platser där de av olika anledningar skyddats från erosion. En av de platser där ordovicisk kalksten är bevarad är i de så kallade platåbergen i Västergötland (Fig. 2). Under miljontals år avsattes en ansenlig mängd yngre sedimentära bergarter ovanpå den ordoviciska kalkstenen men idag slutar den regionala lagerföljden i silur (Jaanusson 1982). Under perm pågick det tektonisk aktivitet som resulterade i att diabas trängde upp och avsattes i horisontella lager i den sedimentära lagerföljden (Calner et al. 2013). De lager från devon och karbon som sannolikt låg ovanför nivån med diabas kom att eroderas bort, medan den relativt hårda och vittringsbeständiga diabasen skyddade lagren under.

### 3.1.1 Gullhögens stenbrott

En av de platser man bäst kan studera den mellan ordoviciska kalkstenen är i Gullhögens stenbrott på Billingen, där kalksten brutits för framställning av cement sedan 1923 (Platåbergens Geopark u.å).

Tidigare gick stenbrottet ned i den kambriskas lagerföljden, men lagren som blottas idag innefattar under- till överordoviciska lager om totalt ca 25 m (jfr. Jaanusson 1964; A. Lindskog, pers. komm.) Området ger möjlighet att studera mellersta ordovicium nästintill i sin helhet. Dock är den lokala mellanordoviciska kalkstenen överlag dåligt undersökt sett ur sedimentologiska perspektiv.

Tidigare forskning utgår främst från arbeten av Jaanusson (e.g., 1964, 1982), vilka baserades på borrhningar och fältundersökningar vid Billingen och Kinnekulle. Överlag skiftar bergarterna i området mellan lersten och finkornig kalksten, i grå till blekröda färger med inslag av mörkare röda partier (Jaanusson 1964).

### 3.2 Lagerföljden i Gullhögens stenbrott

Kalkstenformationerna som blottas i Gullhögens stenbrott beskrivs nedan i stratigrafiskt stigande följd. Beskrivningen har begränsats till gullhögenformationen samt under- och ovanliggande formationer som har ansetts relevanta för studien.

Många av namnen börjar med gemener och skrivs inom citationstecken, det beror att de så kallade topostratigrafiska enheterna inte är formellt definierade.

#### 3.2.1 "Lannakalkstenen" och "holenkalkstenen", ca 20 m (regionala etagera volkhov och kunda)

"Lannakalkstenen" och "holenkalkstenen" skiljer sig något från de överliggande kalkstenarna i stenbrottet; de tillhör den delen av stratigrafin som kallas "ortoceratitkalksten", då cephalopodskal är vanligt förekommande (e.g., Eriksson & Lindskog 2017, och referenser däri).

"Lannakalkstenen" är vid Billingen överlag ljust grå medan "holenkalkstenen" mest går i rödare nyanser, med undantag för ett ca 1 m tjockt grå-blå-grönt parti som traditionellt kallas "blåstenen" eller "täljstenen" (Munthe et al. 1928).

Litologin består av en varierande fin- till grovkornig kalksten (Lindskog & Eriksson 2017). Avsättningsmiljön har något generaliserat tolkats som en relativt lugn miljö ute på en flack karbonatramp. Sedimentationen var långsam och stabil över längre tidsperioder, men cykliska förändringar i miljön ledde tidvis till snabbare avsättning av grövre sediment. Cykliska mönster förekommer även i faunasammansättningen, där förekomsten av främst trilobiter och echinodermer fluktuerar, liksom karbonattexturer (Lindskog & Eriksson 2017). Helhetsbilden indikerar att ökad kornförekomst samt en mer divers/rik fauna (typiskt dominerad av echinodermer) signalerar grundare vatten, medan en lägre förekomst av korn och dominerande trilobitfauna tyder på djupare vatten (Lindskog & Eriksson 2017).





Fig. 2. Karta över ordoviciska lagerföljder (grön markering) i Sverige och dess geografiska omgivning. Platåberget Billingen är markerat. Karta modifierad från Eriksson & Lindskog (2017), med tillåtelse från författarna.

### 3.2.2 "Våmbkalkstenen", ca 0.1 m (aseri; f.d. "vikarbykalkstenen")

Denna enhet uppvisar ungefär som ovanliggande "skövdekalksten" förekomst av kalksten med varierade inslag av mudstone (se nedan). Färgen skiftar mellan röd och grå. I kalkstenen har förekomst av ooider dokumenterats. Vid Kinnekulle, 30 km mot nordväst, saknas den här "formationen" helt. I stället existerar en slät diskontinuitetsyta (Jaanusson 1982; Holmer 1983; Lindskog 2014).

### 3.2.3 "Skövdekalkstenen", ca 0.2 m (lasnamägi)

"Skövdekalkstenen" uppvisar samma litologi som den regionalt korrelerbara "folkeslundakalkstenen" och består av en lagrad kalksten med inslag av lersten. Färgen skiftar mellan röd och grå och enheten omges av två diskontinuitetsytor (Jaanusson 1982). Kontaktytan mot ovanliggande gullhögenformationen är ställvis skarp (Fig. 4B) och diskontinuitetsytan mot underliggande "våmbkalkstenen" innehåller mönster som har tolkats som lersprickor. Lersprickorna kan innebära att området någon gång under avsättningen av kalkstenen upplevt en regression som lett till att ytan torrlagts (Jaanusson 1982; Holmer 1983).

### 3.2.4 Gullhögenformationen, ca 12 m (uhaku)

Jaanusson (1964) klassificerade gullhögenformationen som en mörk kalkhaltig lersten till finkornig kalksten, med cyklisk variation genom formationen där förekomsten av lersten och renare kalksten varierar repetitivt; varje cykel börjar med lersten med få noder av kalksten och inslaget av noder ökar därefter uppåt tills stenen består av en finkornig kalksten (Fig. 3; Jaanusson 1982). En skarp övergång i litologi syns

typiskt där nästa "cykel" påbörjas. Färgen skiftar mellan grå och rödgrå, men en del intervall har tydligare inslag av rödare partier (Fig. 4A). Enheten kallades förr för "leversten". Järnooider förekommer i nedre delen av formationen. (Fig. 4).

Trilobiter dominerar bland makrofaunan i formationen, som allmänt uppvisar begränsad fossilförekomst (Jaanusson 1982).

Gullhögenformationen är tydligt litologiskt olik likåldriga kalkstenar i Sverige och Jaanusson (1982) påpekade att den snarare liknar berglager som finns i Oslotrakten (se nedan). Även faunan är mycket lik den i Norge, där trilobiterna *Ogygiocaris sarsi* och *Trinucleus foveolatus* är nämnbara element. Jaanusson (1982) menade att gullhögenformationen tillhör ett faciesbälte som tillfälligt gick in som en "tunga" i Sverige.

### 3.2.5 "Rydkalkstenen", ca 9 m (uhaku)

"Rydkalkstenen" består av lersten med noder av finkornig kalksten. Färgen domineras av en grå färg med inslag av röda partier, främst i de lägre delarna av formationen (Jaanusson 1964, 1982). Förekomsten av makrofossil är låg och formationen är praktiskt taget litologiskt identisk med "furudalkalkstenen" som förekommer i andra delar av Sverige. "Rydkalkstenen" motsvarar dock endast en del av det tidsintervall som "furudalkalkstenen" spänner över (Jaanusson 1982).

## 3.3 Elnesformationen i Norge

Elnesformationen innefattar en lagerföljd som avsattes i Oslotrakten under samma tidsperiod som gullhögenformationen. Enheten beskrivs som en mörkt grå lersten med inslag av mörk grå lersten och har bevarats i området tack vare den kaledoniska orogesen, som ledde till

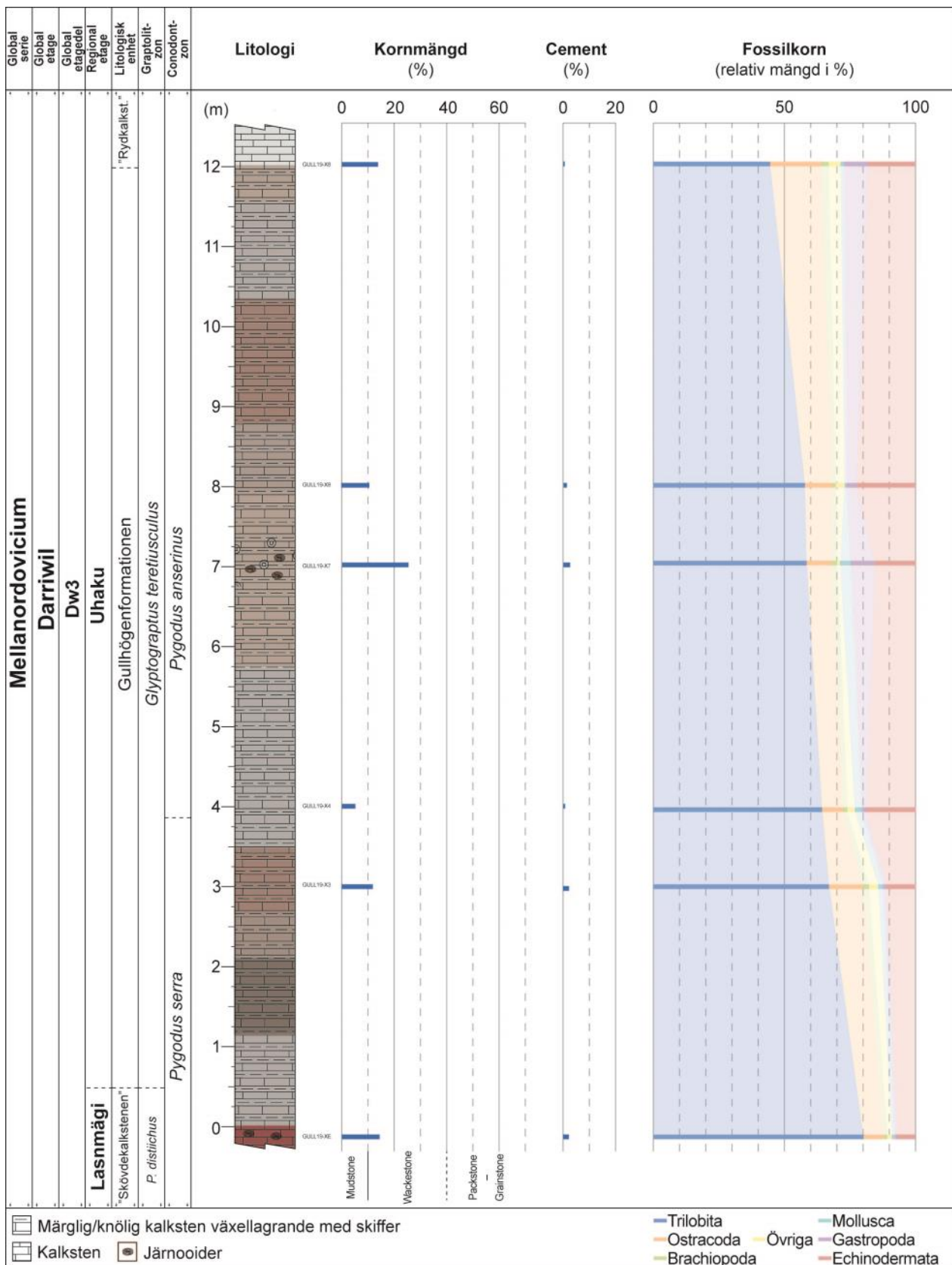


Fig. 3. Variationer i litologi, kornmängd, cement samt fauna genom gullhögenformationen. Baserad på studier av tunnslip från Gullhögens stenbrott vid Billingen. Biostratigrafi efter Zhang (1998).

