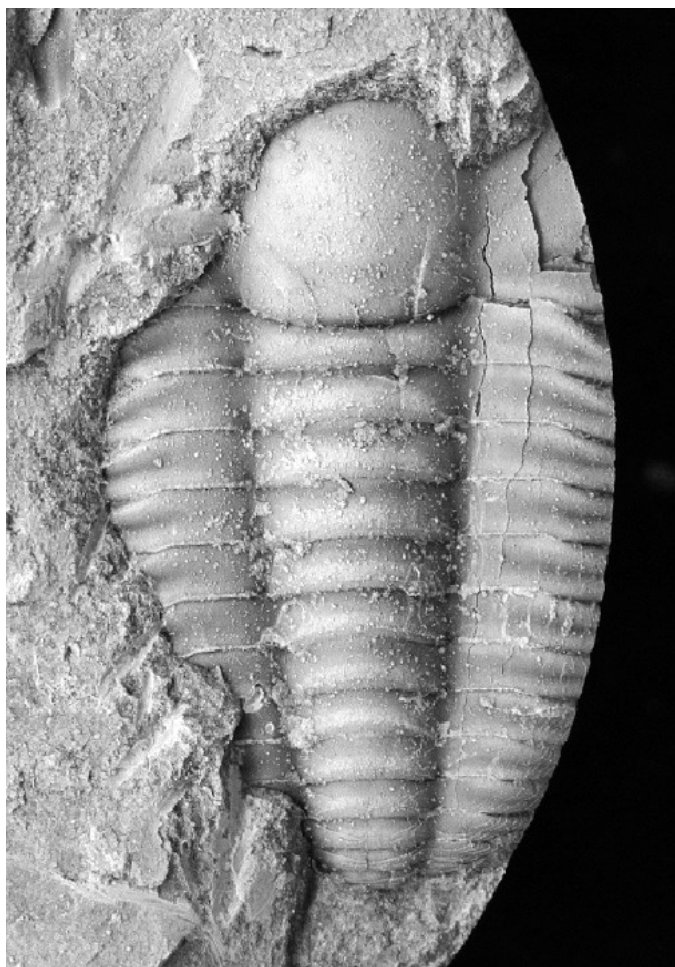


De mellankambriska oelandicuslagren på Öland – stratigrafi och faciestyper

Johan Malmgren

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 471
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2016

De mellankambriska oelandicuslagren på Öland – stratigrafi och faciestyper

Kandidatarbete
Johan Malmgren

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2016

Innehåll

1	Introduktion	7
1.1	Allmänt om kambrium i Sverige	7
1.2	Mellankambrium	7
1.3	Mellankambrium på Öland	9
1.4	Syfte	9
2	Material och metodik.....	10
3	Tingskullenkärnan	10
3.1	Litostratigrafisk indelning	10
3.2	Fossilinnehåll och biostratigrafisk indelning.....	11
4	Regional jämförelse.....	14
5	Diskussion och slutsatser	15
6	Tack.....	17
7	Referenser	17

Omslagsbild: Nästan komplett exemplar av *Ellipsocephalus polytomus* från Tingskullenkärnan, Öland.
Bild tagen av Johan Malmgren.

De mellankambriska oelandicuslagren på Öland – stratigrafi och faciestyper

JOHAN MALMGREN

Malmgren, J., 2014: De mellankambriska oelandicuslagren på Öland – stratigrafi och faciestyper. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 471, 20 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Arbetet behandlar en borrhäls kärna från Tingskullen på norra Öland. Borrhälsningen gjordes 2010. Borrhälskärnan är ca 107 meter lång och innefattar lager från ordovicium samt mellersta och undre kambrium. Mellankambrium utgörs i huvudsak av oelandicuslager, som består av fossilrik slamsten med inslag av siltsten och ett par kalkrika nivåer. Intervallet med oelandicuslager är relativt enhetligt och det går inte att dela in det i Mossberga- och Bårstadledet. Oelandicuslagren i Tingskullenkärnan är relativt rika på fossil, utom i den undre delen. De fossila faunorna domineras av trilobiter och brachiopoder. Trilobiter och även en del agnostider förekommer i den övre delen medan det i den undre delen nästan uteslutande finns brachiopoder. Spårfossil förekommer genom hela intervallet med oelandicuslager. Trilobiterna i oelandicuslagren domineras av paradoxidider (släktena *Acadoparadoxides* och *Eccaparadoxides*) och ellipscephalider av släktet *Ellipscephalus*. Bland agnostiderna har arter av släktena *Condylopyge*, *Ptychagnostus* (eller *Pentagnostus*) och *Peronopsis* noterats. Förekomster av *A. pinus* i de övre delarna av oelandicuslagren indikerar att detta intervall tillhör *A. pinus*-zonen. Biostratigrafiskt signifikanta arter har inte noterats från den undre delen, men en jämförelse med andra borrhälsningar från Öland talar för att det rör sig om *E. insularis*-zonen. Oelandicuslagren överlagras av ett 5,65 m mäktigt intervall (52,60–46,95 m) med gröngrå, ganska ljusa slamstenar med inslag av kalkiga siltstenar. Detta intervall tycks representera Älekintaledet, dvs. det översta ledet i Borgholmformationen. Gränsen nedåt är emellertid oskarp och det är en gradvis övergång från oelandicuslagren till Älekintaledet.

Nyckelord: Öland, Sverige, kambrium, trilobiter, *Acadoparadoxides oelandicus*, *Ellipscephalus polytomus*

Handledare: Per Ahlberg

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

Johan Malmgren, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: tryhardosaurusrex@gmail.com

The Middle Cambrian oelandicus beds of Öland, Sweden – stratigraphy and facies

JOHAN MALMGREN

Malmgren, J., 2014: The Middle Cambrian oelandicus beds of Öland, Sweden – stratigraphy and facies. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 471, 20 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

Abstract: The thesis deals with a drill core retrieved from northern Öland, Sweden, in 2010. The length of the core is c. 107 m and comprises an Ordovician and Cambrian succession. The middle Cambrian primarily consists of fossiliferous mudstone with thin siltstone beds. This part of the succession has collectively been referred to as the Oelandicus beds. It is relatively homogeneous in composition and cannot be subdivided into the Bårstad and Mossberga members, which is known from other areas. It is richly fossiliferous except in the lower part. The fossil faunas are dominated by trilobites and brachiopods. Trilobites and a few agnostoids are restricted to the upper part of the Oelandicus beds. Trace fossils are common throughout the Oelandicus beds. The lower part has only yielded a few brachiopods. The trilobites in the upper part are dominated by paradoxidids (*Acadoparadoxides* and *Eccaparadoxides*) and ellipsocephalids (*Ellipsocephalus*). Among the agnostoids, species of the genera *Condylopyge*, *Ptychagnostus* and *Peronopsis* have been recorded. The record of trilobite *A. pinus* in the upper part of the Oelandicus beds indicates that this part belongs to the *A. pinus* Zone. Biostratigraphically significant species have not been recorded from the lower part of the Oelandicus beds, but a comparison with other drill cores from Öland suggests that it belongs to the *E. insularis* Zone. The Oelandicus beds are overlain by a 5.65 meter thick interval (52.60–46.95 m) of greenish-grey mudstone with beds of a calcareous siltstone. This interval seems to represent the Äleklinta Member, which forms the uppermost part of the Borgholm Formation. The transition between the Oelandicus beds and the Äleklinta Member is, however, gradual.

Keywords: Öland, Cambrian, trilobites, *Acadoparadoxides oelandicus*, *Ellipsocephalus polytomus*

Supervisor: Per Ahlberg

Subject: Lithosphere and Biosphere Science

Johan Malmgren, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: tryhardosaurusrex@gmail.com

1 Introduktion

1.1 Kambrium i Sverige

Kambriska lager påträffas främst i de södra och mellersta delarna av landet. I Skåne, Västergötland, Östergötland, Närke och på Öland finns det omfattande förekomster av kambriska lagerföljder (Martinsson 1974; Nielsen & Schovsbo 2007; fig. 1). I de områden där underkambriska lager är representerade dominerar sandsten fram tills övergången till de mellankambriska lagren där finkorniga sediment tar över som en följd av en ökning av havsnivån. Även kalksten kan påträffas i dessa lager. Ett flertal arter av trilobiter och brachiopoder har beskrivits från underkambrium i Sverige, trots att fossil generellt sett är dåligt bevarade i denna del av lagerföljden. Mångfalden och kvaliteten på fossil är större i de övre delarna i underkambrium där, förutom brachiopoder och trilobiter även mollusker och hyolithider och andra skalfossil har påträffats (Martinsson 1974; Bergström & Ahlberg 1981; Axheimer 2006).