överskjutning av sedimentära berglager i området (Hansen et al. 2011). Med en total mäktighet på ca 30–85 m är elnesformationen relativt expanderad i jämförelse med de flesta likåldriga bergenheter i Sverige.

Elnesformationen har även en högre andel siliciklastiskt material än likåldriga kalkstenar regionalt, vilket förmodligen beror på att den avsattes i ett område med mer tydliga topografiska variationer och därmed ökad tillförsel av terrigent material (Hansen et al. 2011). Avsättningsmiljön antas vara i en stormdominerad distal del av det kaledoniska randtråget (en förlandsbassäng), med ett vattendjup mellan ca 50 och 200 meter. Formationen tycks ha gått igenom pulser av subsidens vilket genererade turbiditströmmar och avsättning av turbiditer, som förekommer frekvent genom formationen. Havsnivåförändringarna i bildningsområdet tycks ha gått emot den globala trenden, vilket kan ha berott på den inledande tektoniska förändringen i området som inledde den kaledoniska orogenesisen.

### 3.4 The Great Ordovician Biodiversification Event

The Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE) innefattar en tid då marint liv diversifierades kraftigt (Harper 2006; Servais & Harper 2018). Innan ordovicium utgjordes den marina faunan främst av bottenlevande organismer i närhet till kusterna, medan resterande delar av de marina habitaterna var mer eller mindre tomma. Fenomenet GOBE innebar att de fylum som uppstått strax före eller under kambrium började utveckla mängder av nya organismer vid lägre taxonomiska nivåer. Detta ledde i sin tur till att nya habitat uppstod genom hela vattenkolumner och ut på öppnare vatten. Tidsintervallet som innefattar GOBE spänner över ca 30 miljoner år (Harper 2006) Det tycks ha skett en stegvis utveckling; diversifiering skedde först bland planktiska organismer, följt av bottenlevande organismer, och senare revbildare (Servais & Harper 2018).

Vilken eller vilka faktorer som orsakade GOBE är inte helt klarlagt, men olika hypoteser har presenterats, bland annat tektoniska förändringar och höga havsnivåer, vilka ledde till expansion av grundhavsområden, syre-”events” och ökad näring i vattnet, samt en ökning av planktonisk fauna med därtill ökad näring för andra organismer (Servais & Harper 2018).

I anslutning till GOBE skedde även så kallade Biotic Immigration Events (BIME). Den stora utbredningen av grundhav ledde till att många kontinenter låg isolerade. Under tiden utvecklades endemiska faunor och när kontinenterna sedan närmade sig varandra spreds endemiska taxa till nya områden (Servais & Harper 2018).

## 4 Resultat

### 4.1 Fältobservationer

Den blottade delen av gullhögenformationen som är exponerad i den nedlagda delen av Gullhögens stenbrott har en mäktighet på ca 12 meter. En skarp kontakt utgör övergången från den underliggande bergenheter (Fig 5B). Det var däremot svårare att avgöra hur övergången till den överliggande ”rydkalkstenen” ser ut på grund av svår terräng. Övergången beskrevs dock

som makroskopiskt otydlig av Jaanusson (1964). Den understa ”skövdekalkstenen” har en tydlig röd och homogen färg med 1–3 dm kompakt lagring. Den skarpa kontakten uppåt utgörs av ett ca 10 cm tunt lager med grå, lerig kalksten. Detta tunna lager var betydligt mer vittrat än resterande/omgivande kalksten, vilket hjälper till att framhäva litologiska avgränsningar.

Gullhögenformationen har i kontrast till de brunröda och röda närmast underliggande enheterna en genomgående grå färg med inslag av röda noder (Fig. 4A). Formationen utgörs av decimeter-tjocka lager bestående av en finkornig kalksten med lerigt, nästan slammigt utseende, åtskilda av skifferaktiga intervall. I den översta delen av formationen, ca 10–11 m från basen, finns ett intervall med ovanligt fossilrik kalksten, innehållande relativt välbevarade trilobiter. På grund av rasrisk kunde den här delen av skärningen ej studeras mer ingående, varför fossil fick insamlas från lösa block i rasbranten. Flera artikulera exemplar av släktena *Iliaenus* och *Nileus* hittades vid formationen (Fig. 4C).

### 4.2 Tunnslipsstudier

Alla tunnslip domineras av ett finkornigt matrix. I förhållande till förekomsten av matrix är kornförekomsten överlag låg, men varierar något mellan slipen; de tydligaste skillnaderna gentemot övriga slip finns i GULL19-X4 och GULL19-X7. Uppåt i lagerföljden minskar mängden korn, för att sedan öka igen. Således börjar och slutar gullhögenformationen med liknande kornhalter (Fig. 3).

Andelen cement var liten i alla slip, men en viss minskning kan urskiljas från lägre till övre delen av formationen. Cement förekommer oftast i form av grävgångsfyllningar. Förekomsten av de cementfyllda grävgångarna minskar tydligt uppåt genom formationen. Alla prover är väl bioturberade och många slip innehåller flera generationer av grävgångar (Fig. 5A). Bioturbationen har tydligt påverkat omgivande sediment; kornens riktning har förändrats och vissa fenomen kan liknas vid en snöbollseffekt. Vissa slip innehåller upplösningssömmar, vilka representerar siliciklastiskt material som ej lösts upp under diagenes, och förekomsten indikerar att kalkstenen överlag är ”oren”.

Storleken på korn uppvisar ingen tydlig trend genom formationen. Bevaringen av korn varierar dock något mellan slip, med en viss tendens till att slip med finare karbonattexturer har bättre bevaringskvalitet. Korn är överlag sämre bevarade och har mer upplösningssfenomen (”korrosion”) ju högre upp i formationen man går. Många korn är påverkade av borrarande mikroorganismer, vilket har lett till att hematit har kunnat tränga in i och impregnera kornen. Hematitförekomsten kan inte kopplas till någon särskild trend, då förekomsten varierar mellan slip. Omkristallisering av aragonitskal förekommer i alla slip, men effekten är av varierande tydlighet.

Järnooider samt ooidliknande järn(oxid)-rika strukturer hittas i formationen. Välutvecklade ooider hittas dock endast i slipen GULL19-E (sparsamt) och GULL19-X7 (rikligt); ooiderna är typiskt avlånga och tydligt avrundade (Fig. 8A). Färgen hos ooiderna varierar mellan mörkt brun och roströda och tydlig laminering kan sällan ses. Synliga kärnor (typiskt skalkorn)

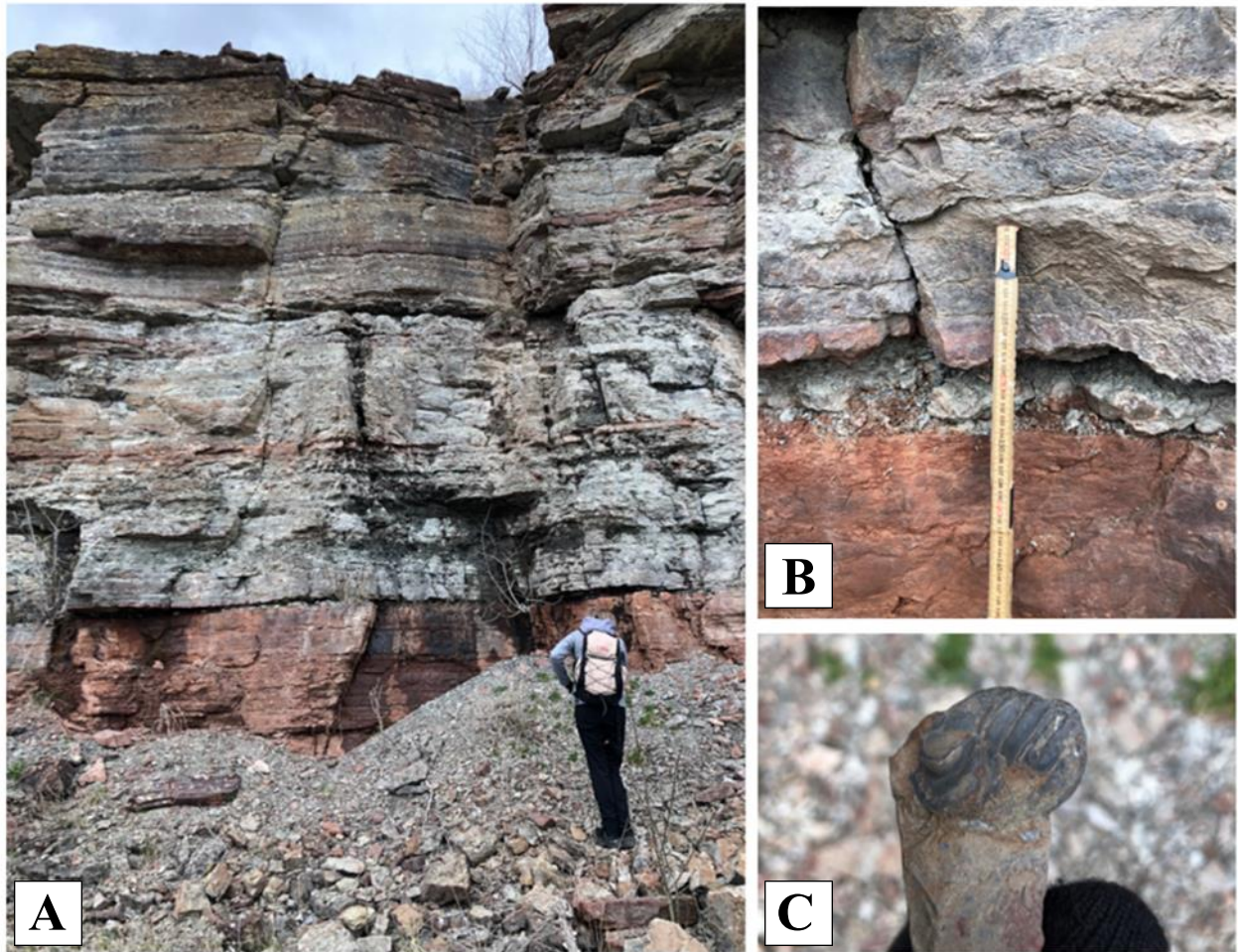


Fig. 4. Bilder tagna i fält vid södra delen av Gullhögens stenbrott. A. Bild på hela gullhögeformationen samt underliggande enheter, vilka är betydligt rödare till färgen (foto: Johanna Granbom). Notera tunnare lagren med rödare kalksten i gullhögeformationen. Personen på bilden är 175 cm lång. B. Övergången mellan "skövdekalkstenen" och gullhögeformationen med diskontinuitetsytor. C. Välbevarat exemplar av släktet *Nileus*, från den övre delen av gullhögeformationen. Storleken är ca 3 × 2 cm.

förekommer inuti vissa av ooiderna.

Järnrika strukturer i GULL19-E och GULL19-X3 (se nedan) avviker markant från de välutvecklade ooiderna i X7 (Fig. 6B), då de varierar mer i storlek och strukturen är typiskt blomkålslik. Färgen skiftar mellan svart till ljusare nyanser av orange och grön i polariserat ljus. Många av dessa bildningar är tydligt laminerade, och yttre delen är typiskt mörkare än den inre delen. Till viss del påminner de om onkoid- och stromatolitlika strukturer som bland annat beskrivits av Holmer (1983) och Lindskog (2014), men har uppenbart bildats efter avsättning av det omgivande sedimentet.

Kalkstenslagren i gullhögeformationen kan generellt klassificeras som en finkornig grå-röd wackestone. I formationen finns interna skillnader såsom förekomst av lerigare partier (mudstone) och packstone. En tendens till cyklisk variation mellan lersten och mer mörk kalksten kan anas (Fig. 3). Se nedan för mer ingående beskrivningar av varje individuellt tunnslip.

#### 4.2.1 GULL19-E

Tunnslipet hör till "skövdekalkstenen" och har en ge-

nomgående rödbrunrostig färg. Redan vid en första anblick ser man en tydlig skillnad mellan övre och undre delen av tunnslipet; medan undre delen är mer homogen, har överdelen mer skiftande och "kaotisk" karaktär. Vidare utgörs matrix i slipets undre del av finkornigt och homogent mikritlikt slam. Det övergår uppåt till ett grovkornigare matrix där det löper ett stråk av avvikande sediment. Hematit förekommer i hela slipet men har större koncentration i de övre delarna. Förekomsten av cement ökar uppåt i slipet och förekommer främst som fyllnad i grävgångar (Fig. 5A). Även förändringar i porositet förekommer, från låg (praktiskt taget ingen) porositet i den nedre delen av slipet till något högre i de övre delarna, med förekomst av en del hålrum som ställvis är omgivna av hematit (Fig. 5B). Kalcitfyllda sprickor förekommer i den nedre delen av slipet (Fig. 5C). Interklaster förekommer i slipet, främst i dess överdel (Fig. 5E).

Järnooider, överlag ganska dåligt bevarade, förekommer sparsamt.

Kornfördelningen är innersgraderad; färre (och mindre) korn hittas i den nedre delen av slipet, men ökar markant uppåt. Ett band av relativt stora (upp till 5 mm) korn löper tvärs över slipet. Många korn är

fragmenterade och hematitinfärgade; hematit är ofta koncentrerat i gångar bildade av mikroorganismer (Fig. 5D). Fragmenterade korn är tydligast i den övre delen av slipet. Ett fåtal korn tycks vara omkristalliserade. Texturellt går kalkstenen från matrixstödd till klasterstödd. Punkträkning visade att andelen korn i slipet som helhet uppgår till 14,4%, cement 2,2% (resten matrix). Enligt Dunhams (1962) klassifikationssystem är detta en wackestone som övergår uppåt till en packstone. Förekomsten av trilobitfragment är så pass slående att "trilobitrik" skulle kunna användas som kompletterande benämning.

*Avsättningsmiljö och diagenes:* Faunan domineras av trilobiter, vilket tyder på relativt djupa vattenförhållanden (Eriksson & Lindskog 2017, och referenser däri). Den skarpa övergången som observeras uppåt i tunnslipet tyder på en puls av sedimentinförsel i en annars relativt stabil miljö.

Förekomsten av hematit är förmodligen diagenetisk där järnet ursprungligen kommer från ombildning av järnrika mineral. Hög grad av oxidering i de övre delarna tyder på att vatten har flödat igenom sedimentet efter dess ursprungliga bildning. Många korn uppvisar spår och gångar efter borrhande organismer, vilket tyder på att de har legat blottade en längre tid på botten så att mikrober eller alger har haft chans att på-

verka dem; många hematitinfärgade korn har troligtvis först blivit genomborrade av mikroorganismer och sedan har hematit trängt sig in i håligheterna. Större grävgångar är fyllda av cement vilket tyder på att litifiering och substratstabilisering har skett innan överlagring. Det grovkorniga matrixet och förekomsten av intraklaster tyder på tidvis relativt hög vattenenergi i avsättningsmiljön. Bildning av hålrum (kvarvarande porositet) indikerar grundvattenpåverkan, sannolikt i ett sent skede.

#### 4.2.2 GULL19-X3

Tunnslipet har en röd-gråaktig färg som är genomgående för hela slipet, med undantag för ett väl avgränsat parti med jämnt grå färg. Slipet innehåller ett finkornigt matrix som ser en aning slammigare ut i den sistnämnda grå delen. Förekomsten av hematit är riklig genom hela slipet, och hematit löper som en koncentrerad "söm" utanpå den grå delen men förekommer inte inuti denna (Fig. 6A). Slipet har en låg (obetydlig) porositet.

Trådliknande sprickfyllnader med kalcit förekommer i hela slipet. I större delen av provytan hittas blomkålsliknande strukturer bestående av hematit, samt ett fåtal ooid-/onkoidliknande korn (Fig. 6B). Två kluster av vita utfällningar med gipsliknande kalcitnålar syns i slipet (Fig. 6D).

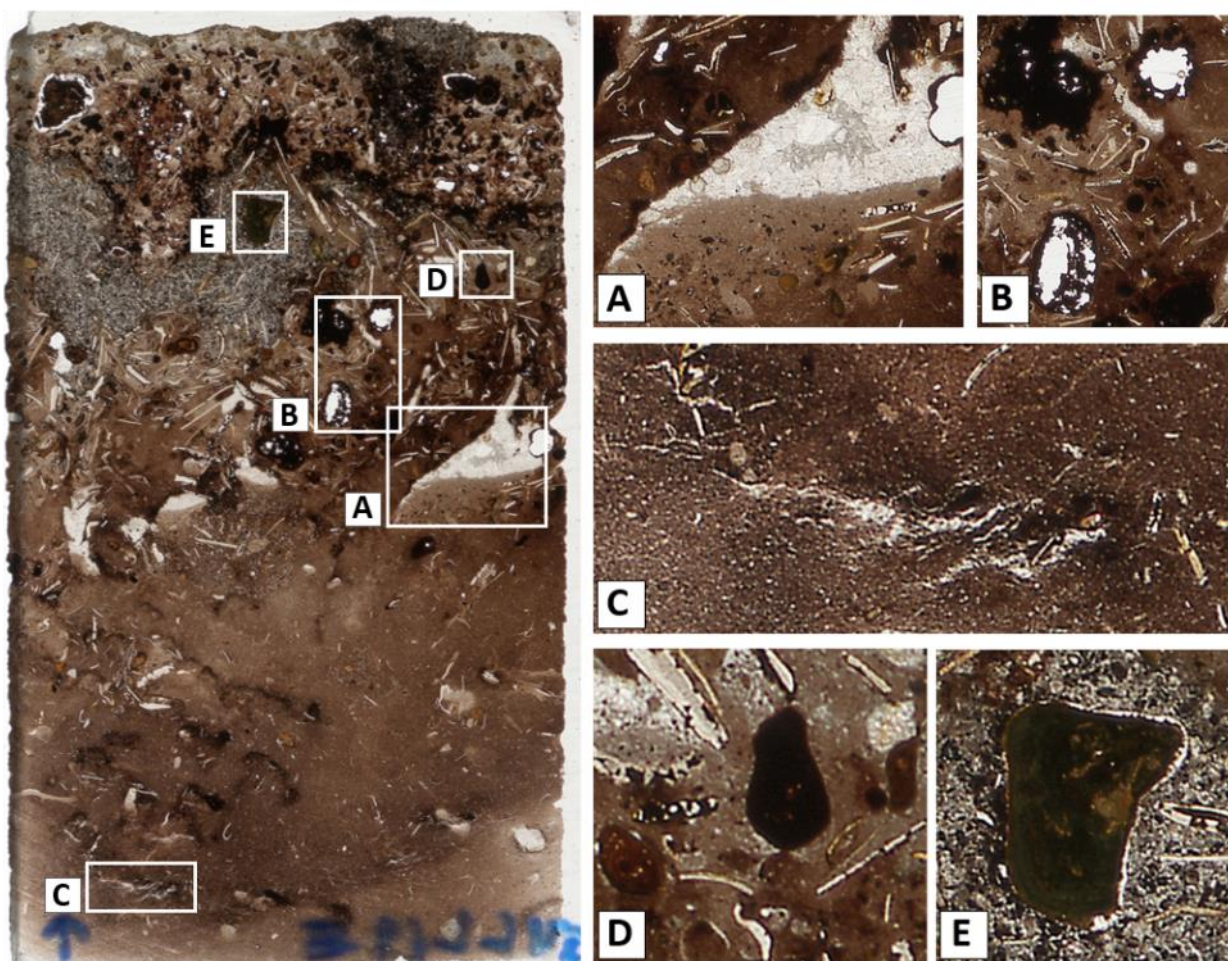


Fig. 5. Tunnslip GULL19-E. Vita markeringar indikerar inzoomade delar. A. grävgång som under diagenetisk påverkan fällt ut cement i övre delen. B. Hematitpåverkade hålrum indikerar hög porositet i slipet. C. Kalcitfyllda sprickor i mjukare sediment. D. Dåligt bevarade ooider och omgivande hematitpåverkade klaster. E. Intraklast omgiven av grovkornigare matrix.

Förekomsten av korn är lägre i den grå delen än i resterande delar av slipet. I övrigt är det ett relativt homogent prov med antydan till inversgradering. Korn tenderar att förekomma i kluster på vissa ställen. Kornstorlek varierar och närapå horisontell orientering dominerar.

Bevaringskvaliteten är överlag dålig och många skal är fragmenterade och/eller omkristalliserade. En del skal, främst större, är påverkade av mikrobioerosion och hematitinfärgning (Fig. 6C). Kornen i den grå delen är mindre påverkade av nyss nämnda egenskaper än i resterande delar av slipet.

Kalkstenen innehåller 11,9% korn, 2,3% cement, sedimentet är överlag uppenbart matrixstött. Kalkstenen klassificeras som en wackestone enligt Dunham (1962).

*Avsättningsmiljö och diagenes:* Varierande avsättningsmiljö, till synes både med relativt låg respektive hög vattenenergi vid havsbotten. Den rikliga förekomsten av trilobiter tyder på en överlag djupare miljö. Den grå delen ser ut att ha bildats senare än omgivande sediment, sannolikt är det en grävgång i relativt mjukt sediment. Flera generationer av senare bildade grävgångar har sedan bildats i den grå delen då sedimentet varit relativt hårt; vatten har flödat i håligheter kring grävgången och hematit har fällts ut. De

flesta mikroborrhålen i korn befinner sig på de övre delarna och är mestadels riktade nedåt. Detta antyder att kornen har varit exponerade på botten under en längre tid samt att de har befunnit sig i eller nära den fotiska zonen (Lindskog 2014). Miljön kan överlag ha varit en lugnare subtidal miljö, men med varierande energi. Sedimentationstakten kan eventuellt ha varit avtagande uppåt, med resulterande kondensation.