I Sverige dominerar mellankambrium (kambrium serie 3; Peng & Babcock 2011; Peng et al. 2012) av alunskiffer. Alunskiffern består av mörk lersten och skiffer, som bildades i ett syrefattigt grundhav. Den höga halten av kerogen och andra organiska ämnen ger skiffern en mörk färg och en doft av kolväten (Martinsson 1974; Andersson 1985; Nielsen & Schovsbo 2007). Diversiteten bland de fossila faunorna är här betydligt högre än i de underkambriska och minst 155 arter av trilobiter har beskrivits från mellankambrium i Skandinavien (Axheimer 2006).

I början av mellankambrium (kambrium etage 5; Peng & Babcock 2011; Peng et al. 2012) var syrehalten i grundhavet förhållandevis hög och det avsattes grågröna slamstenar och siltstenar (Nielsen & Schovsbo 2007). Dessa kallades tidigare för oelandicusskiffer, men utgör nu den undre och mellersta delen av Borgholmformationen (Nielsen & Schovsbo 2007). Efter avsättningen av denna formation minskade syrehalten i det hav som täckte Skandinavien och den resterande delen av mellankambrium består till största delen av alunskiffer (Weidner & Nielsen 2014). Det kan noteras att det råder en lägre diversitet bland mellankambriska trilobitfaunor i Skåne i Drumian-etagen än på Bornholm. Detta kan indikera att syrehalten var lägre i Skåne än på Bornholm (Weidner & Nielsen 2014).

Den översta delen av kambrium utgörs av Furong-etagen som i Sverige representeras av alunskiffer utan några märkbara litologiska skillnader med den mellankambriska alunskiffern. Olenider dominerar i trilobitfaunan och

agnostider är vanliga i den undre delen av Furong-etagen (Ahlberg & Terfelt 2012).

1.2 Mellankambrium

I Sverige finns mellankambriska avlagringar inom samtliga kambrosilurområden förutom i Siljansringen i Dalarna. Mäktigheten varierar och når ett maximum söder om Gotland där borrhningar indikerar en mellankambrisk lagerföljd på 150 meter. På Öland når den ett maximum på 100 m, men varierar mellan 40 m och 100 m (Martinsson 1974; Nielsen & Schovsbo 2007).

Mellankambrium i Skandinavien delas in i tre superzoner: *Acadoparadoxides oelandicus*- (underst), *Paradoxides paradoxissimus*- och *P. forchhammeri*-superzonen (överst; Nielsen et al. 2014). Superzonen med *A. oelandicus* är som mest komplett under Gotland och på Öland, men saknas eller är ofullständig i andra delar av Sverige, t.ex. på Bornholm, i Västergötland

och eventuellt även i Skåne (Martinsson 1974; Ahlberg 1989; Axheimer & Ahlberg 2003; Nielsen & Schovsbo 2007). *A. oelandicus*-superzonen delas in i två trilobitzoner, *Eccaparadoxides insularis*-zonen och den ovanliggande *Acadoparadoxides pinus*-zonen. *A. pinus*-zonen är även känd som *Ptychagnostus praecurrens*-zonen i globala sammanhang (Westergård 1936, 1946; Ahlberg 1989; Nielsen et al. 2014).

På Öland är oelandicuslagren (superzonen med *A. oelandicus*) väl representerade och når en mäktighet av ca 43,5 m (Nielsen & Schovsbo 2007). På Gotland når oelandicuslagren en maximal mäktighet på ca 70 m (Nielsen & Schovsbo 2007). Oelandicuslagren i Östergötland och Närke är tunnare och varierar i mäktighet mellan 1 m till 13 m (Martinsson 1974; Nielsen & Schovsbo 2007). I båda dessa landskap är *Eccaparadoxides insularis*-zonen ofullständig och domineras av sandstenar som vilar på ett bottenkonglomerat (Westergård 1940).

I Jämtland och Ångermanland innehåller oelandicuslagren mer organiskt material och är därför nästan helt svarta. Vidare representeras oelandicuslagren i Ångermanland av Fjällbrännaformationen och tycks ha avsatts på ett större djup. I denna formation saknas släktet *Ellipsocephalus* och agnostider är sällsynta (Weidner et al. 2014).

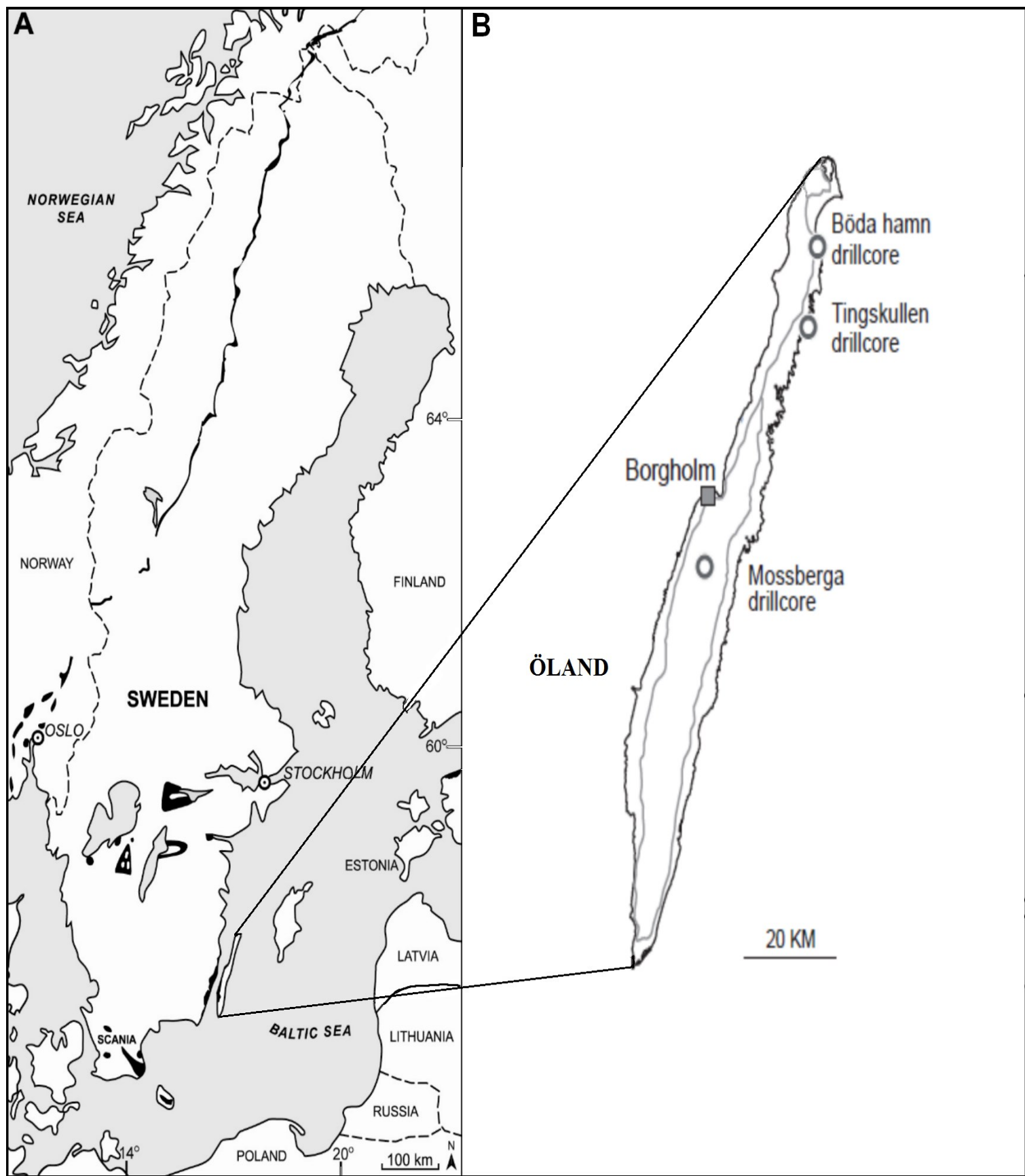


Fig. 1. Karta över delar av Skandinavien och Öland med Tingskullen markerad. Modifierad efter Ahlberg (2009) och Calner (2014). **A:** Sverige med angränsande länder. De svartmarkerade områdena indikerar kambriska avlagringar. **B:** Öland med Tingskullen och tidigare borrhningar markerad.

Oelandicuslagren vilar i flertalet områden diskonformt på underkambriska (kambrium serie 2) sandstenar. Denna diskonformitet (Hawke Bay-inkonformiteten; Nielsen & Schovsbo 2007) visar på en lucka i lagerföljden (Nielsen & Schovsbo 2007). Basen på oelandicuslagren brukar utgöras av ett distinkt konglomeratlager som ibland inkluderar fosforitnoder (Westergård 1936; Martinsson; Nielsen & Schovsbo 2007).

Acadoparadoxides oelandicus-superzonen är i regel rikligt fossilförande. I de övre delarna är faunan rik på trilobiter, främst paradoxidider av släktena *Eccaparadoxides* och *Acadoparadoxides* men även ellipsocephalider av släktet *Ellipsocephalus* (Westergård 1936). Faunan i de undre delarna utgörs främst av fosfatiska brachiopoder (Westergård 1936, 1940; Ahlberg 1989).

Den ovanliggande *Paradoxides paradoxissimus*-superzonen har påträffats i samtliga kambrosiluområden i Sverige och tycks vara som mest fullständig i Skåne, där samtliga zoner kan påträffas. Det är endast den undre delen som är representerad på Öland i form av Äleklintaledet (Nielsen & Schovsbo 2007). Både *Paradoxides forchhammeri*-superzonen och *P. paradoxissimus*-superzonen är i stort sett kompletta i Skåne men är ofullständigt representerade i resten av landet. Den undre delen av *P. forchhammeri*-superzonen utgörs på Öland av ett tunt konglomeratlager, Exporrectakonglomeratet (Nielsen & Schovsbo 2007).

Den mellankambriska serien är odefinierad och har endast det provisoriska namnet kambrium serie 3 som vidare är uppdelad i tre globala etager: "Etag 5", Drumian och Guzhangian (Peng et al. 2012). Basen för etag 5 är odefinierad och tills vidare namnlös. Basen för Drumian definieras av det första uppträdandet av agnostiden *Ptychagnostus atavus* (Babcock et al. 2007). Guzhangian är den översta etagen i kambrium serie 3. Den har fått sitt namn efter Guzhang i södra Kina och definieras av det första uppträdandet av agnostiden *Lejopyge laevigata* (Peng et al. 2009; Peng & Babcock 2011). För att underlätta läsningen i detta arbete kommer mellankambrium att användas istället för kambrium serie 3.

1.3 Mellankambrium på Öland

Berggrunden på Öland består av kambriska och ordoviciska lager. Lagerföljden stupar svagt mot öster och de äldsta blottade lagren finns därför på de västra delarna av ön. Den underkambriska File-Haidar-formationen bildar berggrunden i Kalmarsund och består av sandstenar.

Den överlagras av mellankambrium, som till största delen utgörs av oelandicuslagren. Dessa lager består av sandiga och mörkgråa till ljusgröna lerskiffer och siltstenar och bildar den översta och mellersta delen av Borgholmformationen (Nielsen & Schovsbo 2007). Det är endast dessa delar av Borgholmformationen som är representerade på Öland i form av Mossberga- och Bårstadleden, medan Grötlingboledet saknas. Över oelandicuslagren följer Äleklintaledet (tidigare *Paradoxides tessini*-lagren eller *Paradoxissimus*-siltstenen) som domineras av grå, siltstenar med tunna lager av sandsten och grå-grön lerskiffer (Westergård 1936; Martinsson 1974; Nielsen & Schovsbo 2007). Borgholmsformationen förekommer inom ett smalt bälte utefter Ölands västkust (Westergård 1936, fig. 1).

Fram till mitten av 1800-talet var Ölands kambriska stratigrafi mycket ofullständigt känd och endast en sandsten överlagrad av alunskiffer kunde urskiljas (Westergård 1936). Anton Sjögren, svensk geolog och mineralog, var först med att separera sandstenen, som tillhör underkambrium, från Tessini-lagren under mitten av 1800-talet och var i början av 1870-talet först med att beskriva det som nu är känt som oelandicuslager. Dessa lager hade Sjögren undersökt utanför Bornholm (Westergård 1936). Vidare beskrev Sjögren (1871, 1872) ett flertal trilobiter från oelandicuslagren, inklusive två *Ellipsocephalus*-arter (Westergård 1936). Dock feltolkade Sjögren åldern på oelandicuslagren och beskrev dem som yngre än Tessini-lagren och det var inte förrän 1881 som det kunde påvisas att oelandicuslagren överlagras av Tessini-lagren (Westergård 1936). Westergård (1936) studerade i detalj oelandicuslagren på Öland och delade in lagerföljden i två trilobitzoner: *Eccaparadoxides insularis*-zonen (underst) och *Acadoparadoxides pinus*-zonen (överst).

Detta arbete behandlar oelandicuslagren i en borrhäls som togs från Tingskullen på nordöstra Öland år 2010. Med hjälp av borrhälsan samt litteratur och annan dokumentation beskrivs litostratigrafin och biostratigrafin i detta intervall. Beskrivningen av kärnan kompletteras med fotografier av fossil och utvalda delar av kärnan.

1.4 Syfte

Undersökningar av borrhälsan bör kunna ge en bild av hur miljön i Östersjön såg ut under mellankambrium och baserat på faunainnehållet i kärnan samt den litologiska strukturen i själva kärnan kan man få en bild av depositionsmiljön.

2. Material och metodik

Arbetet har i huvudsak varit en litteraturstudie, där tidigare arbeten om oelandicslagren och deras fossilinnehåll har använts som grund för vidare tolkningar. Alla observationer av borrhälskärnan och fossil utfördes på Geologiska institutionen, Lunds universitet. Även den fotografiska dokumentationen genomfördes på institutionen och allt material har tillhandahållits av Lunds universitet.

3. Tingskullenkärnan

Tingskullenborrningen gjordes ca 670 m nordost om Källhamns kyrkoruin (Fig. 1). Borrningen penetrerade en lagerföljd från mellersta ordovicium till undre kambrium (Dahlqvist et al. 2013). Tingskullenkärnan har tidigare översiktligt beskrivits av Dahlqvist et al. (2013). Kärnan är ca 107 meter lång och har en diameter på 39 mm. De understa fem metrarna i borrhälskärnan tillhör undre kambrium (kambrium serie 2) och består i huvudsak av en kvartsarenit med inslag av grönaktig slamsten. Denna sandsten tillhör Närsandstenen, som är det översta ledet i File Haidar-formationen (Dahlqvist et al. 2013).

Gränsen mellan de underkambriska och mellankambriska lagren skiljs åt av ett distinkt konglomeratlag. De mellankambriska lagren utgör 55 meter av borrhälskärnan och består av bioturberad skiffrig slam- och siltsten tillhörande Borgholmformationen, som på Öland brukar omfatta tre led: Bårstad-, Mossberga- och Åleklinta-ledet (Dahlqvist et al. 2013). Borgholmformationen överlagras av en 0,5 m mäktig enhet av svarta skiffrar med orstenar (Dahlqvist et al. 2013).

3.1 Litostratigrafisk indelning

Under- och mellankambrium har tillsammans en mäktighet av 60,05 m och omfattar kärnintervall 107,00–46,95 m (Fig. 2). Den understa delen (107,00–102,28 m) av detta intervall består av en ljusgrå, homogen och kvartsdominerad sandsten med inslag av finkornig siltsten. Det stratigrafiska läget och litologin indikerar att det rör sig om Närsandstenen, dvs. det översta ledet i File Haidar-formationen. Oelandicuslagren har en mäktighet av ca 49,68 m och omfattar kärnintervall 102,28–52,60 m. Denna del av lagerföljden inleds av ett konglomerat (102,28–102,14 m; fig. 3), som består av sandstens- och fosforitbollar i ett sandigt matrix. Konglomeratet som vilar på en ojämn erosionsyta. I den översta delen domineras konglomeratet av sandsten.