#### 4.2.3 GULL19-X4

Tunnslipet har en grå färg som skiftar mot ljusare rött i den övre delen. Finkornigt matrix förekommer genomgående. Ett fåtal grävgångar förekommer, majoriteten är cementfyllda. Trådlika sprickor med cement förekommer rikligt, dock mer sällan i grå delar av slipet. En svagt utvecklad, mer eller mindre horisontell upplösningssöm syns i mitten av slipet (Fig. 7A). Hematit förekommer klusterartat, med ökande förekomst uppåt.

Kornmängden är låg igenom hela slipet, men en svag antydan till inversgradering finns. Vissa delar av slipet har mycket få, nästan inga, korn. Kornstorleken varierar något, men domineras av mindre kornstorlekar (<1 mm). En antydan till dominerande horisontell riktning finns bland kornen, särskilt hos de som befinner sig vid hematitrika områden, vilka också verkar vara relaterade till större kornstorlek och kluster.

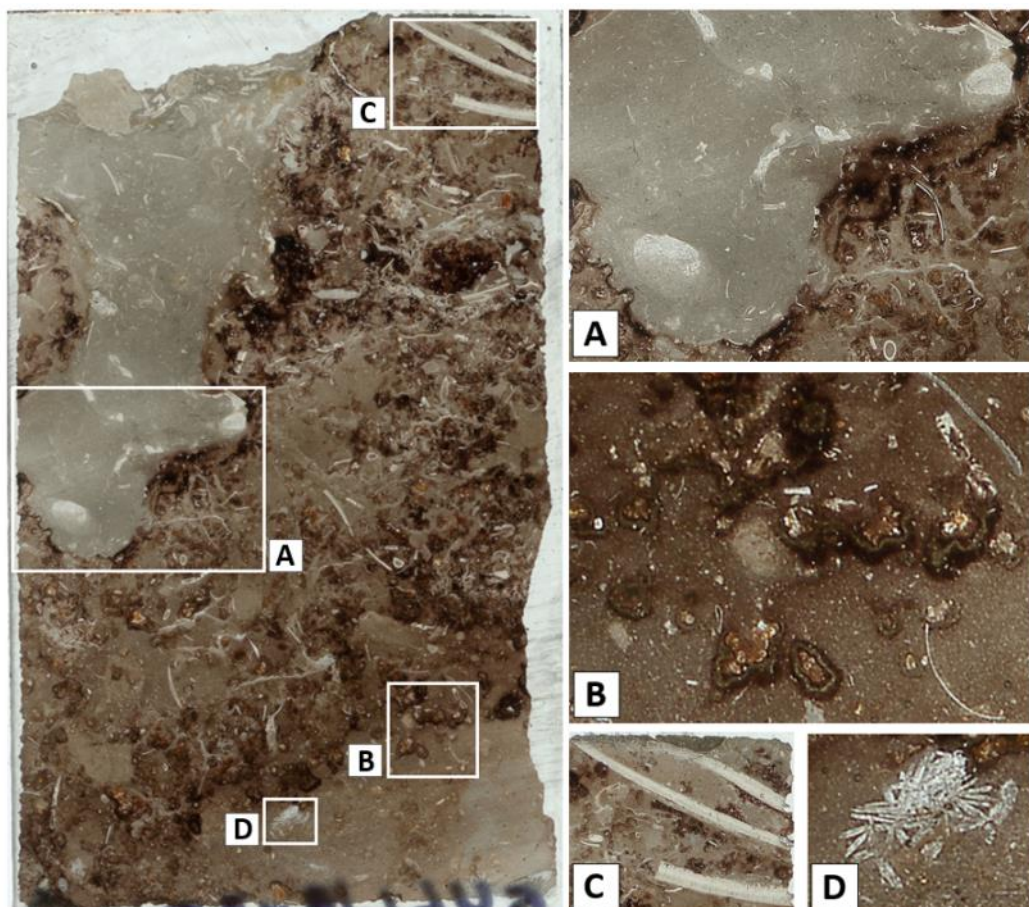


Fig. 6. Tunnslipe GULL19-X3. Vita markeringar indikerar in-zoomade delar. **A.** Flera generationer grävgångar där den grå delen representerar första generationen. Ljusare partier inuti representerar andra generationens grävgångar. Notera hematitsömmarna runt grävgången. **B.** Laminerade ooid/onkoidliknande korn bestående av järn. **C.** Hematitpåverkade trilobitkorn med vertikala borrhåll. **D.** Kluster av utfälda kalcitnålar.

Bevaringskvaliteten i slipet är bättre än i föregående prover; förekomsten av fragmenterade och avrundade korn har minskat. En relativt stor mängd korn är omkristalliserade, främst echinodermer. De korn som befinner sig vid hematiten är impregnerade av hematit (Fig. 7B).

Kalkstenen innehåller som helhet av 5,1% korn och 0,7% cement. Baserat på Dunhams (1962) klassifikationssystem är det en mudstone.

*Avsättningsmiljö och diagenes:* Mudstone tyder på att miljön var relativt lugn sett till vattenrörelser. Kornen som avsatts har bättre bevaring än tidigare slip. Minskad påverkan av borrarande organismer på skalen kan både innebära att skalen överlagrats i en snabbare hastighet eller att vattendjupet ökade, vilket resulterade i förändrande energi-, ljusförhållanden, mm. Sedimentet har genomgått relativt hög kompaktion under diagenes, vilket resulterat i låg porositet och upplösnings-sömmar.

#### 4.2.4 GULL19-X7

Detta tunnslip avviker markant från föregående både i utseende och innehåll. Tunnslipet har en gråbrun färg som skiftar mer till grått i den nedre delen av slipet. Matrixet är genomgående finkornigt och långa cementfyllda grävgångar sprickor genomlöper detta (Fig. 8B). Det mest iögonfallande är den rikliga förekomsten av järnooider av varierande storlekar (Fig. 8A). Det förekommer synliga kärnor (typiskt skelettkorn) inuti vissa av ooiderna. De har överlag en relativt jämn utspridning över provytan, men flera är samlade i ett band som går tvärsöver mitten av slipet. Ett flertal sediment- och kalcitfyllda grävgångar hittas i slipet med homogen utspridning.

Slipet har en hög andel korn med varierande kornstorlekar, där de mindre storlekarna (<1 mm) domine-

rar. Storlekar på kornen är mindre i de grå delarna. Riktningen hos kornen tycks följa en diagonal riktning. Bevaringskvaliteten är relativt dålig, då många av kornen är fragmenterade och avrundade. Många av de större kornen är omkristalliserade; en relativt stor andel är upplösta och förekommer nu i form av "spöken", dvs. områden med matrix-lik material som formats efter tidigare förekommande korn (Fig. 8C; jmf. Lindskog et al. 2015).

Kalkstenen är till största delen tydligt matrixstödd. Punkräkning påvisade att halten korn uppgick till 25,3%, cement 2,5%. Enligt Dunhams (1962) klassifikationssystem klassas den som en wackestone med inslag av packstone. Förekomsten av järnooider är så pass hög att "oidrik" skulle kunna läggas till.

*Avsättningsmiljö och diagenes:* Förekomsten av ooider i tunnslipet tyder på en grundare miljö med högre energi (Sturesson 1992). Förekomsten av sämre sorterade korn samt den dåliga bevaringskvaliteten, styrker detta. Det är noterbart att en ökad mängd skelettkorn är upplösta och "smälter in" i matrixet, de är därför svårare att urskilja än resterande korn. Det kan vara tecken på att miljön under diagenes har varit surare än förut och skalen lösts upp. Väldefinierade cementfyllda grävgångar tyder på att substratet var relativt väl litifierat innan det överlagrades. Kalkstenen kan ha avsatts i en miljö där en plötslig förändring ledde till avsättning av en ökad mängd sediment. En sådan förändring skulle exempelvis kunna handla om en storm eller liknande fenomen. Alternativt är kornmängderna en effekt av kondensation.

#### 4.2.5 5 GULL19-X8

Tunnslipet har en rödbrungrå färg med inslag av ljusgråare delar. Matrixet är genomgående finkornigt, de

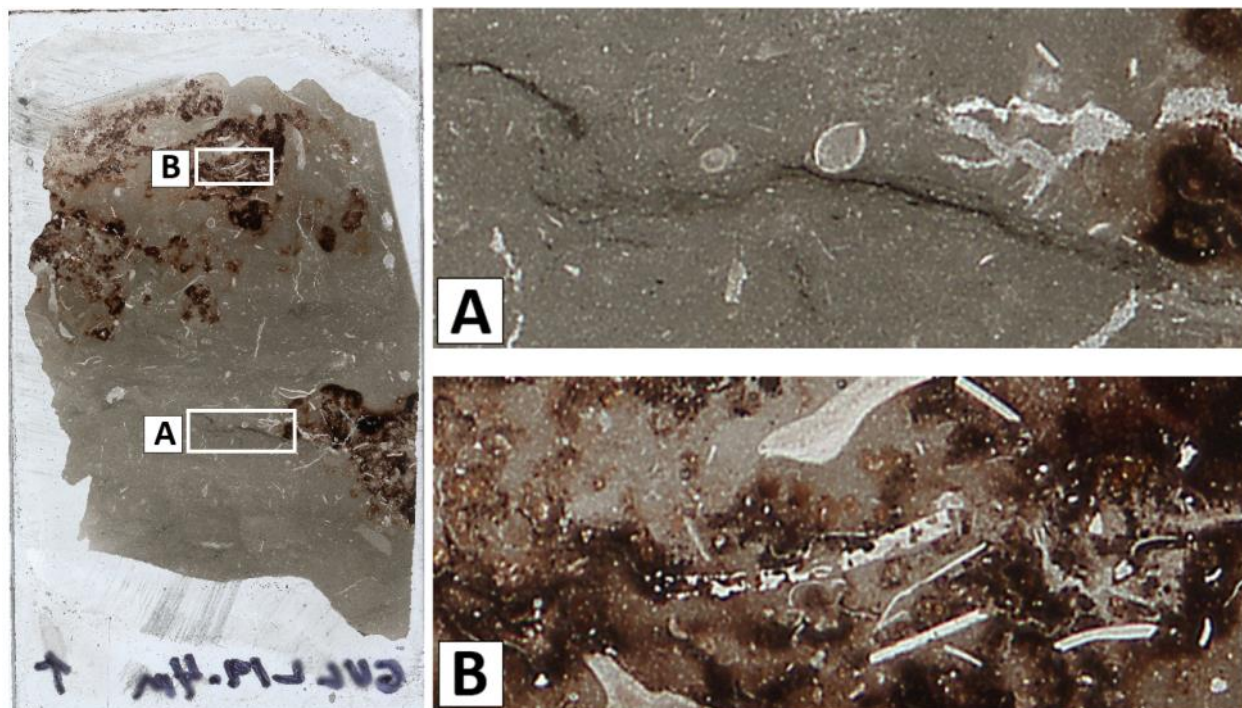


Fig. 7. Tunnslip GULL19-X4. Vita markeringar indikerar in-zoomade delar. A. Horisontell upplösningssöm tyder på hög kompaktion ovanifrån. B. Hematitimpregnerade korn i ett kluster av hematitutfällningar.

grå delarna ser mer slammiga ut än resterande områden. Tunnslipet har låg (obetydlig) porositet. En rundad mörkfärgad struktur, sannolikt en grävgång, i övre högre hörnet ser ut att innehålla upplösningssömmar (Fig. 9A). Ett fåtal sediment- och cementfyllda grävgångar finns i slipet, främst i dess överdel. Hematit bildar fläckiga mönster, med ett trådaktigt utseende, främst i den nedre delen av slipet. Kalcit förekommer som sprickfyllnad med likartad form som den mörka grävgången (Fig. 9B).