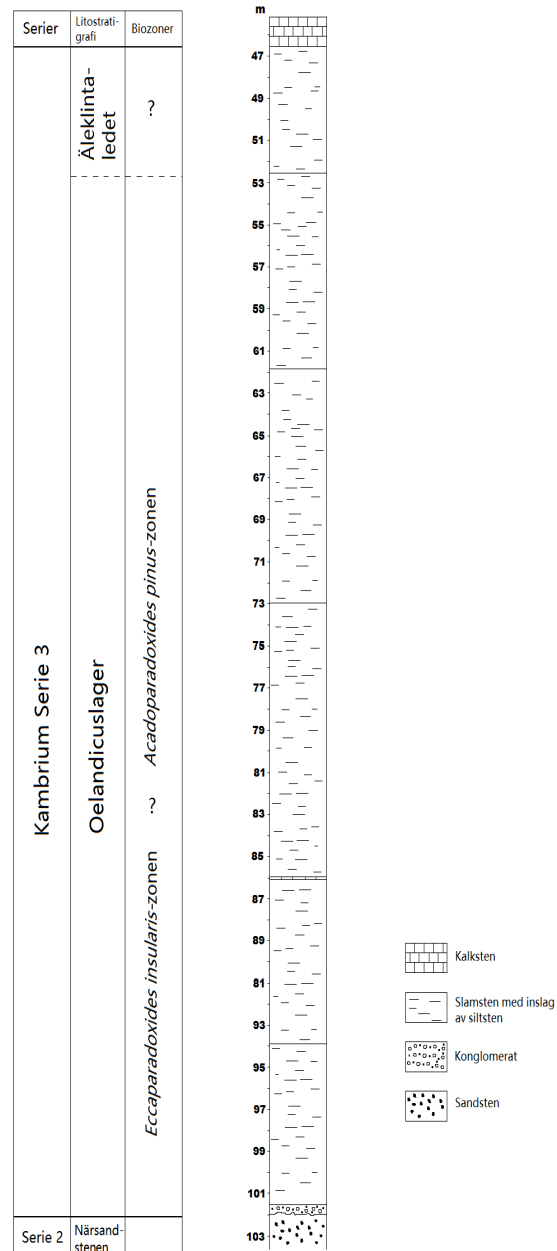


Fig. 2. Lagerföljden och den stratigrafiska indelningen av kambrium i Tingskullenkärnan, Öland, Sverige.

Oelandicuslagren består till största delen av mörkgrå, grönaktiga och fint skiktade slamstenar med inslag av tunna siltstenar (Fig. 4). Lagerföljden är i regel kraftigt bioturberad, särskilt i den övre delen. Kraftig bioturbation har även noterats mellan 96,11 och 96,50 m. Den övre delen i oelandicuslagren är något ljusare än i den undre delen, vilket visar på förändringar i halten organiskt material. Vid 87,68–88,10 m förekommer en grå och mycket finkornig kalksten. Högre upp i lagerföljden finns två tunna nivåer med ljusa, kalkhaltiga siltste-

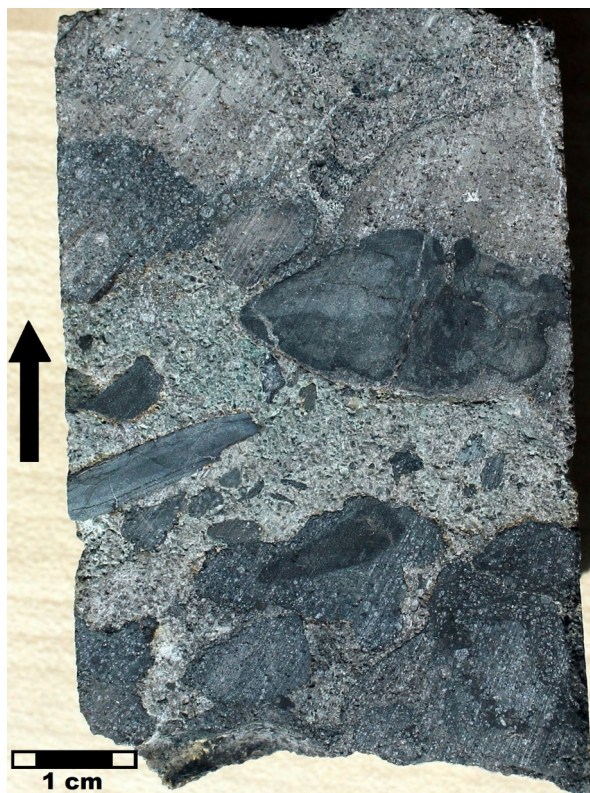


Fig. 3. Konglomerat i Tingskullenkärnan, Öland (102,28–102,14 m)

nar (72,95–73,08 respektive 61,76–61,89 m). Intervallet med oelandicuslager är relativt enhetligt och det går inte att dela in det i Mossberga- och Bårstadledet. Tingskullenkärnans oelandicuslager överensstämmer litologiskt bäst med Nielsen & Schovsbos (2007) beskrivning av Bårstadledet.

Oelandicuslagren överlagras av ett 5,65 m mäktigt intervall (52,60–46,95 m) med gröngrå, ganska ljusa slamstenar med inslag av kalkiga siltstenar. De mest framträdande siltstenarna finns på 52,50–52,35 m och 47,25–47,07 m. Intervallet med slamstenar och siltstenar tycks representera Äleklintaledet (Fig. 2). Gränsen nedåt är emellertid oskarp och det är en gradvis övergång från oelandicuslagren till Äleklintaledet.

En hård, ljusgrå kalksten med karstvittring (46,95–46,47 m), överlagrar Äleklintaledet, som i sin tur överlagras av en mörkgrå, nästan svart och fint laminerad skiffer. Denna skiffer är fattig på fossil och representerar sannolikt Djupvikformationen (tidigare kallad Ceratopygeskiffer). I basen på denna formation finns ett 10 cm tjockt konglomerat med fosforitbollar.

3.2 Fossilinnehåll och biostratigrafisk indelning

I Tingskullenkärnan är oelandicuslagren relativt rika på fossil, förutom i de undre delarna, och de fossila faunorna domineras av trilobiter och brachiopoder. I den övre delen förekommer det trilobiter samt en del agnostider, medan i den undre delen nästan helt domineras av brachiopoder med mycket få trilobiter. Genom hela intervallet påträffas spårffossil i form av maskformiga grävspår. Endast den övre halvan av intervallet med oelandicuslager (ca 70,0–53,8 m) har provtagits för fossil.

Trilobiterna i oelandicuslagren domineras av paradoxidider (släktena *Acadoparadoxides* och *Eccaparadoxides*) och ellipsocephalider av släktet *Ellipsocephalus*. Bland agnostiderna har arter av släktena *Condylonyge*, *Ptychagnostus* (eller *Pentagnostus*) och *Pernopsis* noterats. Brachiopoderna domineras av fosfatskaliga former. Utöver dessa fossil finns det enstaka förekomster av hyolithider. Nedan diskuteras karakteristiska eller biostratigrafiskt signifikanta former som påträffats i kärnan.



Fig. 4. Oelandicuslager i Tingskullenkärnan, Öland (52,5–53,5m).

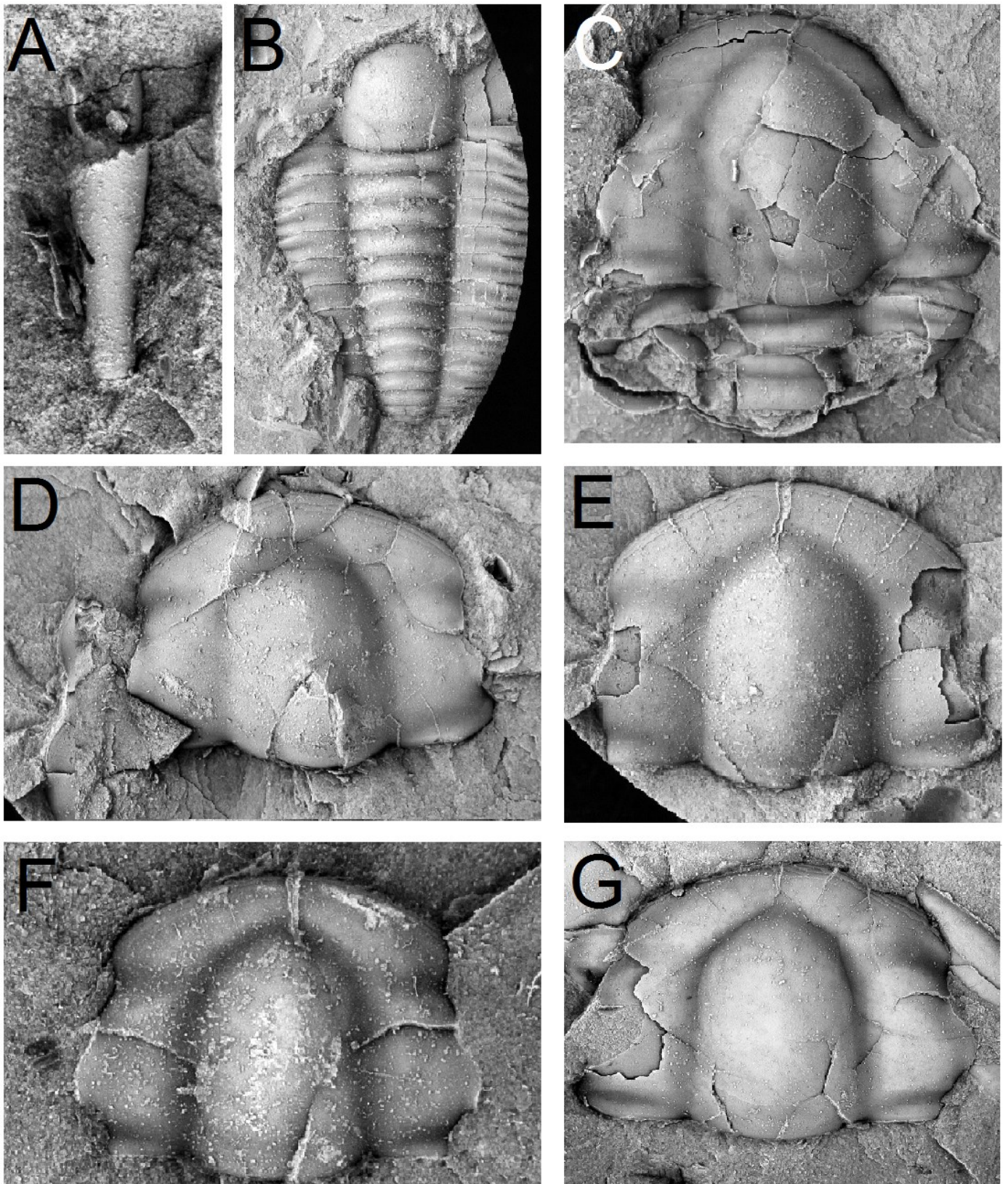


Fig. 5. Fossil från mellankambrium i Tingskullenkärnan. A. '*Hyolithes*' sp., x9, 58.8 m. B–G. *Ellipsocephalus polytomus*. B. Nästan komplett exemplar, x8, 58.75 m. C. Cranidium, x9, 63.02 m. D. Cranidium, x9, 54.15 m. E. Cranidium, x9, 59.19 m. F. Cranidium, x9, 60.04 m. G. Cranidium, x9, 69.65 m.

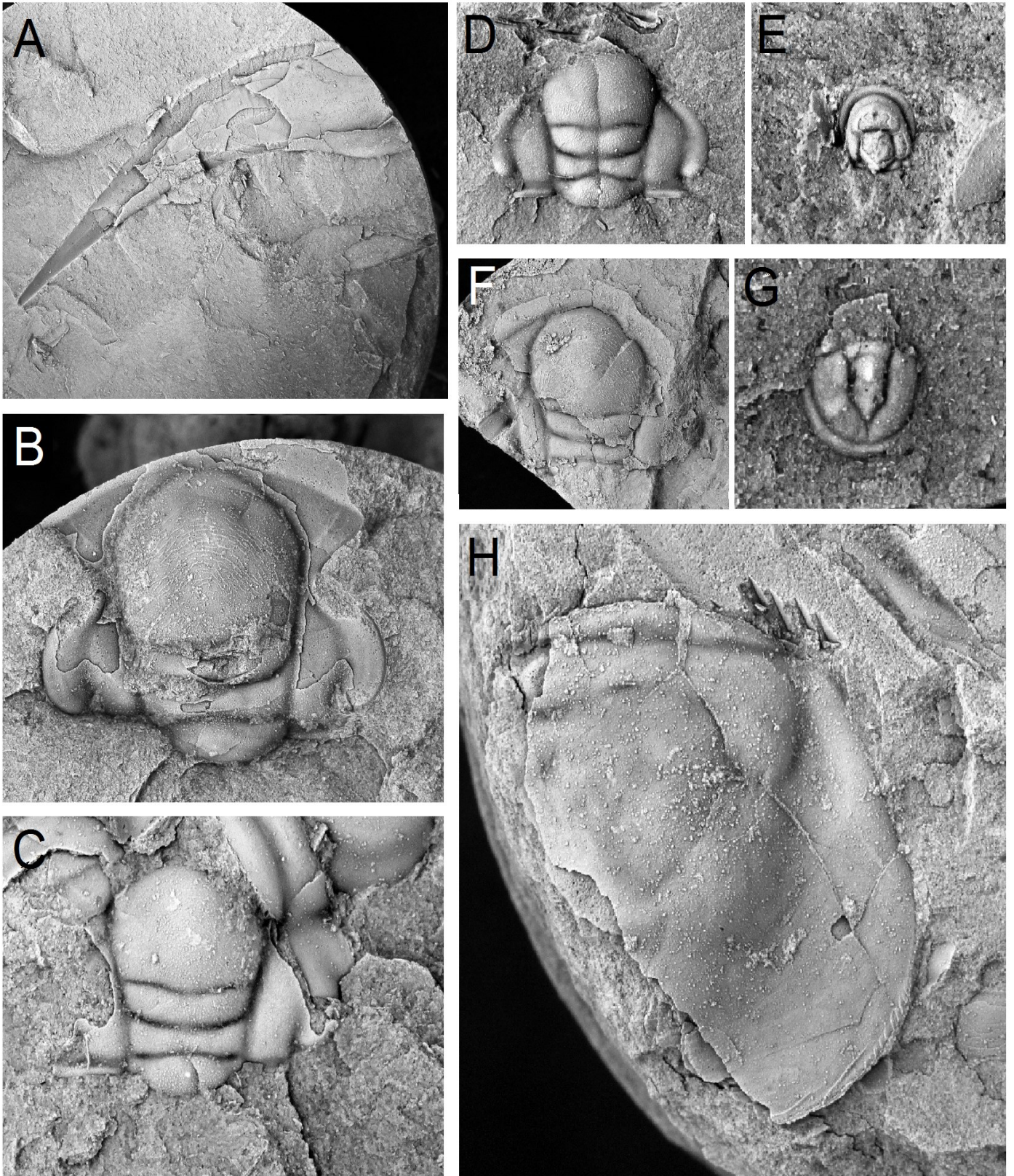


Fig. 6. Trilobiter från mellankambrium i Tingskullenkärnan. **A–D, F.** *Acadoparadoxides oelandicus*. **A.** Thoraxsegment, x9, 60,21 m. **B.** Cranidium, x9, 65,46 m. **C.** Cranidium, x9, 65,5 m. **D.** Cranidium, x9, 58,78 m. **F.** Cranidium, x9, 64,33 m. **E.** *Condylopyge carinata*, cephalon, x10, 58,28 m. **G.** *Ptychagnostus* cf. *praecurrens*, x11, 57,71 m. **H.** *Acadoparadoxides pinus*, pygidium, x9, 66,97 m.

Ellipsocephalus polytomus (Fig. 5B–G). – Detta är den vanligaste arten och det har noterats mängder av rester. Särskilt vanliga är cranidier, fria kinder och thorakalsegment. I många fall är exoskelettet bevarat. *Ellipsocephalus polytomus* förekommer i regel rikligt i Sveriges oelandicusslager och har noterats både från *Eccaparadoxides insularis*-zonen och *Acadoparadoxides pinus*-zonen (Westergård 1936). Utanför Öland har arten beskrivits från Östergötland, Närke, Jämtland, Gotland och Polen (Westergård 1936; Ahlberg 1989).

Acadoparadoxides oelandicus (Fig. 6A–D, F). – Detta är den vanligaste paradoxididen i Tingskullenkärnan och skleriter från denna art har noterats från ett flertal olika nivåer. Både juvenila och adulta exemplar har påträffats i kärnan. Även denna art förekommer i både *Eccaparadoxides insularis*-zonen och *Acadoparadoxides pinus*-zonen (Westergård 1936). Pygidiets form kan variera kraftigt och arten kan vara svår att skilja från andra närstående arter (Westergård 1936; Weidner et al. 2014).

Acadoparadoxides pinus (Fig. 6H). – Endast ett fåtal pygidier av denna art har påträffats i Tingskullenkärnan. Ett relativt välbevarat pygidium finns från nivån 66,97 m. *Acadoparadoxides pinus* förekommer endast i de övre delarna av oelandicusslagren och är begränsad till zonen med samma namn (Westergård 1936).

Condylonyge carinata (Fig. 6E). – Två närstående arter av *Condylonyge* har beskrivits från Skandinavien oelandicusslager, *C. regia* och *C. carinata* (Westergård 1936, 1946). Deras cephaler är mycket lika och svåra att skilja åt (artkaraktärerna finns på pygidiet). Ett litet cephaler har samlats in från Tingskullenkärnan från nivån 58,28 m. Det går inte att avgöra vilken art det tillhör, men förekomsten i *A. pinus*-zonen indikerar att det bör röra sig om den yngre av de två arterna, nämligen *C. carinata*.

Ptychagnostus cf. *praecurrens* (Fig. 6G). – Endast ett fåtal agnostider har noterats i Tingskullenkärnan. Ett relativt litet pygidium avbildas på fig. 6G. Det representerar ett juvenilt exemplar med en ganska spetsig mittlob. Bakom mittloben finns en distinkt postaxial färra. Pygidiet överensstämmer ganska väl med ett av de pygidier som avbildats av Westergård (1936, pl. 1, fig. 2).