Kornfördelningen är relativt homogen med ett kluster av korn nära botten av slipet. Kornen i den övre delen av slipet har en mer horisontell riktning än de i nedre delen. Man kan tydligt se att korn i den övre grävgången följer riktningen på grävgångens struktur (Fig. 9A). Även omgivande korn har påverkats. Kornstorleken varierar, men mindre korn (<1mm) dominerar.

Bevaringskvaliteten hos kornen är överlag dålig. Många av skalerna är fragmenterade och avrundade, och många ”spöken” förekommer; många korn är mer eller mindre omkristalliserade. Kornförekomsten i tunnslipet uppgår till 10,7%, cement 1,2%. Överlag är sedimentet mer matrixstött än klasterstött och enligt Dunham (1962) klassifikationssystem kallas det här tunnslipet för en mudstone-wackestone.

*Avsättning och diagenes:* Relativt stabil subtidal bottenmiljö, med gott om tid för infauna att kolonisera och röra om sedimentet. Grävgångarna visar på successiv ändring från produktion i mjukare till hårdare substrat. Järnrika mineral har fällts ut under diagenes. Grävgången i övre högra hörnet innehåller sediment av en helt annan karaktär än omgivningen, sannolikt från ovanliggande mer skifferlika avlagringar. Den diagenetiska miljön har varit ogynnsam för fossilbevaring, då många av kornen visar upplösningssfenomen.

#### 4.2.6 GULL19-X12

Tunnslipet har en rostbrun färg med inslag av gråakt-

iga delar. Det förekommer skillnad i fördelningen av korn och matrix genom slipet inom färgförändringarna; de ljusgrå delarna verkar vara finkornigare än de bruna. En större grå del i nedre tredjedelen av slipet har en mörkare grå färg i vilket det förekommer cement och tydligt lerigare partier. Övre delen av slipet har en u-formad struktur i mörkare färg som troligtvis är en grävgång (Fig. 10A). De ljusgrå delarna är grävgångar av rund form, och uppvisar en viss riktning på sedimentet inuti. Mörkare färg förekommer i mitten av några av strukturerna. Hematit förekommer i stora delar av slipet, mest iögonenfallande i form av sömliknande utfällningar i anslutning till grävgångar (Fig. 10B).

Kornfördelningen varierar genom slipet, med tydligt minskande mängd uppåt; en antydning till normalgradering syns därmed, och större korn är något mer vanliga i de nedre delarna i slipet. Kornen som befinner sig i grävgångarna har en tydlig riktning, som följer fyllningssedimentet.

Bevaringskvaliteten är varierande. Många korn är fragmenterade, främst trilobiter, ostracoder och brachioder. Många av kornen förekommer även i form av ”spöken”, främst mollusker; omkristallisation av korn är tydligast i slipets nederdel.

Punkträkningen som gjordes på kalkstenen gav 13,8% korn, 0,5% cement, och provet klassificeras enligt Dunham (1962) som en wackestone.

*Avsättning och diagenes:* Stabil subtidal miljö med relativt rik bottenfauna, överlag låg vattenenergi. Grävgångarna är sällan kalcitfyllda, de flesta har bildats i förhållandevis mjukt sediment. Håligheter (grävgångar) har gynnat utfällning av hematit. Relativt ”ren” kalksten tyder på avtagande siliciklastiskt inflöde eller/och mer gynnsamma förhållanden för karbonatproduktion.

#### 4.3 Förändringar i karbonattexturer

Fördelningen mellan matrix, cement och korn håller

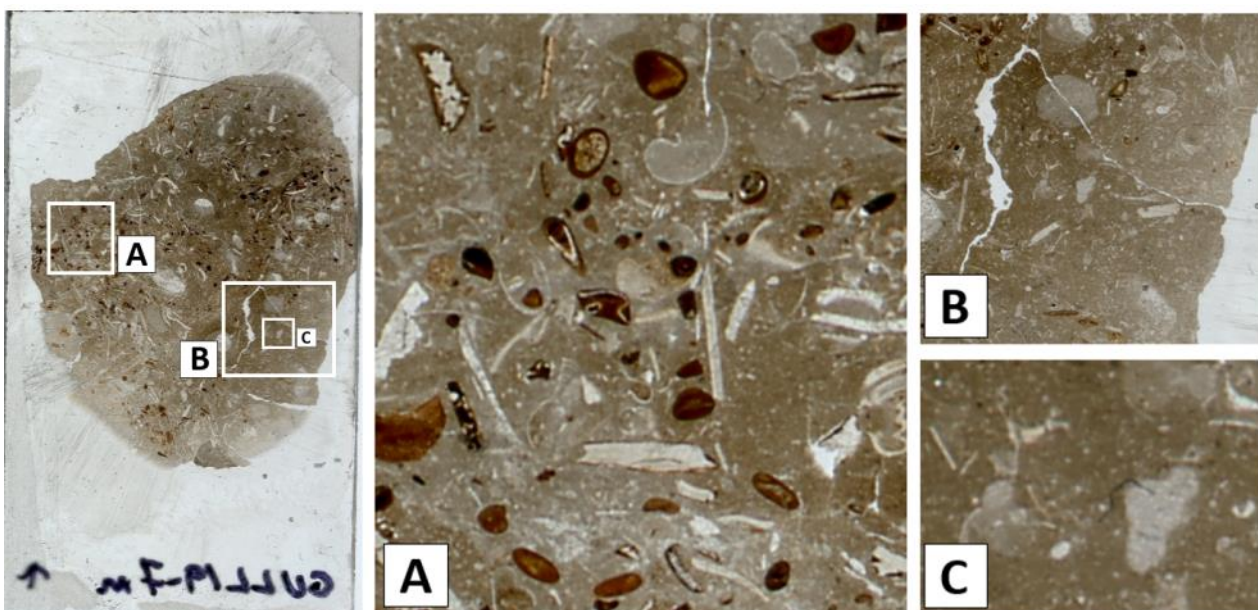


Fig. 8. Tunnslip GULL19-X7. Vita markeringar indikerar in-zoomade delar. A. Förekomst av avrunda järnooider där somliga har ett nukelus av korn. B. Lång cementfylld spricka C. Upplösta korn igenfyllda av matrix framstår som ”spöken”.



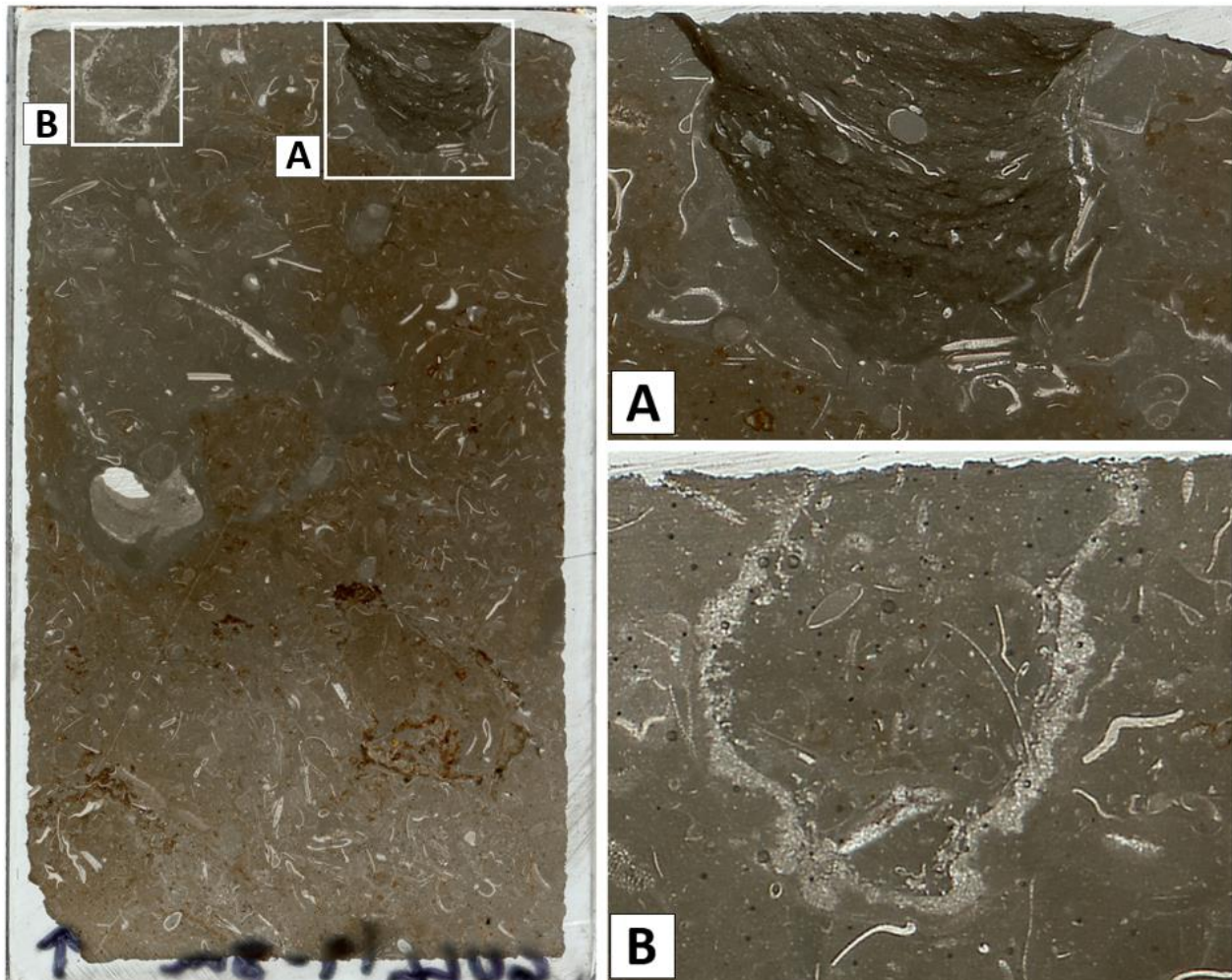


Fig. 9. Tunnslip GULL19-X8. Vita markeringar indikerar in-zoomade delar. **A.** Grävgång innehållande mörkare material samt upplösningssömmar. **B.** Kalcitfylld spricka med samma struktur som grävgången i bild 9A.

sig relativt stabil nivå genom alla slipen (Fig. 11). Nämnvärt är den drastiska nedgången mellan GULL19-X3 och X4 samt den därpå följande ökningen till GULL19-X7 (Fig. 3). Cementmängderna tycks överlag minska något genom formationen. Andelen matrix håller sig på en relativt stabil nivå med några avvikande värden där kornmängder varierat signifikant.

#### 4.4 Förändringar i fauna

Baserat på informationen från faunaundersökningen har en sammanställning över förändringen i faunan genom formationen gjorts (Fig. 3). Förekomsten av faunan baseras endast på de korn som räknades under mikroskopstudierna.

Trilobiter är den grupp som dominerar genom hela formationen. I botten av formationen utgör den 80% av den totala förekomsten (Fig. 3). Därefter kan man se en tydlig trend där trilobiter minskar genom hela formationen medan de andra grupperna ökar i olika grad. Ostracoderna ökar markant från 8,5% i första slipet till 19,3% i sista (Fig. 3). Detta är anmärkningsvärt då ostracoder annars tycks följa samma trender som trilobiter (e.g., Lindskog & Eriksson 2017; Lindskog et al. 2018).

Förekomsten av brachiopoder i gullhögenformationen är begränsad, med en antydning till en svag ökning

uppåt. Men det är genomgående låga procenthalter. Samma gäller för mollusker (utom gastropoder), som har en sparsam förekomst igenom hela formationen.

Den grupp som är mest noterbar i sina variationer är gastropoderna, vilka är nästan obefintliga i de undre tunnslipen för att sedan öka noterbart i GULL19-X7. Djurgruppen förekommer sedan i större mängder i resterande tunnslip. Detta noterades även tidigt i översiktliga undersökningar av tunnslipen, då ökningen av antalet gastropoder är så pass tydlig (Fig. 3). Även echinodermer ökar betydligt uppåt genom lagerföljden. Högst relativ mängd finns i GULL19-X8. Echinodermer och gastropoder ser ut att ha en invers relation till varandra (jmf. Lindskog & Eriksson 2017, och referenser däri). När gastropoderna ökar minskar echinodermerna något, vilket syns tydligt i slipen GULL19-X4 till X12, men det är oklart om detta är ett typiskt mönster.

Gruppen "övrigt" användes väldigt sporadiskt under faunarakningen; då de flesta korn gick att identifiera valdes istället mer typiskt gruppen "oidentifierbart". Ibland förekom det akritarker i slipen vilka hamnade i gruppen "övrigt".

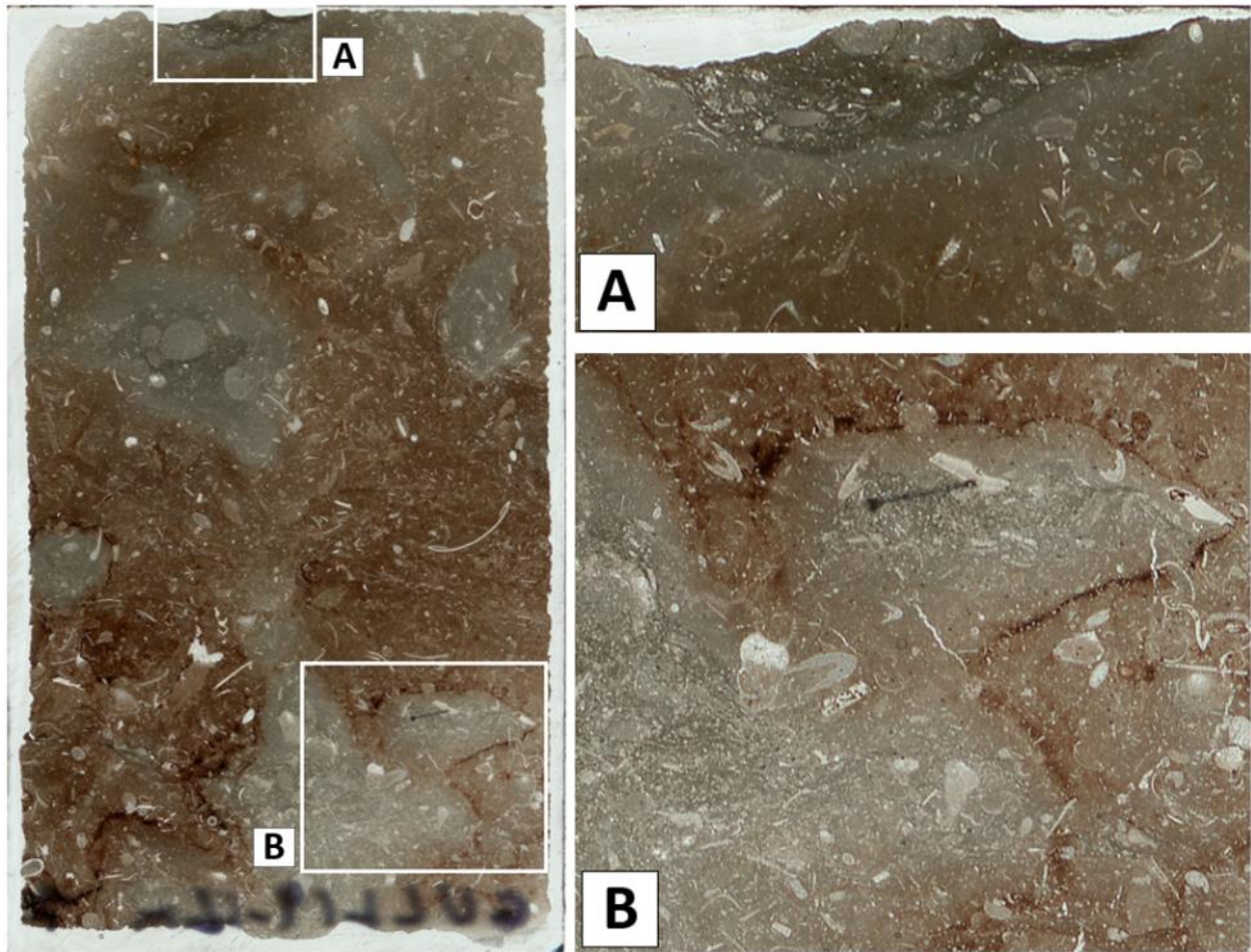


Fig. 10. Tunnslipet GULL19-X12. Vita markeringar indikerar in-zoomade delar. A. Förmodad grävgång innehållandes mörkare material. B. Utfällning av hematit förekommer som sömmar runt grävgångar.

## 5 Diskussion

### 5.1 Stratigrafiska trender i gullhögenformationen speglar avsättningsmiljön

Redan tidigt i undersökningen av gullhögenformationen sågs vissa tydliga mönster och trender. Både GULL19-X4 och GULL19-X7 uppvisade tydligt avvikande egenskaper som också avspeglas i insamlad data. GULL19-X4 utmärkte sig främst genom sitt markant låga innehåll av korn samt den dominerande grå färgen, som stack ut i de annars rödgrå färgerna. GULL19-X7 var främst avvikande på grund av sitt anmärkningsvärda innehåll av järnooider och relativt grova karbonattextur. I det här slipet noterades det även att andelen gastropoder ökade markant och däröver fortsatte vara mer vanliga. I efterhand kan man dock se att gastropodinnehållet inte var lika stort som man får intryck av vid en översiktlig observation – de tar typiskt upp en större area/volym än övriga skelettkorn, vilket gör att de blir mycket dominanta visuellt, men numerärt utgör de ändå en relativt liten del av fossilfaunan (Fig. 3). Även bevaringskvaliteten av fossil varierar genom formationen; kornen är bättre bevarade i lerigare kalkstenar, vilket tyder på att dessa har avsatts i en djupare och lugnare miljö.

De trender som var tydligast var den kontinuerliga

minskningen i andelen trilobiter genom den studerade lagerföljden, samtidigt som en förändring mot en rikare (mer "divers") fauna skedde. Trilobiter var dock genomgående dominerande i varje tunnslip, men minskningen från 80% till 44,5% innebär nästan en halvering i relativt antal. Som nämnts tidigare, så tycks trilobiter ha trivts i en relativt djup vattenmiljö, kanske p.g.a. tillgång till mjukare och mer lättgrävda sediment då flera arter sannolikt var bottenlevande detritusätare (Fortey & Owens 1999; Lindskog & Eriksson 2017;

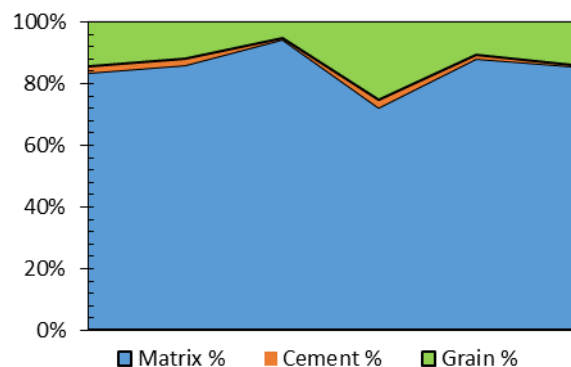


Fig. 11. Variationer i matrix, cement och korn genom formationen. Trenden visar främst hur förhållandet mellan korn och matrix förändras över tid.

och referenser däri). Samtidigt som trilobiterna minskade i stadig takt ökade övriga grupper i relativ mängd, främst echinodermer, gastropoder och ostracoder. Gastropoder är goda indikatorer på havsnivåförändringar då de tenderar att trivas i grundare miljöer (Lindskog et al. 2015). Att mängden gastropoder ökar genom lagerföljden då trilobiterna pekar i motsatt riktning trendmässigt är alltså logiskt. Även förekomsten av echinodermer är intressant då Lindskog & Eriksson (2017) diskuterade att denna djurgrupp tycktes föredra grundare vatten i äldre tidsintervall.

Det som avviker jämfört med tidigare studier är förändringen i andelen ostracoder. Tidigare jämförbara studier av äldre mellanordoviciska lager (e.g., Lindskog & Eriksson 2017; Lindskog et al. 2018) har visat att trilobiter och ostracoder generellt tycks följas åt när det kommer till faunaförändringar. I gullhögenformationen kan man dock eventuellt ta hänsyn till de tidigare nämnda GOBE och BIME. Under den studerade tidsperioden diversifierades faunan i hög takt och det kan vara så att nya arter av ostracoder utvecklades, vilket ledde till en ökning av den totala mängden ostracoder genom nyttjande av nya ekologiska nischer. Kontinenternas rörelser liksom havens minskade utbredning ledde även till migration av organismer till nya platser, vilket också kan ha varit bidragande. Ostracoder har visat sig vara effektiva opportunisterna som snabbt anpassat sig till nya habitat genom tiderna (Horne 2003).

Trots att faunaförändringar kan fungera som goda indikatorer på miljöförändringar kan resultat ej enbart grundas på dessa data. Organismer är ju beroende av passande livsmiljöer. Resultaten kan även ha viss en viss överrepresentation av trilobiter och en underrepresentation av ostracoder och brachiopoder då trilobiternas skalfragment liknar dessa. Liknande fenomen kan appliceras på gastropoder och mollusker. Då vissa storlekar av fragment räknades bort kan en viss taxa vara mer representerad än en annan - vissa grupper är lättare att identifiera oavsett storlek på skalfragment och bevaringspotentialen hos de olika grupperna varierar. Dessa bias kan eventuellt ha påverkat resultatet något (dock så kontrollräknade även huvudhandledaren vilket borde minska risken för fel). Det är viktigt att studera andra faktorer, såsom litologi och karbonattexturer.

Vid undersökningar av karbonattexturer kan man se en trend där kornmängder minskar, drastiskt vid 4 m (GULL19-X4), för att sedan nå sin högsta förekomst vid 7 m (GULL19-X7) och därefter minska igen. Precis som Jaanusson (1982) beskrev utifrån makroskopiska observationer, tycks gullhögenformationen även visa tecken på cykliska mönster i mikrofacies, då kornmängder varierar mellan lägre och högre procenthalter (Fig. 11). Studier av mellanliggande prover, ej analyserade i detalj häri, stödjer detta. Samtidigt kan man se en genomgående trend i formationen där miljön tycks representera allt grundare havsnivåer. Den minskade förekomsten av cementfyllda grävgångar och den överlag sämre bevaringen av grävgångarnas strukturer tyder på trender mot lösare botten sediment; botten har ej stabiliserats och litifierats i samma grad som tidigare innan överlagring, vilket antyder en snabbare avsättning av sediment.

Helhetsbilden indikerar att havsnivån genomgick en långsiktig sänkning under tidsintervallet som den studerade lagerföljden innefattar. Överlag indikerar karbonattexturer och fossilbevaringsförhållanden att miljön successivt utsattes för högre energi, sannolikt till följd av lägre havsnivå. Tillfälliga inslag av grövre sediment kan vara stormavlagringar, men de långsiktiga trenderna indikerar allt lägre vattendjup och närmare till vågbas och proportionen kalkstenslager i förhållande till lersten ökade efterhand. Provnivån GULL19-X7 verkar representera en viktig förändring i avsättningsmiljön, då faunasammansättningen däröver ändrar karaktär till rikare och mindre trilobitdominerad. Sannolikt motsvarar provet ovanligt låg havsnivå, följt uppåt av något djupare förhållanden – men fortsatt grundare vatten än vad undre halvan av gullhögenformationen representerar. Övergången uppåt mot renare kalksten i ”rydkalkstenen” indikerar också uppgrundning.

## 5.2 Diagenes och geokemiska förhållanden

Förekomsten av impregnering av järn samt väl biotuberade sediment tyder på en bottenmiljö där förhållandena var tillräckligt syresatta för att utgöra ett trivsamt habitat för bottenlevande organismer. Samtidigt ser man en trend mot sämre bevaring och upplösning av skelettdelar samt minskad förekomst av cement. Om syresättningen vid botten minskade skulle det inte vara troligt att bottenlevande organismer som ostracoder och gastropoder ökade i mängd. En minskning av trilobiter förekommer dock, men detta är sannolikt bättre förklarat av förändringar i substrat och vattendjup. En långtgående trend mot grundare miljöer med högre energi tyder även på att syrehalten inte rimligen minskade genom det studerade tidsintervallet. De sämre bevaringsförhållandena för bioklasterna och cement kan i stället tyda på förändrade diagenetiska förhållanden, t.ex. en trend mot ”surare” geokemiska förhållanden.

Förekomsten av järnooider kan också vara indikatorer på hur syrehalten såg ut under avsättningen. Dessa ooider och relaterade ooidliknande strukturer består av järnhaltiga mineral, till skillnad från ”typiska” ooider som består av karbonater (Jaanusson 1973). Det i sin tur indikerar att det rådde för låga vattentemperaturer i området för att aragonitooider skulle kunna fällas ut. Det som förbryllar är att majoriteten av järninnehållet i ooiderna består av reducerat järn, vilket inte borde vara möjligt då avsättningsmiljön för ooider vanligtvis är en högenergimiljö med väl syresatt vatten (Sturesson 1992). Sturesson (1992) menade att källan till det reducerande järnet kommer från substratet och därför oxiderades inte lika stora mängder järn som det borde ha gjort. Källan till järnet i botten substratet kan vara vulkanisk aska från vulkanutbrott. Kortare perioder med avsättning av aska över stora områden bidrog med stora mängder järn, aluminium och kisel som gynnade bildandet av ooider. Askmaterial som undkom omkristallisering blandades med lera på botten och tillförset av mineral reagerade med skelettdelarna i substratet och inkapslade dem i järn. I takt med att sedimentet omarbetades i havsmiljön kunde nytt järn fällas ut och skapade koncentrisk skal av järn kring kornen.

Förekomsten av ooider tyder på att substratet var syresatt då miljön utsattes för högre energier i perioder, dock kan förekomsten av järn ha en koppling till tektoniska faktorer och inte nödvändigtvis vara diagenetiskt relaterade.

### 5.3 Likåldriga enheter i Sverige

Gullhögenformationen uppvisar större variationer än vad som hittills är känt i kalkdominerade miljöer. På grund av den varierande avsättningen i den baltoskandiska bassängen under ordovicium delas Sverige in i olika faciesbälten. Västergötland och centrala delar av mellersta Sverige tillhör samma bälte, vilket innebär att avsättningen har sett liknande ut. Skåne tillhör ett djupare faciesbälte medan övriga områden uppvisar grundare miljöer (Jaanusson 1982).

”Furudalkalkstenen” korrelerar i ålder med gullhögenformationen (Jaanusson 1982). Denna gråaktiga kalksten har beskrivits som litologiskt homogen med låg förekomst av interna variationer. En studie av ”furudalkalkstenen” utförd av Granbom (2021) visar, liksom denna studie av gullhögenformationen, tecken på en uppgrundning i avsättningsmiljön, där förekomst av lösare sediment tycks öka uppåt. Även likheter i faunaförändring syns, då förekomsten av trilobiter minskar uppåt i lagerföljden samtidigt som det inkommer en mer divers fauna (Granbom 2021). Dock uppvisar ”furudalkalkstenen” mindre variationer i avsättningsmiljön, vilket har tolkats som att den representerar en mer stabil miljö än gullhögenformationen (Granbom 2021). Den homogena kalkstenen antas ha avsatts i mer distala delar regionalt sett, samt haft bättre kontakt med det omgivande Iapetushavet, vilket har lett till en långvarig stabilitet i miljön.

Gullhögenformationen, med sin varierade litologi, har helt klart avsatts i ett område med mer dynamisk miljö än Dalarna under samma tidsperiod. Tydligt är också att Västergötland nåddes av större mängder siliciklastiskt material, vilket ledde till bildning av skifferinlagring.

Fler studier bör genomföras för bättre jämförelser mellan regionala lagerföljder av samma ålder, då brist på jämförbara data ger begränsade möjligheter för djupare diskussioner.

#### 5.3.1 Jämförelse med elnesformationen i Norge

Som nämnt tidigare anses gullhögenformationen tillhöra samma faciesbälte som Norge, vilket skiljer sig från karbonatdominansen i Sverige (exkl. Skåne), och har många likheter med den likåldriga elnesformationen (Jaanusson 1964, 1982; Hansen et al. 2011). Makroskopiskt är det åtminstone tydligt att dessa två formationerna har flera likheter. Båda formationerna består av lersten och skiffer med inslag av renare kalksten, och uppvisar tecken på cyklicitet i avsättningen. Avsättningsmiljön för elnesformationen beskrivs som distal och stormdominerad, vilket åtminstone till viss del stämmer bra in på gullhögenformationen. I Elnesformationen tycks cyklicitet delvis representera återkommande turbiditavsättning, men inga uppenbara turbiditer har upptäckts i gullhögenformationen. De pulser av svandens som diskuterades av Hansen et al. (2011) är svåra att belägga i gullhögenformationen utifrån befintliga data. Skillnader i avsättningsmiljön

förekommer i större skalor, då elnesformationen avsattes i en miljö med relativt stora topografiska skillnader jämfört med Västergötland. Detta resulterade i höga halter av siliciklastiskt material i Osloområdet. Några detaljerade undersökningar av mikrofacies i elnesformationen har inte hittats i litteraturen, så noggrannare jämförelser med gullhögenformationen är omöjliga att göra i nuläget.

## 6 Slutsatser

Efter att ha sammanställt och gått igenom data kan man generellt beskriva gullhögenformationen som finkornig wackestone. Lagerföljden uppvisar cykliska trender med en övergripande trend av uppgrundning gällande depositionsdjup. Avsättningsmiljön kan ha varit en distal och lugn miljö där sedimentationstakten var låg men återkommande skiftade med pulser av högre energi och snabbare avsättning. Vad som kan ha påverkat de här förändringarna är svårt att säga, men det kan handla om inslag av stormar; stormavlagringar innebär snabbare avsättning samt mer omrörning i sedimentet, och högre påverkan på korn i form av fragmentering. Milankovitchcykler kan möjligen förklara cykliska mönster men oavsett orsak så avspeglar det förändringar i den lokala miljön.

Regionalt sett så kan man se en viss likhet med elnesformationen, snarare än med likåldriga svenska kalkstenar. Mer noggranna undersökningar av elnesformationen faciesdetaljer är dock nödvändiga för att kunna göra detaljerade jämförelser.

Den här studien har lett till en bättre förståelse för hur avsättningsmiljön såg ut under den tidsperiod då gullhögenformationen bildades. Förhoppningsvis kan studien användas som underlag för vidare forskning i framtiden.

## 7 Tack

Stort tack till mina handledare Anders Lindskog och Mats Eriksson som trots det rådande läget bidrog med ovärderlig handledning och stöttning. Plus i kanten för de riktigt goda våfflorna! Tack till min fältkompis och ”forskningsbuddy” Johanna Granbom som är där i vått och torrt. Även ett tack ska min familj ha som tillhanda gav många resurser när vi skulle ut på äventyr! Även ett tack till Lakritz som höll mig sällskap i soffan under många timmars skrivande.

## 8 Referenser

- Calner, M., Ahlberg, P., Lehnert, O & Erlström, M., (eds) 2013: The Lower Palaeozoic of southern Sweden and the Oslo Region, Norway. Field Guide for the 3rd Annual Meeting of the IGCP project 591: *Sveriges geologiska undersökning Rapport och Meddelanden 133*, Sveriges Geologiska Undersökning, 37–58.
- Cocks, L. & Torsvik, T., 2005: Baltica from the late Precambrian to mid-Palaeozoic times: The gain and loss of a terrane's identity: *Earth-Science Reviews* 72, 39-66.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture, *In* Ham, W.E. (Ed.), Classification of carbonate rocks. *American Association of Petroleum Geologists Memoir 1*, pp.

- 108-121.
- Forrey, R.A., Owens, R.M., 1999: Feeding habits in trilobites: *Palaeontology*, 42, 429- 465.
- Granbom J., 2021: En detaljerad undersökning av den mellanordoviciska ”furudalkalkstenen” i Dalarna. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr.615, 21 sid. 15 hp.
- Hansen, T., Nielsen, A. T. & Bruton, D. L., 2011: Palaeoecology in a mud-dominated epicontinental sea: A case study of the Ordovician Elnes Formation, southern Norway: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 299, 348-362.
- Haq, B. & Schutter, S., 2008: A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes: *Science (New York, N.Y.)* 322, 64-68.
- Harper, D. A. T., 2006: The Ordovician biodiversification: Setting an agenda for marine life: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232, 148-166.
- Holmer, L., 1983: Lower Viruan discontinuity surfaces in central Sweden: *GFF* 105, 29-42.
- Horne, D., 2003: Key Events in the Ecological Radiation of the Ostracoda: *The Paleontological Society Papers*, 9, 181-202.
- Jaanusson, V., 1964: The Viruan (Middle Ordovician) of Kinnekulle and northern Billingen, Västergötland. *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala* 43, 1-73
- Jaanusson, V., 1973: Aspects of carbonate sedimentation in the Ordovician of Baltoscandia: *Lethaia* 6, 11-34.
- Jaanusson, V., 1982: Ordovician in Västergötland. In D.L. Bruton & S.H. Williams (eds.): Field excursion guide. IV International Symposium on the Ordovician System, 164-183. *Paleontological Contributions from the University of Oslo* 279.
- Lindskog, A., 2014: Palaeoenvironmental significance of cool-water microbialites in the Darriwilian (Middle Ordovician) of Sweden: *Lethaia* 47, 187-204 .
- Lindskog, A. & Eriksson, M. E., 2017: Megascopic processes reflected in the microscopic realm: sedimentary and biotic dynamics of the Middle Ordovician “orthoceratite limestone” at Kinnekulle, Sweden: *GFF* 139, 163-183.
- Lindskog, A., Eriksson, M. E., Tell, C., Terfelt, F., Martin, E., Ahlberg, P., Schmitz, B. & Marone, F., 2015: Mollusk maxima and marine events in the Middle Ordovician of Baltoscandia: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 440, 53-65.
- Lindskog, A., Lindskog, M.L., Johansson, J. V., Ahlberg, P. & Eriksson, M. E., 2018: The Cambrian-Ordovician succession at Lanna, Sweden: stratigraphy and depositional environments: *Estonian Journal of Earth Sciences* 67, 133-148.
- Lidmar-Bergström, K., 1995: Relief and saprolites through time on the Baltic Shield. *Geomorphology* 12,45-61.
- Lidmar-Bergström, K., 1996: Long term morphotectonic evolution in Sweden. *Geomorphology* 16, 33-59.
- Lindström, M., 1971a: Vom Anfang, Hochstand und Ende eines Epikontinentalmeeres. *Geologische Rundschau* 60, 419-438.
- Munthe, H., Westergård, A. H. & Lundqvist, G., 1928: Beskrivning till kartbladet Skövde. Sveriges geologiska undersökning Aa 121, 1-182.
- Servais, T. & Harper, D. A. T., 2018: The Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE): definition, concept and duration: *Lethaia* 51, 151-164.
- Sturesson, U., 1992: Volcanic ash: The source material for Ordovician chamosite ooids in Sweden. *Journal of Sedimentary Research* 62, 1084-1094 .
- Zhang, J., 1998: Middle Ordovician conodonts from the Atlantic Faunal Region and the evolution of key conodont genera. *Meddelanden från Stockholms Universitets Institution för Geologi och Geokemi*, 87-105.



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

567. Schroeder, Mimmi, 2019: The history of European hemp cultivation. (15 hp)
568. Damber, Maja, 2019: Granens invandring i sydvästa Sverige, belyst genom pollenanalys från Skottenesjön. (15 hp)
569. Lundgren Sassner, Lykke, 2019: Strandmorfologi, stranderosion och stranddeposition, med en fallstudie på Tylösand sandstrand, Halland. (15 hp)
570. Greiff, Johannes, 2019: Mesozoiska konglomerat och Skånes tektoniska utveckling. (15 hp)
571. Persson, Eric, 2019: An Enigmatic Cerapodian Dentary from the Cretaceous of southern Sweden. (15 hp)
572. Aldenius, Erik, 2019: Subsurface characterization of the Lund Sandstone – 3D model of the sandstone reservoir and evaluation of the geoenergy storage potential, SW Skåne, South Sweden. (45 hp)
573. Juliusson, Oscar, 2019: Impacts of subglacial processes on underlying bedrock. (15 hp)
574. Sartell, Anna, 2019: Metamorphic paragenesis and P-T conditions in garnet amphibolite from the Median Segment of the Idefjorden Terrane, Lilla Edet. (15 hp)
575. Végvári, Fanni, 2019: Vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud. (15 hp)
576. Gustafsson, Jon, 2019: Petrology of platinum-group element mineralization in the Koillismaa intrusion, Finland. (45 hp)
577. Wahlquist, Per, 2019: Undersökning av mindre förkastningar för vattenuttag i sedimentärt berg kring Kingelstad och Tjutebro. (15 hp)
578. Gaitan Valencia, Camilo Esteban, 2019: Unravelling the timing and distribution of Paleoproterozoic dyke swarms in the eastern Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
579. Eggert, David, 2019: Using Very-Low-Frequency Electromagnetics (VLF-EM) for geophysical exploration at the Albertine Graben, Uganda - A new CAD approach for 3D data blending. (45 hp)
580. Plan, Anders, 2020: Resolving temporal links between the Högberget granite and the Wigström tungsten skarn deposit in Bergslagen (Sweden) using trace elements and U-Pb LA-ICPMS on complex zircons. (45 hp)
581. Pilser, Hannes, 2020: A geophysical survey in the Chocaya Basin in the central Valley of Cochabamba, Bolivia, using ERT and TEM. (45 hp)
582. Leopardi, Dino, 2020: Temporal and genetical constraints of the Cu-Co Vena-Dampetorp deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hp)
583. Lagerstam Lorien, Clarence, 2020: Neck mobility versus mode of locomotion – in what way did neck length affect swimming performance among Mesozoic plesiosaurs (Reptilia, Sauropterygia)? (45 hp)
584. Davies, James, 2020: Geochronology of gneisses adjacent to the Mylonite Zone in southwestern Sweden: evidence of a tectonic window? (45 hp)
585. Foyn, Alex, 2020: Foreland evolution of Blåisen, Norway, over the course of an ablation season. (45 hp)
586. van Wees, Roos, 2020: Combining luminescence dating and sedimentary analysis to derive the landscape dynamics of the Velická Valley in the High Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
587. Rettig, Lukas, 2020: Implications of a rapidly thinning ice-margin for annual moraine formation at Gornergletscher, Switzerland. (45 hp)
588. Bejarano Arias, Ingrid, 2020: Determination of depositional environment and luminescence dating of Pleistocene deposits in the Biely Váh valley, southern foothills of the Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
589. Olla, Daniel, 2020: Petrografisk beskrivning av Prekambriska ortognejser i den undre delen av Särsvskollan, mellersta delen av Skollenheten, Kaledonska orogener. (15 hp)
590. Friberg, Nils, 2020: Är den sydatlantiska magnetiska anomalien ett återkommande fenomen? (15 hp)
591. Brakebusch, Linus, 2020: Klimat och väder i Nordatlanten-regionen under det senaste årtusendet. (15 hp)
592. Boestam, Max, 2020: Stränder med erosion och ackumulering längs kuststräckan Trelleborg - Abbekås under perioden 2007-2018. (15 hp)
593. Agudelo Motta, Laura Catalina, 2020: Methods for rockfall risk assessment and estimation of runout zones: A case study in Gothenburg, SW Sweden. (45 hp)
594. Johansson, Jonna, 2020: Potentiella nedslagskratrar i Sverige med fokus på Östersjön och östkusten. (15 hp)
595. Haag, Vendela, 2020: Studying magmatic systems through chemical analyses on clinopyroxene - a look into the history of the Teno ankaramites, Tenerife. (45 hp)
596. Kryffin, Isidora, 2020: Kan benceller bevaras över miljontals år? (15 hp)
597. Halvarsson, Ellinor, 2020: Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på

- avtryck i berggrunden. (15 hp)
598. Jirdén, Elin, 2020: Kustprocesser i Arktis – med en fallstudie på Prins Karls Forland, Svalbard. (15 hp)
599. Chonewicz, Julia, 2020: The Eemian Baltic Sea hydrography and paleoenvironment based on foraminiferal geochemistry. (45 hp)
600. Paradeisis-Stathis, Savvas, 2020: Holocene lake-level changes in the Siljan Lake District – Towards validation of von Post's drainage scenario. (45 hp)
601. Johansson, Adam, 2020: Groundwater flow modelling to address hydrogeological response of a contaminated site to remediation measures at Hjortsberga, southern Sweden. (15 hp)
602. Barrett, Aodhan, 2020: Major and trace element geochemical analysis of norites in the Hakefjorden Complex to constrain magma source and magma plumbing systems. (45 hp)
603. Lundqvist, Jennie, 2020: "Man fyller det med information helt enkelt": en fenomenografisk studie om studenters upplevelse av geologisk tid. (45 hp)
604. Zachén, Gabriel, 2020: Classification of four mesosiderites and implications for their formation. (45 hp)
605. Viðarsdóttir, Halla Margrét, 2020: Assessing the biodiversity crisis within the Triassic-Jurassic boundary interval using redox sensitive trace metals and stable carbon isotope geochemistry. (45 hp)
606. Tan, Brian, 2020: Nordvästra Skånes prekambrika geologiska utveckling. (15 hp)
607. Taxopoulou, Maria Eleni, 2020: Metamorphic micro-textures and mineral assemblages in orthogneisses in NW Skåne – how do they correlate with technical properties? (45 hp)
608. Damber, Maja, 2020: A palaeoecological study of the establishment of beech forest in Söderåsen National Park, southern Sweden. (45 hp)
609. Karastergios, Stylianos, 2020: Characterization of mineral parageneses and metamorphic textures in eclogite- to high-pressure granulite-facies marble at Allmenningen, Roan, western Norway. (45 hp)
610. Lindberg Skutsjö, Love, 2021: Geologiska och hydrogeologiska tolkningar av SkyTEM-data från Vombsänkan, Sjöbo kommun, Skåne. (15 hp)
611. Hertzman, Hanna, 2021: Odensjön - A new varved lake sediment record from southern Sweden. (45 hp)
612. Molin, Emmy, 2021: Rare terrestrial vertebrate remains from the Pliensbachian (Lower Jurassic) Hasle Formation on the Island of Bornholm, Denmark. (45 hp)
613. Höjbert, Karl, 2021: Dendrokronologi - en nyckelmetod för att förstå klimat- och miljöförändringar i Jämtland under holocen. (15 hp)
614. Lundgren Sassner, Lykke, 2021: A Method for Evaluating and Mapping Terrestrial Deposition and Preservation Potential- for Palaeostorm Surge Traces. Remote Mapping of the Coast of Scania, Blekinge and Halland, in Southern Sweden, with a Field Study at Dalköpinge Ängar, Trelleborg. (45 hp)
615. Granbom, Johanna, 2021: En detaljerad undersökning av den mellanordoviciska "furudalkalkstenen" i Dalarna. (15 hp)
616. Greiff, Johannes, 2021: Oolites from the Arabian platform: Archives for the aftermath of the end-Triassic mass extinction. (45 hp)
617. Ekström, Christian, 2021: Rödfärgade utfällningar i dammanläggningar orsakade av *G. ferruginea* och *L. ochracea* - Problemstatistik och mikrobiella levnadsförutsättningar. (15 hp)
618. Östsjö, Martina, 2021: Geologins betydelse i samhället och ett första steg mot en geopark på Gotland. (15 hp)
619. Westberg, Märta, 2021: The preservation of cells in biomineralized vertebrate tissues of Mesozoic age – examples from a Cretaceous mosasaur (Reptilia, Mosasauridae). (45 hp)
620. Gleisner, Lovisa, 2021: En detaljerad undersökning av kalkstenslager i den mellanordoviciska Gullhögenformationen på Billingen i Västergötland. (15 hp)



## LUNDS UNIVERSITET