'*Hyolithes*' sp. (Fig. 5A) – Ett konformat fossil som eventuellt representerar en art av släktet *Hyolithes* påträffades vid 58,8 meter.

Långsträckta, platta fossil i cm-storlek (Fig. 7) förekommer på många skikttytor, särskilt i de övre delarna av oelandicusslagren. Dessa fossil är i regel bruna till rödaktiga eftersom de sannolikt består av järnoxider, eventuellt limonit. Deras systematiska ställning är oklar, men de kan eventuellt representera makroskopiska algrester.

Förekomsterna av *A. pinus* indikerar att den övre delen av intervallet med oelandicusslager tillhör *A. pinus*-zonen (Fig. 2). Biostratigrafiskt signifikanta arter har inte noterats från den undre delen, men en jämförelse med andra borrhningar från Öland talar för att det rör sig om *E. insularis*-zonen.

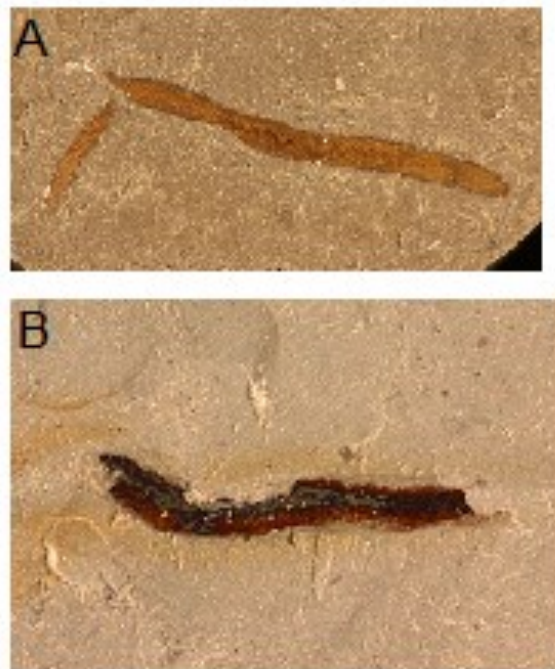


Fig. 7. Förmodade makroskopiska algrester från Tingskullenkärnan, x10. A. 56,24 m. B. 76,59 m.

4. Regional jämförelse

Oelandicusslager (*Acadoparadoxides oelandicus*-superzonen) förekommer inom ett flertal av Sveriges kambrosiluområden och är väl utbildade på Öland och Gotland (Fig. 1) samt i Östergötland, Närke och Jämtland. Särskilt märkt är detta intervall under Gotland och på Öland, där lagerföljden består av en ganska homogen sekvens av slamstenar med tunna siltstenslager. Lagerföljden på Öland brukar kunna delas in i två led: Mossberga- och Bårstadledet. *Acadoparadoxides oelandicus*-

superzonen tycks vara fullständigt utbildad på Öland och överallt kan den delas in i en undre zon, *E. insularis*-zonen, och en övre zon, *A. pinus*-zonen (Westergård 1936; Wærn 1952; Nielsen & Schovsbo 2007). Det är anmärkningsvärt att oelandicuslagren i Tingskullenkärnan bildar ett mycket homogent intervall, och att det inte går att skilja mellan Mossberga- och Bårstadleden.

Under Gotland har oelandicuslagren en mäktighet av upp till 76 m och endast Mossbergaletet verkar vara representerat (Nielsen & Schovsbo 2007; fig.8). Liksom på Öland består oelandicuslagren av slamstenar och finkorniga siltstenar med inslag av tunna siltstens- eller sandstenslager (Ahlberg 1989).

I Östergötland och Närke är oelandicuslagren ofullständiga och betydligt tunnare (ca 5.5 respektive 9 m; Nielsen & Schovsbo 2007) än på Öland. *Eccaparadoxides insularis*-zonen har inte kunnat identifieras, medan *Acadoparadoxides pinus*-zonen tycks vara väl utvecklad. I både Östergötland och i Närke kan *E. insularis*-zonen eventuellt vara representerad av en sandstensdominerad enhet med glaukonit, Kvarntorpledet (Nielsen & Schovsbo 2007).

I Jämtland och Ångermanland är oelandicuslagren nästan svarta eftersom de innehåller mycket organiskt material och avsatts i något djupare delar av bassängen. I södra Jämtland har oelandicuslagren en mäktighet av minst 20 m. Huvuddelen av denna lagerföljd representeras av *A. pinus*-zonen (Martinsson 1974).

Äleklintaledet har endast observerats med säkerhet på Öland och kan därför inte jämföras med andra regioner (Nielsen & Schovsbo 2007). Det brukar inledas med ett bottenkonglomerat och består vanligen av relativt hårda siltstenar med talrika, tunna sandstenslager (Nielsen & Schovsbo 2007). Detta led har inte med säkerhet kunnat identifieras i Tingskullenkärnan.

5. Diskussion och slutsatser

Oelandicuslagren i Tingskullenkärnan består till största delen av mörkgrå-gröna slamstenar med inslag av siltsten och är i regel kraftigt bioturbade. Oelandicuslagren i borrhämnar från andra delar av Öland har en likartad litologisk sammansättning. Vid Böda Hamn på norra Öland har borrhämnar, till exempel Böda Hamnkärnan, visat sig domineras av siltsten, med inslag av slamsten, men även här finns det ett flertal tunna lager av sandsten. Skillnaderna mellan Tingskullenkärnans oelandicuslager och motsvarande i de övriga borrhämnarna från Öland visar att sandsten är sällsynt i Tingskullenkärnan. Det råder en stor homogenitet i oelan-

dicuslagren i denna kärna och det går inte att skilja mellan Mossberga- och Bårstadledet. Äleklintaledet, som innehåller sandsten, har inte heller kunnat säkerhetsställas på någon nivå i kärnan.

Bårstadsledets mäktighet på Öland kan uppgå till över 17.5 meter, men når som mest 9 meter på andra ställen i landet. Äleklintaledet når en mäktighet på upp till 70 meter på södra Öland, men avtar i tjocklek längre norrut och är endast ca 1 meter vid Böda Hamn. Mossbergaletet kan uppgå till 74 meter under Gotland, medan den på norra Öland når ungefär 24 meter (i Böda Hamnkärnan). Eventuella skillnader i mäktigheten i Tingskullenkärnan kan inte med säkerhet fastställas då det inte går att urskilja de olika leden.

I Sverige tunnar Borgholmformationen ut mot väster. Söder och öster om Gotland kan denna formation nå en mäktighet på över 152 meter, men i Närke uppgår den till endast 13.5 meter. Denna förtunning av formationen indikerar på en radikalt annorlunda avsättningsmiljö på det som idag är det svenska fastlandet och den miljön som rådde vid Öland och Gotland. Detta tyder på att havsbotten i Östersjön under mellankambrium var ett måttligt djupt hav vars botten sluttade mot väster, där transporten av partiklar inte var lika stark som på Öland, vilket gav en mindre mäktighet på avlagringen. Detta stärks också av alunskiffern i Sveriges mellankambriska lager, vars bildningsmiljö var syrefattig och rik på organiskt material.

Den största delen av Skandinavien bör ha varit täckt av vatten, vilket stärks av den genomgående finkornigheten i de mellankambriska lagren i Östersjön och på fastlandet. Sediment har kommit österifrån, där starka strömmar förde med sig lerpartiklar till och över den västra shelfens brant. Dock är det klart att en havsnivåsänkning inträffade i början av mellankambrium, vilket stärks i Tingskullenkärnan av den erosionsyta som finns i basen av de mellankambriska lagren. Man vet sedan tidigare att det så kallade Hawk Bay Eventet orsakade en tillbakagång av havet i Östersjöområdet och i övriga Skandinavien. Därefter kunde konglomerat avsättas i den nya miljön, vilket stärks av Tingskullens litologi. Men efter konglomeratet har havsytan stigit; avsättningen av tunna lager sandsten och sedan slamsten tyder på att havsnivån höjdes relativt snabbt där mer grovkorniga partiklar inte blev avsatta innan nivån hade höjts ytterligare. Att slamstenen fortsätter relativt ostört, förutom mindre siltstenslagren, tyder på en stabil shelfmiljö, troligtvis på den inre shelfen då bentiska organisms aktivitet fortsatte vara hög.

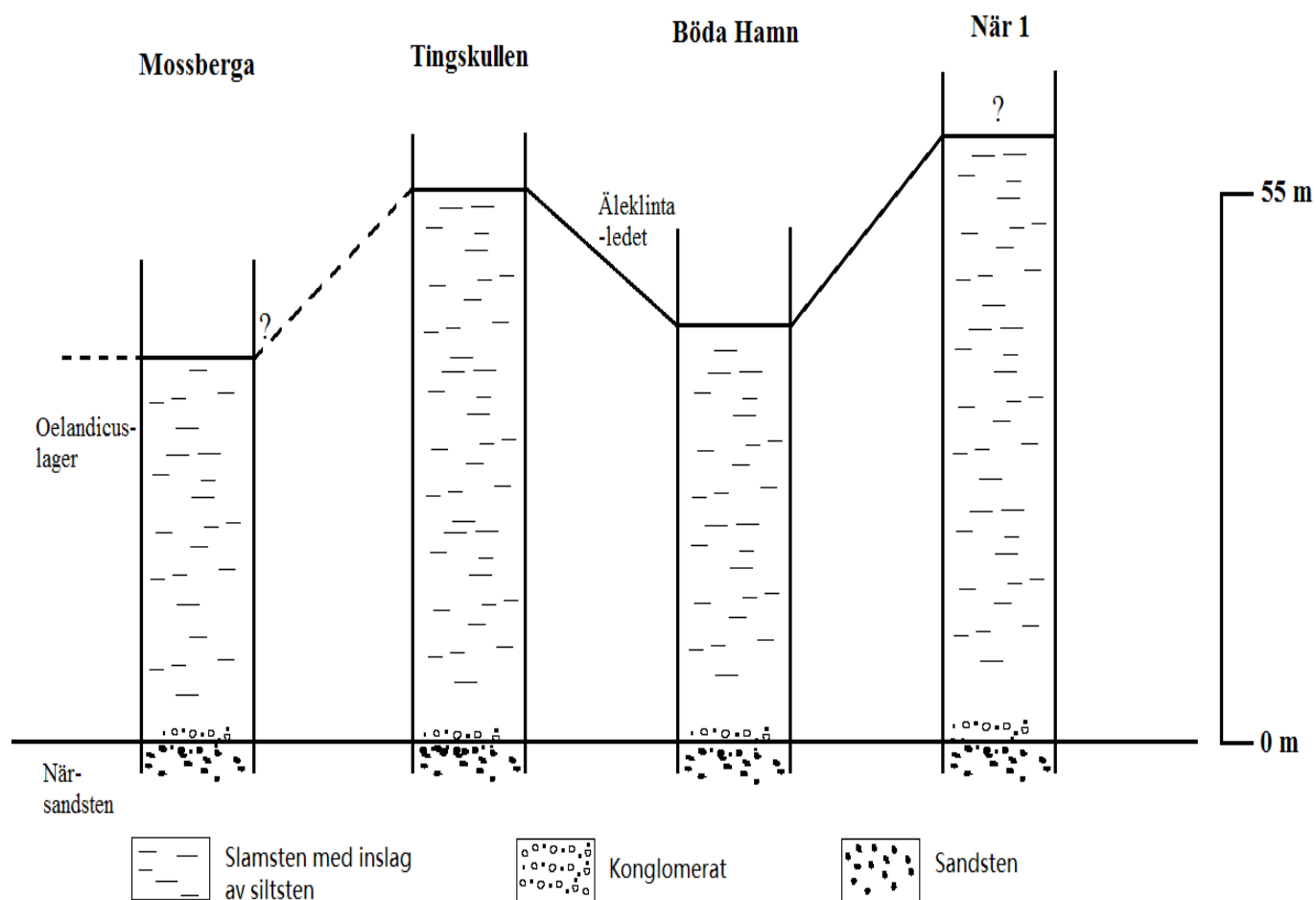


Fig. 8. Oelandicuslagrens mäktighet i södra Östersjöområdet (Öland och Närborningen på Gotland).

Den skiftande silt-slamstenen kan bero på stormar som satte havsbottnens sediment i rörelse, så områdets position kan ha varit på den yttersta delen av den inre shelfen. Där kan biologisk aktivitet ha varit hög samtidigt som slamsten dominerade under denna del av mel-lankambrium.

6. Tack

Under den korta tid som jag har spenderat med mitt arbete har jag fått stort stöd från min handledare Per Ahlberg. Per har varit en enormt bra handledare och kamrat under arbetets gång. Hans hjälp med litteratursökande, fotografering, identifiering och en massa annat har varit mer än vad jag vågade hoppas på.

7. Referenser

- Ahlberg, P., 1989: Cambrian stratigraphy of the När 1 deep well, Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 111, 137–148.
- Ahlberg, P. & Terfelt, F., 2012: Furongian (Cambrian) agnostoids of Scandinavia and their implications for intercontinental correlation. *Geological Magazine* 149, 1001–1012.
- Andersson, A., Dahlman, B., Gee, D.G. & Snäll, S., 1985: The Scandinavian Alum Shales. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca* 56, 1–50.
- Axheimer, N., 2006: The lower and middle Cambrian of Sweden: trilobites, biostratigraphy and intercontinental correlation. *LITHOLUND theses* 10, 1–21.
- Axheimer, N. & Ahlberg, P., 2003: A core drilling through Cambrian strata at Almbacken, Scania, S. Sweden: trilobites and stratigraphical assessment. *GFF* 125 139–156.
- Babcock, L.E., Robison, R.A., Rees, M.N., Peng, S.C. & Saltzman, M.R., 2007: The Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Drumian Stage (Cambrian) in the Drum Mountains, Utah, USA. *Episodes* 30, 84–94.
- Bergström, J. & Ahlberg, P., 1981: Uppermost Lower Cambrian biostratigraphy in Scania, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 103, 193–214.
- Calner, M., Lehnert, O., Wu, Rongchang, Dahlqvist, P. & Joachimski, M. 2014: $\delta^{13}\text{C}$ chemostratigraphy in the Lower-Middle Ordovician succession of Öland (Sweden) and the global significance of the MDICE. *GFF* 136, 48–54.
- Dahlqvist, P., Calner, M., Lehnert, O. & Ahlberg, P., 2013: A complete record of the ‘Lower’ Cambrian–Middle Ordovician succession of Öland, southern Sweden, based on the Tingskullen core. *Proceedings of the 3rd IGCP 591 Annual Meeting – Lund, Sweden, 9–19 June 2013*, 74–75. Lund University.
- Martinsson, A., 1974: The Cambrian of Norden. In C.H. Holland (ed.): *Lower Palaeozoic Rocks of the World. 2. Cambrian of the British Isles, Norden, and Spitsbergen*, 185–283. John Wiley & Sons, London.
- Nielsen, A. T. & Schovsbo N. H. 2007: Cambrian to basal Ordovician lithostratigraphy in southern Scandinavia. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 53, 47–92.
- Nielsen, A. T., Weidner, T., Terfelt, F. & Høyberget, M., 2014: Upper Cambrian (Furongian) biostratigraphy in Scandinavia revisited: definition of superzones. *GFF* 136, 193–197.
- Peng, S. C., Babcock, L. E., and Cooper, R. A. 2012. The Cambrian System. In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., and Ogg, G. (eds.), *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Boston, pp. 437–488.
- Peng, S.C. & Babcock, L.E., 2011. Continuing progress on chronostratigraphic subdivision of the Cambrian System. *Bulletin of Geosciences* 86, 391–396.
- Peng, S.C., Babcock, L.E., Robinson, R.A., Lin, H., Rees, M.N. & Saltzman, M.R., 2004: Global Standard Stratotype-section and Point (GSSP) of the Furongian Series and Paiban Stage (Cambrian). *Lethaia* 37, 365–379.
- Peng, S., Babcock, L.E., Zuo, J., Lin, H., Zhu, X., Yang, X., Robison, R.A., Qi, Y., Bagnoli, G., & Chen, Y. 2009. The global boundary stratotype section and Point (GSSP) of the Guzhangian Stage (Cambrian) in the Wuling Mountains, north west ern Hunan, China. *Episodes* 32, 41–55.
- Sjögren, A., 1871: Bidrag till Ölands geologi. *Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar* 1871, 673–681.
- Sjögren, A. 1872: Om några försteningar i Ölands kambriska lager. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 1, 67–80.
- Wærn, B., 1952: Palaeontology and stratigraphy of the Cambrian and lowermost Ordovician of the Bödahamn core. *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala* 34, 223–250.
- Weidner, T. & Nielsen A.T. 2014: A highly diverse trilobite fauna with Avalonian affinities from the Middle Cambrian *Acidusus atavus* Zone (Drumian Stage) of Bornholm, Denmark. *Journal of Systemat-*

- ic Palaeontology* 12, 23–92.
- Weidner, T., Rushton, A.W.A. & Ebbestad, J.O.R. 2014: A paradoxidid–agnostoid fauna from the mid Cambrian (Stage 5) of the Caledonian Lower Allochthon on Tåsjöberget, Ångermanland, Sweden. *GFF* 136, 513–530.
- Westergård, A.H., 1936: *Paradoxides oelandicus* beds of Öland with the account of a diamond boring through the Cambrian at Mossberga. *Sveriges Geologiska Undersökning* C394, 1–66.
- Westergård, A.H., 1940: Nya djupborrningar genom äldsta ordovicium och kambrium i Östergötland och Närke. *Sveriges Geologiska Undersökning* C437, 1–72.
- Westergård, A.H., 1946: Agnostidea of the Middle Cambrian of Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning* C477, 1–140

Tidigare skrifter i serien

”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

421. Martin, Ellinor, 2014: Chrome spinel grains from the Komstad Limestone Formation, Killeröd, southern Sweden: A high-resolution study of an increased meteorite flux in the Middle Ordovician. (45 hp)
422. Gabrielsson, Johan, 2014: A study over Mg/Ca in benthic foraminifera sampled across a large salinity gradient. (45 hp)
423. Ingvaldson, Ola, 2015: Ansvarsutredningar av tre potentiellt förorenade fastigheter i Helsingborgs stad. (15 hp)
424. Robygd, Joakim, 2015: Geochemical and palaeomagnetic characteristics of a Swedish Holocene sediment sequence from Lake Storsjön, Jämtland. (45 hp)
425. Larsson, Måns, 2015: Geofysiska undersökningsmetoder för geoenergisystem. (15 hp)
426. Hertzman, Hanna, 2015: Pharmaceuticals in groundwater - a literature review. (15 hp)
427. Thulin Olander, Henric, 2015: A contribution to the knowledge of Fårö's hydrogeology. (45 hp)
428. Peterffy, Olof, 2015: Sedimentology and carbon isotope stratigraphy of Lower-Middle Ordovician successions of Slemestad (Oslo-Asker, Norway) and Brunflo (Jämtland, Sweden). (45 hp)
429. Sjunnesson, Alexandra, 2015: Spårämnesförsök med nitrat för bedömning av spridning och uppehållstid vid återinfiltration av grundvatten. (15 hp)
430. Henao, Victor, 2015: A palaeoenvironmental study of a peat sequence from Iles Kerguelen (49° S, Indian Ocean) for the Last Deglaciation based on pollen analysis. (45 hp)
431. Landgren, Susanne, 2015: Using calcein-filled osmotic pumps to study the calcification response of benthic foraminifera to induced hypoxia under *in situ* conditions: An experimental approach. (45 hp)
432. von Knorring, Robert, 2015: Undersökning av karstvittring inom Kristianstadsslättens NV randområde och bedömning av dess betydelse för grundvattnets sårbarhet. (30 hp)
433. Rezvani, Azadeh, 2015: Spectral Time Domain Induced Polarization - Factors Affecting Spectral Data Information Content and Applicability to Geological Characterization. (45 hp)
434. Vasilica, Alexander, 2015: Geofysisk karaktärisering av de ordoviciska kalkstensenheter på södra Gotland. (15 hp)
435. Olsson, Sofia, 2015: Naturlig nedbrytning av klorerade lösningsmedel: en modellering i Biochlor baserat på en fallstudie. (15 hp)
436. Huitema, Moa, 2015: Inventering av föroreningar vid en brandövningsplats i Linköpings kommun. (15 hp)
437. Nordlander, Lina, 2015: Borrningsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter. (15 hp)
438. Fennvik, Erik, 2015: Resistivitet och IP-mätningar vid Äspö Hard Rock Laboratory. (15 hp)
439. Pettersson, Johan, 2015: Paleoekologisk undersökning av Triborga mosse, sydöstra Öland. (15 hp)
440. Larsson, Alfred, 2015: Mantelpolymer - realitet eller *ad hoc*? (15 hp)
441. Holm, Julia, 2015: Markskador inom skogsbruket - jordartens betydelse (15 hp)
442. Åkesson, Sofia, 2015: The application of resistivity and IP-measurements as investigation tools at contaminated sites - A case study from Kv Renen 13, Varberg, SW Sweden. (45 hp)
443. Lönsjö, Emma, 2015: Utbredningen av PFOS i Sverige och världen med fokus på grundvattnet – en litteraturstudie. (15 hp)
444. Asani, Besnik, 2015: A geophysical study of a drumlin in the Åsnen area, Småland, south Sweden. (15 hp)
445. Ohlin, Jeanette, 2015: Riskanalys över pesticidförekomst i enskilda brunnar i Sjöbo kommun. (15 hp)
446. Stevic, Marijana, 2015: Identification and environmental interpretation of microtextures on quartz grains from aeolian sediments - Brattforsheden and Vittskövle, Sweden. (15 hp)
447. Johansson, Ida, 2015: Is there an influence of solar activity on the North Atlantic Oscillation? A literature study of the forcing factors behind the North Atlantic Oscillation. (15 hp)
448. Halling, Jenny, 2015: Inventering av sprickmineraliseringar i en del av Sorgenfrei-Tornquistzonen, Dalby stenbrott, Skåne. (15 hp)
449. Nordas, Johan, 2015: A palynological study across the Ordovician Kinnekulle.

- (15 hp)
450. Åhlén, Alexandra, 2015: Carbonatites at the Alnö complex, Sweden and along the East African Rift: a literature review. (15 hp)
 451. Andersson, Klara, 2015: Undersökning av slugtestsmetodik. (15 hp)
 452. Ivarsson, Filip, 2015: Hur bildades Bushveldkomplexet? (15 hp)
 453. Glommé, Alexandra, 2015: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in plagioclase, evidence for a crustal origin of the Hakefjorden Complex, SW Sweden. (45 hp)
 454. Kullberg, Sara, 2015: Using Fe-Ti oxides and trace element analysis to determine crystallization sequence of an anorthositic intrusion, Älgön SW Sweden. (45 hp)
 455. Gustafsson, Jon, 2015: När började platttektoniken? Bevis för platttektoniska processer i geologisk tid. (15 hp)
 456. Bergqvist, Martina, 2015: Kan Ölands grundvatten öka vid en uppdämning av de utgrävda diken genom strandvallarna på Ölands östkust? (15 hp)
 457. Larsson, Emilie, 2015: U-Pb baddeleyite dating of intrusions in the south-easternmost Kaapvaal Craton (South Africa): revealing multiple events of dyke emplacement. (45 hp)
 458. Zaman, Patrik, 2015: LiDAR mapping of presumed rock-cored drumlins in the Lake Åsnen area, Småland, South Sweden. (15 hp)
 459. Aguilera Pradenas, Ariam, 2015: The formation mechanisms of Polycrystalline diamonds: diamondites and carbonados. (15 hp)
 460. Viehweger, Bernhard, 2015: Sources and effects of short-term environmental changes in Gullmar Fjord, Sweden, inferred from the composition of sedimentary organic matter. (45 hp)
 461. Bokhari Friberg, Yasmin, 2015: The paleoceanography of Kattegat during the last deglaciation from benthic foraminiferal stable isotopes. (45 hp)
 462. Lundberg, Frans, 2016: Cambrian stratigraphy and depositional dynamics based on the Tomten-1 drill core, Falbygden, Västergötland, Sweden. (45 hp)
 463. Flindt, Anne-Cécile, 2016: A pre-LGM sandur deposit at Fiskarheden, NW Dalarna - sedimentology and glaciotectionic deformation. (45 hp)
 464. Karlatou-Charalampopoulou, Artemis, 2016: Vegetation responses to Late Glacial climate shifts as reflected in a high resolution pollen record from Blekinge, south-eastern Sweden, compared with responses of other climate proxies. (45 hp)
 465. Hajny, Casandra, 2016: Sedimentological study of the Jurassic and Cretaceous sequence in the Revinge-1 core, Scania. (45 hp)
 466. Linders, Victor, 2016: U-Pb geochronology and geochemistry of host rocks to the Bastnäs-type REE mineralization in the Riddarhyttan area, west central Bergslagen, Sweden. (45 hp)
 467. Olsson, Andreas, 2016: Metamorphic record of monazite in aluminous migmatitic gneisses at Stensjöstrand, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
 468. Liesirova, Tina, 2016: Oxygen and its impact on nitrification rates in aquatic sediments. (15 hp)
 469. Perneby Molin, Susanna, 2016: Embryologi och tidig ontogeni hos mesozoiska fisködlor (Ichthyopterygia). (15 hp)
 470. Benavides Höglund, Nikolas, 2016: Digitization and interpretation of vintage 2D seismic reflection data from Hanö Bay, Sweden. (15 hp)
 471. Malmgren, Johan, 2016: De mellankambriska oelandiclagren på Öland - stratigrafi och facietyper. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund