

Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, maktigheter och faciestyper

Frans Lundberg

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 306
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2012

Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och faciestyper

Kandidatarbete
Frans Lundberg

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2012

Innehåll

1 Introduktion	5
2 Fossil fauna	6
3 Bildningsmiljö	6
4 Biostratigrafi	8
5 Material och metoder.....	8
5.1 Litteraturstudie.....	8
5.2 Borrkärna	8
6 Alunskiffern i Västergötland.....	8
7 Furongium i Västergötland	9
7.1 Utbredning	9
7.2 Mäktighet.....	9
7.3 Faciestyper.....	9
7.4 Spårämnen och geokemi.....	9
7.5 Fossil fauna.....	10
8 Resultat, tolkning och diskussion av borrhölet.....	11
8.1 Resultat	11
8.2 Tolkning och diskussion	11
9 Slutsatser.....	12
10 Tack.....	13
11 Referenser	13

Omslagsbild: Senkambrisk alunskiffer vid Kakeled på Kinnekulle. Foto Per Ahlberg.

Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och faciestyper

FRANS LUNDBERG

Lundberg, F., 2012: Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och faciestyper. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 306, 14 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Litteraturstudier har genomförts i avseende att beskriva Västergötlands senkambriska (furongiska) lagerföljd. Vidare har en borrhäla (29,85 m) genom alunskifferformationen vid Torbjörntorp analyserats med avseende på litologier och fossilinnehåll. Furongium i Västergötland når en mäktighet av 9,5–12,5 m. Trilobiter och agnostider dominerar i regel de fossila faunorna och ligger till grund för den biostratigrafiska indelningen. Fossil påträffas i allmänhet endast i orstenar, medan alunskiffern är fossilfri eller fossilfattig med dåligt bevarade fossil. Biostratigrafiska undersökningar, särskilt baserade på olenida trilobiter, har visat att furongium i Västergötland innehåller ett flertal luckor i lagerföljden. Dessa är lokaliserade till den undre och mellersta delen av furongium. Dessutom saknas den översta delen av furongium. De västgötska alunskifferarna tycks vara avsatta under grunda förhållanden där vågor ibland nådde bottnarna. Förekomst av konglomerat och breccia tyder på erosion och omlagring av lagerföljden i samband med regressioner och transgressioner.

Furongium i borrhälan omfattar totalt cirka 9,75 m och består till mer än 75 % av alunskiffer. Endast ett fåtal nivåer med bioklastiska kalkstenar har dokumenterats. Avsättningen tycks därför skett på relativt djupt vatten med endast sporadisk tillförsel av grovkorniga, bioklastiska kalkstenar. Liksom i andra delar av Västergötland finns det uppenbarligen ett flertal luckor i borrhälan.

Nyckelord: Alunskiffer, orsten, stratigrafi, trilobiter, agnostider, kambrium, furongium, Torbjörntorp, Västergötland.

Handledare: Per Ahlberg

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

Frans Lundberg, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: frans.a.lundberg@gmail.com

The late Cambrian alum shale of Sweden – distribution, thicknesses and facies types

FRANS LUNDBERG

Lundberg, F., 2012: The late Cambrian alum shale of Sweden – distribution, thicknesses and facies types. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 306, 14 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: Literature studies have been made in order to describe the late Cambrian (Furongian) succession in Västergötland. In addition, a drill core (29.85 m) through the Alum Shale Formation has been studied with respect to lithologies and faunal content. The Furongian of Västergötland attains a thickness of 9.5–12.5 m. Trilobites and agnostoids generally dominate the faunas and they form the basis for the biostratigraphic subdivision. Fossils are generally restricted to limestone beds and limestone concretions (*orsten*), whereas the alum shale is barren or poorly fossiliferous. Biostratigraphic analyses, in particular based on the succession of olenid trilobites, have shown the presence of several gaps in the Furongian of Västergötland. Most of these are in the lower and middle part of the Furongian. In addition, the uppermost part of the Furongian is missing. Most of the Furongian of Västergötland seems to have been deposited in a shallow marine environment, occasionally affected by waves and currents. The presence of conglomerates and breccias indicates erosion and reworking associated with regressions and transgressions.

The Furongian in the drill core has a thickness of 9.75 m. It consists predominantly of alum shale (more than 75 %). Only a few intervals with bioclastic limestones occur, suggesting that deposition generally took place in relatively deep waters with only sporadic influx of coarse-grained bioclastics. As in other areas of Västergötland there are obviously several breaks in the Furongian part of the drill core.

Keywords: Alum shale, orsten, stratigraphy, trilobites, agnostoids, Cambrian, Furongian, Torbjörntorp, Västergötland.

Frans Lundberg, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: frans.a.lundberg@gmail.com

1 Introduktion

Alunskiffer är en mörkgrå till svart skiffer med inslag av kalkkonkretioner (orstenar) och sammanhängande lager av kalksten. Den är mycket rik på pyrit och organiskt material och innehåller förhöjda halter av olika grundämnen (Andersson et al. 1985). Alunskiffern har fått sitt namn efter alun, ett kaliumaluminiumsulfat som tidigare utvanns från denna skiffer. Alunframställning från skiffer hade sin storhetstid under 1700- och 1800-talet. Alunskiffern förekommer inom flertalet kambrosiluområden i Skandinavien och sträcker sig stratigrafiskt från mellankambrium (kambrium serie 3) till underordovicium (tremadoc). I allmänhet är alunskiffern omkring 20 meter mäktig, men kan i Skåne och Oslo-området nå en mäktighet av uppemot 100 meter (Buchardt et al. 1997, fig. 7).

Alunskiffern avsattes i ett vidsträckt, syrefattigt grundhav med extremt långsam sedimentation och karakteriseras av ett högt innehåll av välbevarat organiskt material och de högsta kända halterna av uran i någon skiffer man känner till (Buchardt et al. 1997). Den vida laterala utbredningen och den förhållandevis enhetliga utbildningen tyder på deposition på en stabil plattform med få vertikala rörelser (Bergström & Gee 1985). Förekomsten av luckor och nivåer med konglomeratiska kalkstenar tyder emellertid på att avsättning-

en påverkades av variationer i havsytans läge. Alunskiffern har studerats ingående på grund av dess ekonomiska betydelse som en potentiell moderbergart för kolväten och för sitt innehåll av spårelement (Thickpenny 1987).

Gränsen mellankambrium och furongium representerar en period med stora miljöförändringar och i såväl Skandinavien som globalt finns det påfallande skillnader mellan trilobitfaunorna i toppen på mellankambrium (guzhangian-etagen) och understa furongium (Eriksson & Terfelt 2007; Ahlberg et al. 2009). Diversiteten är påtagligt lägre för agnostiderna i furongium än i guzhangian-etagen (Ahlberg 1998; Ahlberg & Terfelt 2012). Trilobiternas snabba evolution och klara morfologiska skillnader mellan olika arter och släkten gör att de används för relativ åldersbestämning och biostratigrafisk indelning av alunskifferlagerföljderna (t.ex. Westergård 1922, 1946, 1947; Terfelt et al. 2008).

Syftet med denna studie är att kartlägga den furongiska alunskiffern i Västergötland (Fig. 1). Uppsatsen bygger till stora delar på litteraturstudier över redan publicerat material. Dessutom har en borrhäls studerats och försök har sedan gjorts för att karakterisera och beskriva variationer i litologi och fossilinnehåll.

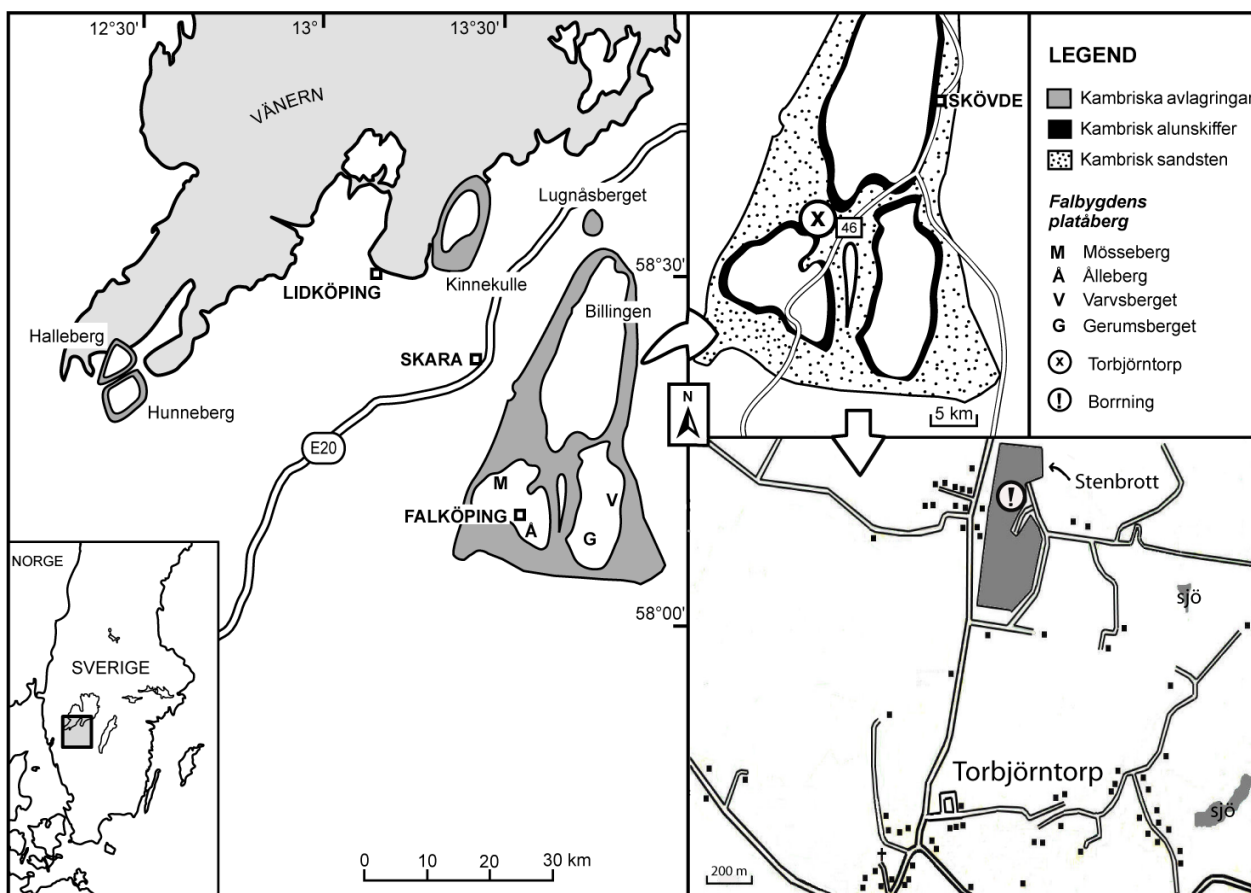


Fig. 1. Utbredningen av kambrium i Västergötland och lokaliseringen av borrhäls i Tomtens alunskifferbrott norr om Torbjörntorp (modifierad från Axheimer et al. 2006).

2 Fossil fauna

Alunskifferns fauna har extremt låg diversitet, men individantalet är ofta stort (t.ex. Westergård 1922, 1947; Henningsmoen 1957; Terfelt et al. 2008, 2011). Trilobiter inom familjen Olenidae och agnostider dominerar vanligen de fossila faunorna i den furongiska delen av alunskiffern. I regel förekommer endast ett fåtal, ibland endast en art, med en kort utbredning i tiden (Westergård 1922, 1943). Oleniderna representerar en trilobitgrupp speciellt anpassad till låga syrehalter (Schovsbo 2001). Agnostider är i huvudsak begränsade till tre intervall i Skandinavien furongium (Ahlberg & Terfelt 2012). Utöver trilobiter och agnostider innehåller alunskiffer från furongium ibland phosphatocopiner, conodonte och brachiopoder (t.ex. Westergård 1922, 1947; Müller & Hintz 1991; Szaniawski & Bengtson 1998; Eriksson & Terfelt 2007). Från kalkstenar i alunskiffern har det också beskrivits små, fosfatiserade och extremt välbevarade fossil, främst mikroskopiskt små kräftdjur (t.ex. Müller & Walossek 1985; Maas et al. 2003). Flertalet organismer i alunskiffern tycks ha levt på mjuka bottenar, men havsbottenen måste tidvis ha varit fast nog för att tillåta kolonisation av sessila djur (Ahlberg et al. 2005).

3 Bildningsmiljö

Större delen av Baltica utgjorde ett landområde och påverkades inte av bergskedjebildning eller omfattande tektonik i slutet av prekambrium. Därför kunde vittring och erosion ske under miljontals år och det resulterade successivt i ett peneplan som var färdigbildat vid slutet av proterozoikum (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011). Därefter blev kontinenten gradvis översvämmad och ovanpå peneplanet avsattes grovkorniga siliciklastiska sediment. Efter ett sedimentationsuppehåll i slutet av tidigkambrium följde avsättning av i huvudsak finkorniga sediment med inslag av kalkstenar i mellan- och senkambrisk tid (kambrium serie 3 och i furongium; Buchardt et al. 1997; Nielsen & Schovsbo 2006). När den kambriska lagerföljden avsattes låg Baltica på omkring S 40° inom den tempererade zonen (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011).

Alunskiffern i Skandinavien tolkas i regel som en grundhavsavlagring (t.ex. Westergård 1922; Terfelt 2003). Studier av orienteringen av cephaler och pygidier av agnostider i alunskifferformationen visar att dessa avsattes under inflytande av vattenströmmar eller tidvatten, vilket tyder på grunda förhållanden med

A			B			C			D			
Serie	Zoner	Zoner	Serie	Zoner	Zoner	Serie	Zoner	Zoner	Serie	Agnostider	Polymerida trilobiter	
Överkambrium	Acerocare, Parabolina	Acerocare	Acerocare	Peltura Zoner	Acerocare ecorne	Peltura Zoner	Acerocare	Acerocare ecorne	Trilobagnostus holmi	Zoner	Acerocare ecorne	
		Westergardia			Westergardia			Westergardia scanica				
		Acerocarina			Peltura costata			Peltura costata				
		Parabolina heres			Peltura transiens			Peltura transiens				
	Peltura, Sphaerophthalmus, Ctenopyge	Parabolina megalops			Peltura paradoxa			Peltura paradoxa			Peltura minor	Peltura paradoxa
		Parabolina lobata			Parabolina lobata			Parabolina lobata				
		Peltura scarabaeoides			Ctenopyge linnarssoni			Ctenopyge linnarssoni				
		Peltura minor, Peltura acutidens			Ctenopyge bisulcata			Ctenopyge bisulcata				
		Ctenopyge angusta, Ctenopyge flagellifera			Ctenopyge affinis			Ctenopyge affinis				
		Leptoplastus neglectus			Ctenopyge tumida			Ctenopyge tumida				
		Leptoplastus stenotus			Ctenopyge spectabilis			Ctenopyge spectabilis				
		Leptoplastus angustatus			Ctenopyge similis			Ctenopyge similis				
	Leptoplastus, Eurycare	Leptoplastus ovatus, Eurycare latum	Ctenopyge flagellifera	Ctenopyge flagellifera	Protopeltura praecursor	Ctenopyge postcurrentis						
		Leptoplastus raphidophorus	Ctenopyge postcurrentis	Ctenopyge postcurrentis								
		Leptoplastus paucisegmentatus	Leptoplastus neglectus	Leptoplastus neglectus								
		Parabolina spinulosa	Leptoplastus stenotus	Leptoplastus stenotus								
	Olenus	Parabolina spinulosa	Leptoplastus	Leptoplastus angustatus	Leptoplastus	Leptoplastus angustatus	Parabolina spinulosa	Leptoplastus ovatus	Parabolina spinulosa	Furongium	Pseudagnostus cyclopyge	Leptoplastus ovatus
		Parotopeltura aciculata, Parabolina brevispina		Leptoplastus ovatus		Leptoplastus ovatus		Leptoplastus crassicornis				
		Cyclotron angelini, Olenus scanicus		Leptoplastus raphidophorus		Leptoplastus raphidophorus		Leptoplastus raphidophorus				
		Olenus dentatus		Leptoplastus paucisegmentatus		Leptoplastus paucisegmentatus		Leptoplastus paucisegmentatus				
		Olenus attenuatus		Parabolina spinulosa		Parabolina spinulosa		Parabolina spinulosa				
		Olenus wahlenbergi		Parabolina brevispina		Parabolina brevispina		Parabolina brevispina				
		Olenus truncatus		Olenus scanicus		Olenus scanicus		Olenus scanicus				
		Olenus transversus, Olenus gibbosus		Olenus dentatus		Olenus dentatus		Olenus dentatus				
Agnostus pisiformis		Agnostus (Homagnostus) obesus		Olenus wahlenbergi		Olenus attenuatus		Olenus attenuatus				Olenus wahlenbergi
				Olenus truncatus		Olenus truncatus		Olenus truncatus				
Agnostus pisiformis	Agnostus pisiformis	Olenus gibbosus	Olenus gibbosus	Olenus gibbosus	Olenus gibbosus							
		Agnostus pisiformis	Agnostus pisiformis	Agnostus pisiformis	Agnostus pisiformis	Agnostus pisiformis						

Serie	Agnostider	Polymerida trilobiter	Hunneberg	Kinnekulle	Billingen-Falbygden
	Zoner	Zoner			
Furungium	<i>Trilobagnostus holmi</i>	<i>Acerocare ecorne</i>			
		<i>Westergardia scanica</i>			
		<i>Peltura costata</i>			
		<i>Peltura transiens</i>			
		<i>Peltura paradoxa</i>			
		<i>Parabolina lobata</i>			
		<i>Ctenopyge linnarssoni</i>			
		<i>Ctenopyge bisulcata</i>			
	<i>Lotagnostus americanus</i>	<i>Ctenopyge affinis</i>			
		<i>Ctenopyge tumida</i>			
		<i>Ctenopyge spectabilis</i>			
	<i>Pseudagnostus cyclopyge</i>	<i>Ctenopyge similis</i>			
		<i>Ctenopyge flagellifera</i>			
		<i>Ctenopyge postcurrentis</i>			
		<i>Leptoplastus neglectus</i>			
		<i>Leptoplastus stenotus</i>			
		<i>Leptoplastus ovatus</i>			
		<i>Leptoplastus crassicornis</i>			
		<i>Leptoplastus raphidophorus</i>			
		<i>Leptoplastus paucisegmentatus</i>			
		<i>Parabolina spinulosa</i>			
		<i>Parabolina brevispina</i>			
	<i>Glyptagnostus reticulatus</i>	<i>Olenus scanicus</i>			
		<i>Olenus dentatus</i>	?		
		<i>Olenus attenuatus</i>			
		<i>Olenus wahlenbergi</i>	?		
		<i>Olenus truncatus</i>	?		
		<i>Olenus gibbosus</i>			

Fig. 3. Den furongiska lagerföljden i Västergötland. Vitt representerar luckor i lagerföljden. Baserad på Westergård (1947), Martinsson (1974), Terfelt et al. (2008) och Weidner & Nielsen (2011).

vågor som ibland nådde bottenarna (Terfelt 2003; Eklöf et al. 1999).

Djupa vattenförhållanden är inte en förutsättning för bildning av finkoriga sediment. Sådana kan bildas även på mycket grunt vatten (Westergård 1943). Alunskifferns avsattes sannolikt på ett djup som inte översteg 200 meter, eftersom över- och underliggande sediment är avsatta under grunda förhållanden (Thickpenny 1987). Konglomeraten i alunskiffern betraktades av Westergård (1922; 1943) som strand- eller grundvattenbildningar. Inom vissa intervall, särskilt i de proximala delarna av alunskifferhavet, är orstenarna och kalkstenarna konglomeratiska eller breccierade, vilket avspeglar att det skett erosion och omlagring av lagerföljderna till följd av upprepade höjningar och sänkningar av havsytans läge (Westergård 1943). Vid övergången mellan kambrium och ordovicium har åtminstone delar av Västergötland med omnejd legat ovanför havsytan, eftersom de översta zonerna i kambrium och understa ordovicium saknas (Westergård

1943, 1947). Lokalt finns en tunn glaukonitisk enhet i gränsintervallet och toppen på den översta kalkstenbanken i kambrium är ljusgrå förmodligen på grund av oxidation (Westergård 1943). I Västergötland har det dessutom påvisats ytor med karstvittring i kakeledskalkstenen ("stora orstensbanken") och i toppen på kambrium (Lehnert et al. 2012). Ovanpå karstytorna i kakeledskalkstenen finns det ofta en massförekomst av en kalkskalig brachiopod, *Orusia lenticularis* (Lehnert et al. 2012).

Innehållet av sulfider och organiskt material tyder på att botten i princip var fri från syre under långa perioder, då det saltrika bottenhavet oftast inte blandades med det syrerika ytvattnet (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011).

Den höga andelen trilobiter behöver inte bero på att många individer levde samtidigt i denna miljö. Trilobiter ömsade sina skal och den långsamma sedimentationen kan resultera i en anrikning av trilobitres-ter (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011).

Massförekomster av trilobiter kan bero på korta perioder av hög syrehalt (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011).

4 Biostratigrafi

Fossilinnehållet i alunskifferformationen har studerats i mer än tvåhundra år. Trilobiter och agnostider har använts för biostratigrafisk indelning mellan- och överkambrium i Skandinavien ända sedan Nathorst (1869, 1877) indelning av alunskifferformationen i olika zoner. Den furongiska delen av formationen innehåller rikligt med olenida trilobiter och ibland även agnostider. Westergård (1922, 1947) beskrev i detalj dessa fossils geografiska och stratigrafiska utbredning i Sverige, och på basis av deras vertikala fördelning indelade han (1947) Sveriges furongium i fem trilobitzoner och 23 subzoner (Fig. 2A). Henningsmoen (1957) reviderade denna indelning och urskilde 7 trilobitzoner och 31 subzoner i Skandinavien (Fig. 2B). Denna indelning modifierades något av Ahlberg (2003), som menade att den furongiska delen av kambrium kan delas in i sju zoner och 28 subzoner (Fig. 2C). Noteras bör att *Agnostus pisiformis*-zonen inte bildar basen av furongium, utan numera bildar toppen av guzhangian-etagen (t.ex. Ahlberg et al. 2009; Terfelt et al. 2008).

Samtliga zoner utom den understa, d.v.s. *Agnostus (Homagnostus) obesus*-zonen, är baserade på olenidernas utbredning i lagerföljden. Oleniderna har emellertid en begränsad geografisk utbredning och kan i regel inte användas för interkontinentala korrelationer (Ahlberg 2003). Många agnostider har emellertid visat sig ha en vid geografisk utbredning och används för globala korrelationer i furongium (Ahlberg & Ahlgren 1996; Ahlberg 2003; Terfelt & Ahlberg 2010; Ahlberg & Terfelt 2012). I Skandinavien furongium är, som noterats ovan, agnostider i huvudsak begränsade till tre intervall (Ahlberg & Terfelt 2012).

Den furongiska biostratigrafin i Skandinavien har nyligen reviderats av Terfelt et al. (2008, 2011), som etablerade två parallella zoner, en zonering (fyra zoner) baserad på agnostider och en zonering (28 zoner) baserad på olenida (polymerida) trilobiter (Fig. 2D). Fördelen med denna indelning är att den underlättar global korrelation. Samtliga zoner är väl definierade efter den första förekomsten av zonfossil, och referenssektioner har angetts för varje zons undre gräns (Terfelt et al. 2008).

5 Material och metoder

5.1 Litteraturstudie

En stor mängd vetenskapliga publicerade verk har studerats både under projektets inledning och under arbetets gång. Syftet med litteraturstudierna är att erhålla kunskap inom ämnesområdet, men även att sammanställa information om Västergötlands alunskiffer.

5.2 Borrkärna

En 29,85 meter lång borrkärna från Tomtens alunskifferbrott norr om Torbjörntorp, Västergötland, har studerats. Borrningen utfördes i oktober 2005 av Skårby Kärnbörning AB på uppdrag av Geologiska institutionen i Lund. Borrkärnan har diametern 70 mm och förvaras på Geologiska institutionen i Lund. Den har översiktligt beskrivits med avseende på litologier och färgvariationer. Naturliga brottytor har studerats för att erhålla ytterligare information (kornstorlek, fossil m.m.). Borrkärnan har därefter fotograferats (Canon Powershot SD1000). För att lokalisera fler fossil har borrkärnan i slutskedet delats vid ett antal nivåer med hammare. Fossil från brottytorna har studerats i lupp-mikroskop. För identifiering av trilobiter och agnostider har Westergårds (1922) utförliga arbete använts. Innan fossilen fotograferades (Canon EOS550D) täcktes de med salmiak. Data som insamlats har använts för att beskriva litologier, och med hjälp av fossil har försök gjorts att indela borrkärnan i relativ ålder. Studierna av borrkärnans facies har koncentrerats till den furongiska delen. Ovan- och underliggande lagerföljder är mindre utförligt dokumenterade.

6 Alunskiffern i Västergötland

Alunskiffer finns inom alla Västergötlands platåberg: Halleberg och Hunneberg, Kinnekulle, platåbergen i Billingen-Falbygden-området och Lugnåsberget (Fig. 1). Alla dessa berg, utom Lugnåsberget, är täckta av diabas (Martinsson 1974). Orsaken till att de mjuka sedimentära bergarterna finns bevarade är att de täcks av diabas, som är betydligt mer resistent mot vittring än de underliggande bergarterna. Diabasen trängde in i lagerföljderna under yngre karbon till äldre perm (Calner & Ahlberg 2011). Alunskiffern i Västergötland har en mäktighet om cirka 22–24 meter (Westergård 1943; Martinsson 1974). Det finns få naturliga skärningar, men alunskiffern är blottad i många gamla kalkbrott (Westergård 1922). Den underordoviciska dictyonemaskiffern förekommer i varierande omfattning i Västergötland, men saknas helt på Kinnekulle (Westergård 1943).

Furongium i Västergötland är förhållandevis rik på orstenar och mer eller mindre sammanhängande lager av mörkgrå kalksten; mer än 70 % av lagerföljden kan utgöras av kalksten (Terfelt 2003). Den tjockaste och mest framträdande kalkstenen utgörs av kakeledskalkstenen ("stora orstenbanken"), som varierar i mäktighet mellan en och två meter (Westergård 1922, 1943; Terfelt 2003; Nielsen & Schovsbo 2006). Denna kalkstensenheter ligger i gränsintervallet mellan översta guzhangian (*Agnostus pisiformis*-zonen) och undre furongium (Westergård 1922; Terfelt 2003). Kakeledskalkstenen innehåller lager och linser av mörkgrå till svart orsten, är konglomeratisk i vissa nivåer och innehåller tunna lager med alunskiffer (Nielsen & Schovsbo 2006). Omlagring och karstytter vittnar om upprepade havsnivåförändringar (Westergård 1922; Lehnert et al. 2012).

7 Furongium i Västergötland

7.1 Utbredning

De fyra områden i Västergötland som har furongiska avlagringar är Kinnekulle, Billingen-Falbygden, Halle-Hunneberg och Lugnäsberget. På Lugnäsberget är endast de undre delarna av furongium representerade och lagerföljden avslutas uppåt i *Parabolina spinulosa*-zonen (Westergård 1922; Martinsson 1974).

7.2 Mäktighet

Frånsett ett mindre antal förkastningar har den kambrosiluriska lagerföljden inte utsatts för tektonisk påverkan. Lagerföljderna är i det närmaste horisontella och alunskiffern stupar oftast mindre än 0,4 m på 100 m (Westergård 1922). Lokalt kan emellertid alunskiffern ha ett par graders lutning. Mäktigheterna av furongium är relativt konstant. Beräkningar från Westergård (1922, sid. 98) visar att furongium har en mäktighet av 11–12,5 på Kinnekulle och 9,5–11,5 m i Billingen-Falbygden. På Hunneberg finns minst 9,5 m furongiska avlagringar [den översta delen av furongium (zonen med *Trilobagnostus holmi*) saknas; se Westergård 1922; fig. 3].

7.3 Faciestyper

Alunskiffern är den dominerande faciestypen i Alunskifferformationen. Liksom i övriga kambrosilurumråden i Skandinavien består alunskiffern av tunna parallellaminerade skikt utan stora variationer i kornstorlek och mineralsammansättning.

Orstenarna bildar linser eller sammanhängande lager. De är vanligen skiktade och förekommer i regel i underordnad omfattning. Orstenarna består vanligen av en till flera centimeter tjocka skikt med varierande innehåll av organiskt material, lera, utfälld kalcit och bioklastiskt material. Inom vissa intervall är orstenarna och kalkstenarna breccierade (Westergård 1922; Dworatzek 1987). I den övre delen av *Agnostus pisiformis*-zonen finns karstlika diskontinuitetsytor (Dworatzek 1987) med breccieartade igenfyllnader, som består av material från den kalksten som underlagrar diskontinuitetsytorna (Dworatzek 1987). Klasterna är av lokalt ursprung och det finns inga tecken på horisontell transport. Även strukturer som bildats genom gasavgång från underliggande lager har observerats (Dworatzek 1987).

Westergård (1943) hävdar att orsten bildades omedelbart efter avsättningen av det lerslam som bildat alunskiffer och som innesluter orstenen. Detta visas bl.a. av innehållet av fossil i full relief, medan fossilen i alunskiffern är tillplattade, oftast otydliga och saknar exoskelett (Westergård 1943).

Dworatzek (1987) menar att det finns två typer av lagerföljder med alunskiffer och orsten i furongium. På Öland och Kinnekulle dominerar typ I, medan Billingen och Närke domineras av typ II. Typ I kännetecknas av den höga andelen kalksten (cirka 50 %),

som oftast bildar kontinuerliga lager. Den låga halten lera och silt i karbonaterna och förekomsten av komplexa strukturer tyder på en högre strömhastighet och vågenergi på Kinnekulle och Öland. Typ II har en lägre koncentration kalksten (oftast mindre än 30 %) och innehåller ofta stora, linsformade orstenar. Horisontell laminering karakteriserar typ II.

7.4 Spårämnen och geokemi

Bildningsmiljön för alunskiffern var specialiserad vilket alunskifferns kemiska sammansättning visar; den är förhållandevis rik på svavelkis och andra ämnen som till exempel uran och vanadin (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011). De olika ämnena är inte anrikade tillsammans, vilket gör det svårt att hitta de högsta koncentrationerna av ämnena i samma nivå i lagerföljden (Andersson et al. 1985; Westergård 1943). Ur vissa intervall kan man utvinna 10 % råolja (Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011). Från uran-, radium- och blyhalten i kolmlagren, har man beräknat att det förflutit 400 miljoner år sedan alunskiffern avsattes (Westergård 1943).

Medeltalet i furongiska alunskifferar för organiskt material är 13,7 viktprocent av massan (Armands 1972). Halten organiskt material varierar och kan i Billingen-Falbygden uppgå till nästan 20 viktprocent av massan (Andersson et al. 1985). Även pyrithalten varierar; den undre delen av mellankambrium innehåller cirka 8 % medan furongiska alunskifferar i Billingen-Falbygden normalt innehåller furongium 12 % pyrit (Andersson et al. 1985).

Förekomst av uran har gjort att flera undersökningar gjorts i alunskifferarna. I alunskifferar som avsatts på den inre shelfen finns de högsta kända uranhalterna i alunskifferformationen. Särskilt höga halter finns i ett orent kol som kallas för kolm (Schovsbo 2002). Kolm består av 30–70 % organiskt material och kan innehålla 2000–5000 ppm uran (Andersson et al. 1985). Uranhalten är högst i intervallet med *Peltura scarabaeoides*, medan vanadinhalten är högst i undre ordovicium (Andersson et al. 1985). Förekomsten av uranrik kolm och de höga urankoncentrationerna i den övre delen av furongium i Västergötland tyder på att anrikningen var som störst i slutet av kambrium. Den höga uranhalten i kolm kan tänkas vara ett resultat av att kolm kanske bildats genom upprepad erosion och sedimentation av alunskiffer (Schovsbo 2002). Anrikningen av uran i skiffern skedde genom diffusion genom ett mellanskikt i den övre delen av sedimentet eller i vattenkolumnen. Denna anrikning är mindre effektiv och ger generellt lägre uranhalter jämfört med kolmen. *Olenus*-zonernas höga uranhalter kan ha ansamlats i samband med en regressiv händelse, vilket kan tyda på att en urankälla i inlandet kan ha börjat erodera (Schovsbo 2002).

7.5 Fossil fauna

Den furongiska delen av alunskifferformationen i Västergötland karakteriseras, såsom i övriga delar av

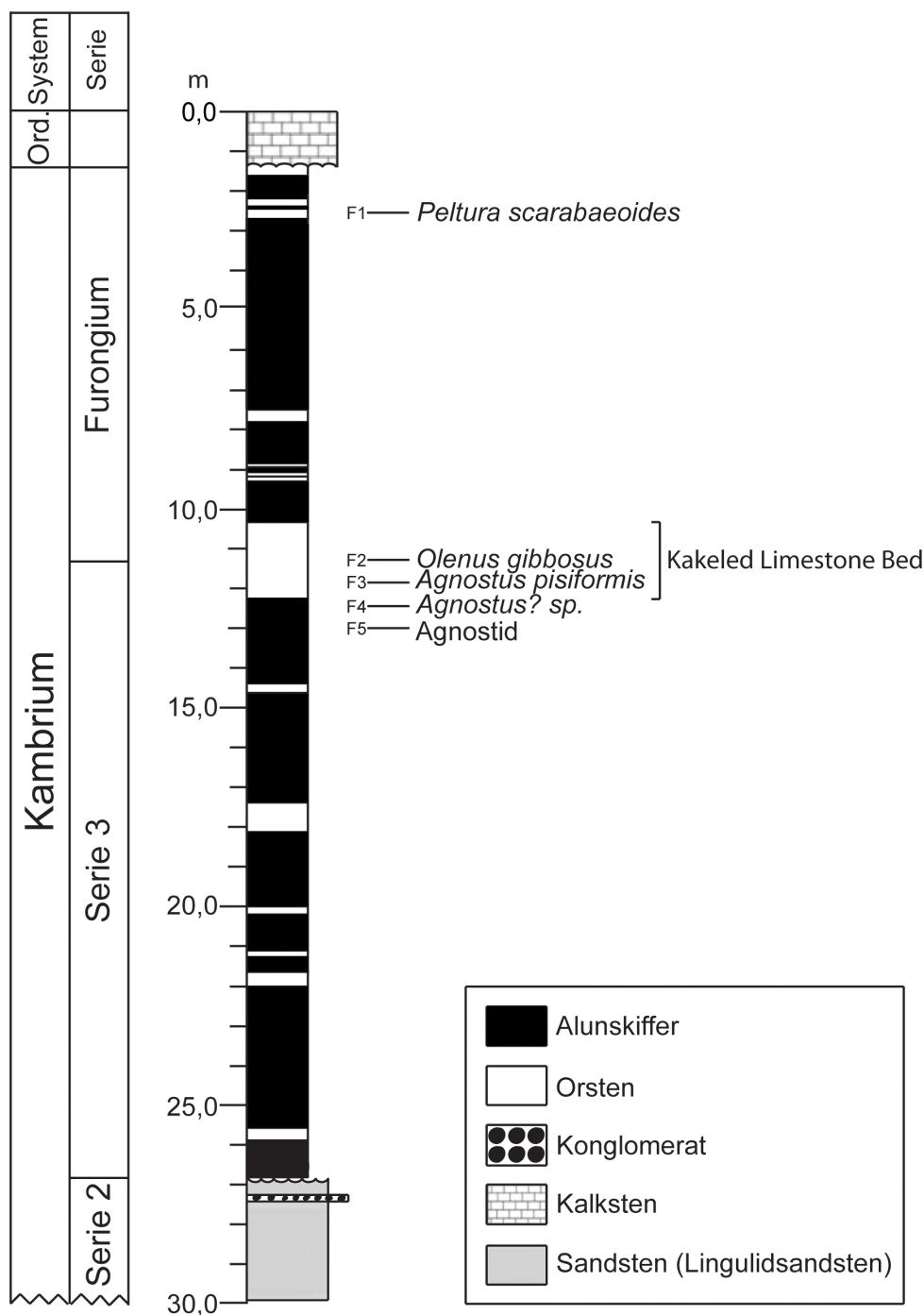


Fig. 4. Lagerföljden och preliminär stratigrafisk indelning. F1–F5 markerar nivåer med trilobiter och agnostider.

Skandinavien, av sin individrikedom, men den fossila faunan är relativt enförmig och endast ett fåtal arter förekommer tillsammans. Många arter i lagerföljden har en snäv stratigrafisk utbredning i höjddled men kan vara synnerligen talrika. Det stora antalet skaldelar behöver inte bero på att individerna levde samtidigt, utan det kan röra sig om anrikning av skalfragment i en miljö med långsam sedimentation (Westergård 1922; Lindström & Calner i Lundqvist et al. 2011). I Västergötland påträffas fossil i allmänhet endast i or-

stenar. Alunskiffern är i regel fossilfri eller fossilfattig med dåligt bevarade fossil (Westergård 1943; Terfelt 2003).

Den fossila faunan domineras av trilobiter och agnostider. Mera sällsynta och begränsade till vissa nivåer är brachiopoder, phosphatocopiner (en grupp tvåskaliga arthropoder), hyolither och kiselspongier (Westergård 1922, 1943). Omkring 40 arter av trilobiter är kända från Västergötlands furongium (Westergård 1947). Det stora flertalet av dessa hör till

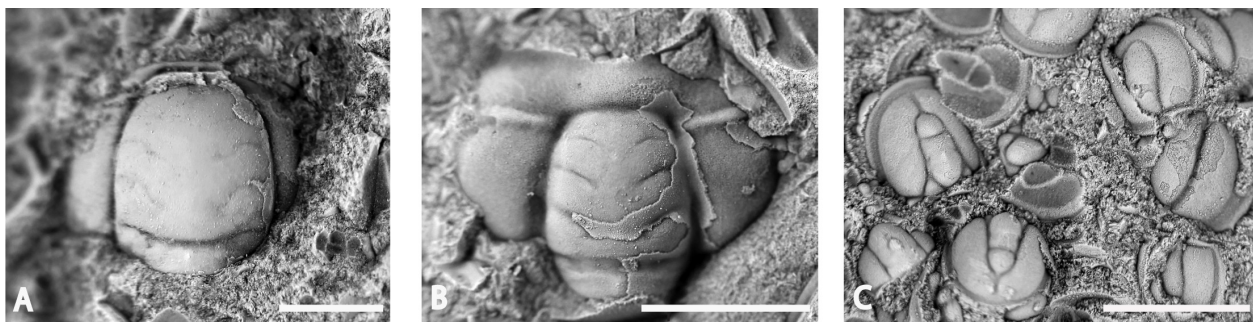


Fig. 5. Fossil från borrhärnan vid Torbjörntorp. **A.** *Peltura scarabaeoides* (nivå F1). **B.** *Olenus gibbosus* (nivå F2). **C.** *Agnostus pisiformis* (nivå F3). Skalan representerar 3 mm.

familjen Olenidae. Minst 12 arter av agnostider har beskrivits från Västergötlands furongium (Ahlberg & Ahlgren 1996; Ahlberg 2003). Flertalet av dessa förekommer i *Glyptagnostus pisiformis*-zonen.

Upplösning av orstenar i ättiksyra har resulterat i fynd av conodonter och ett flertal små, men extremt välbevarade arthropoder, den s.k. orstenfaunan (t.ex. Müller & Walossek 1985; Müller & Hinz 1991; Maas et al. 2006; Maeda et al. 2011). Arthropoderna är tredimensionellt bevarade och har fosfatiserats i en sur, syrefattig miljö (Müller & Walossek 1985). Dessa fossil är koncentrerade till fosforrika lager i furongium (Maeda et al. 2011).

8 Resultat, tolkning och diskussion av borrhärnan

8.1 Resultat

Den översta delen av borrhärnan består av en ljusgrå kalksten (0,0–1,40 m) (Fig. 6A). Den undre delen av kalkstenen (0,80–1,40 m) innehåller rikligt med pyrit. Gränsen mellan kambrium och ordovicium finns i intervallet 1,40–1,60 m och utgörs av en oregelbunden yta med kartsvittring (Lehnert et al. 2012). Intervallet 1,60–2,24 m består av svart planlaminerad, uppsprucken alunskiffer med svavelutfällningar. Det underlagras av en mörkgrå, finkornig orsten (2,24–2,35 m; Fig. 6B) med fossil (nivå F1 i Fig. 4). Denna orsten underlagras i sin tur av ett tunt alunskifferlager. Intervallet 2,55–2,70 m består av en mörkgrå, kristallin orsten, som underlagras av alunskiffer (2,70–7,45 m) med sporadiska svavelutfällningar (Fig. 6C). Därunder följer en mörkgrå, kristallin och stänglig orsten utan fossil (7,45–7,80 m; Fig. 6D), vilken underlagras av alunskiffer (7,80–8,70 m). Intervallet 8,70–9,35 m består av alunskiffer som växellagrar med en mörkgrå, oftast kristallin orsten. Det underlagras av alunskiffer (9,35–10,25 m). Intervallet 10,25–12,30 m domineras av orsten som stundtals är parallell laminerad men är ibland oregelbundet lagrad och konglomeratisk–breccierad med tunna, oregelbundna skikt av alunskiffer (Fig. 6E). I detta intervall hittades fossil i två nivåer (F2 och F3 i Fig. 4).

Intervallet 12,30–18,20 m består av alunskiffer med inslag av en dm-tjock orsten vid 14,40 m. Fossil finns på minst två nivåer (F4 och F5 i Fig. 4). Detta

intervall underlagras av en uppsprucken, mörkgrå orsten (17,50–18,20 m) med agnostider. Nedåt i lagerföljden följer alunskiffer (18,20–20,00 m), som underlagras av mörkgrå orsten med agnostider (20,00–20,10 m). Därunder följer alunskiffer (20,20–25,45 m) med enstaka, cm-tjocka mörkgråa och fossilförande orstenar. Intervallet 25,45–25,90 m består av mörkgrå orsten, som underlagras av pyritrik alunskiffer (25,90–26,90 m). I den understa delen av sistnämnda alunskifferintervall finns det rikligt med grövre material (silt) och glaukonitkorn.

Den understa delen av borrhärnan består huvudsakligen av en grå sandsten (26,90–29,85 m; Fig. 6F), som innehåller ett konglomeratlager med glaukonit i den översta delen (27,50–27,60 m).

8.2 Tolkning och diskussion

Kalkstenarna ovanför karstyten vid ca 1,50 m är sannolikt av mellanordovicisk (darriwilian) ålder (Lehnert et al. 2012). Trilobiten *Peltura scarabaeoides* (Fig. 5A) förekommer rikligt i nivå F1 (2,30 m) och trilobiten *Olenus gibbosus* (Fig. 5B) uppträder i stor mängd i nivå F2 (11,25 m). *Agnostus pisiformis* (Fig. 5C) uppträder rikligt i nivå F3 (11,8 m). Därunder har endast oidentifierade agnostider observerats (nivåerna F4 och F5 i Fig. 4). Massförekomsten av *A. pisiformis* indikerar *Agnostus pisiformis*-zonen, som idag utgör den översta delen av guzhangian-etagen i kambrium serie 3 (Ahlberg et al. 2009; Terfelt et al. 2008). *Olenus gibbosus* är ledfossil för den understa zonen i Skandinavien furongium och *Peltura scarabaeoides* är begränsad till *Ctenopyge bisulcata* och *C. linnarssoni*-zonerna (Terfelt et al. 2011). Detta tyder på att basen av furongium ligger i kakeledskalkstenen och att furongium i borrhärnan omfattar intervallet från 11,25 m till karstyten vid 1,50 m, totalt ca 9,75 m. Detta är en något högre mäktighetssiffra än den som Westergård (1922, fig. 85) har uppmätt i Tomtens alunskifferbrott norr om Torbjörntorp.

Gränsen mellan kambrium serie 3 och serie 2 placeras vid ca 26,90 m, där det finns en distinkt erosionsyta som överlagras av en glaukonitrik siltsten. Sandstenen i basen av borrhärnan är litologiskt ganska homogen med undantag för ett konglomerat i den översta delen. Den kan identifieras som lingulidsandsten (övre delen av kambrium serie 2).

Den furongiska delen av borrhärnan består till

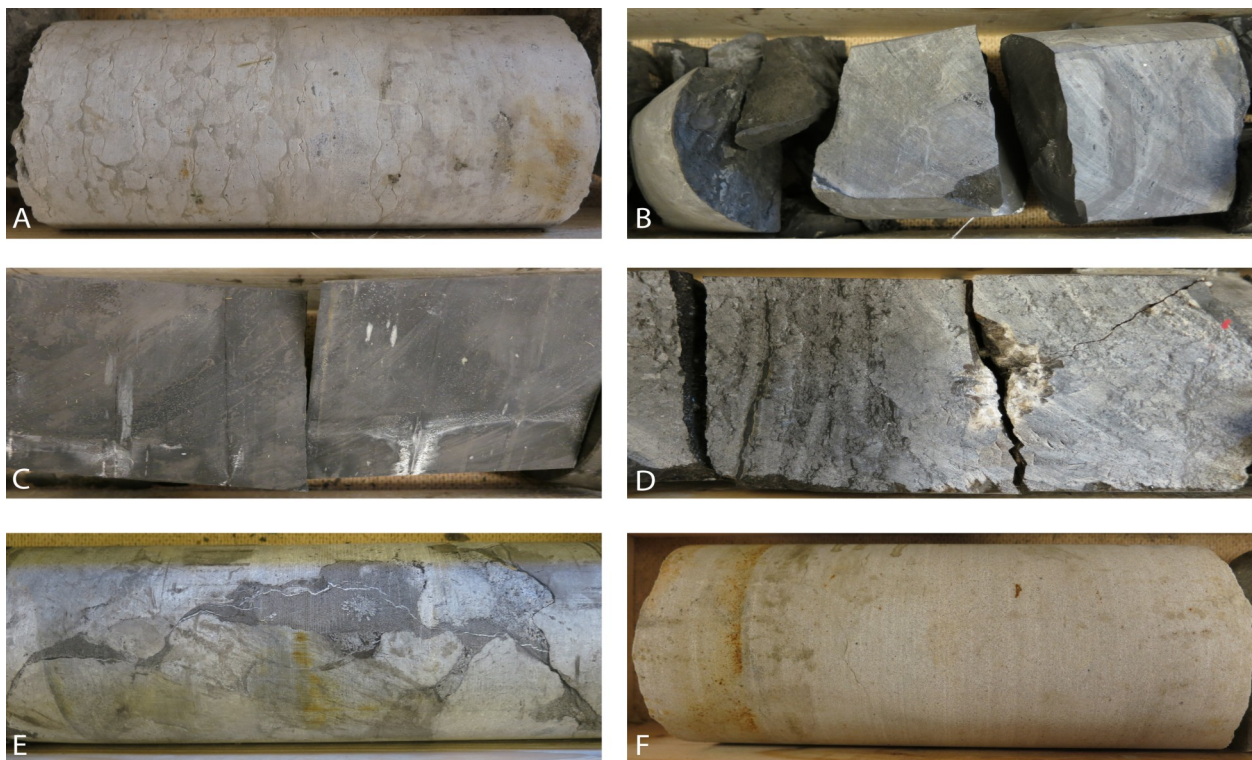


Fig. 6. Facies i borrhärnan. **A.** Kalksten (0,37–0,53 m). **B.** Finkornig orsten (2,24–2,35 m). **C.** Alunskiffer (5,66–5,80 m). **D.** Kristallin orsten (7,59–7,64 m). **E.** Breccierad orsten (11,06–11,24 m). **F.** Lingulidsandsten (29,68–29,85 m).

mer än 75 % av alunskiffer och till knappt 25 % av orsten. Lagerföljden tycks därför representera Dworatzeks (1987) typ II, som är karakteristisk för Billingen. Lagerföljder av typ II kännetecknas av horisontell laminering och rik förekomst av stora, linsformade orstenar. Det är emellertid svårt att avgöra om en orsten är linsformad i borrhärnan, men den ringa förekomsten av orsten och plan laminering, särskilt i intervallet 10,25–12,30 m, indikerar att det rör sig om typ II. Enligt Dworatzek (1987) består typ II till mindre än 30 % av kalksten och avsättningen har skett på något djupare vatten med endast sporadisk tillförsel av grovkorniga, bioklastiska kalkstenar.

Fossil har noterats endast på två nivåer i den furongiska delen av borrhärnan. Detta beror på att kärnan inte har sökts igenom fullständigt – endast ett fåtal orstenar har genomskotts efter fossil.

Stora delar av furongium i borrhärnan tycks saknas. Trilobiten *Peltura scarabaeoides* finns på nivå 2,30 m. Från denna nivå till kambrium-ordovicium-gränsen är det endast 0,80 m, vilket sannolikt beror på att de sex översta zonerna i furongium saknas (Lehnert et al. 2012; jfr Fig. 3). Kalkstenarna i den undre delen av furongium (kakeledskalkstenen) är ofta oregelbundet lagrad med konglomerat och breccior (Fig. 6E), som troligen bildats i samband med regressioner och transgressioner.

9 Slutsatser

I Västergötland finns furongiska avlagringar inom fyra huvudområden: Kinnekulle, Billingen-Falbygden,

Halle-Hunneberg och Lugnäsberget. Furongium har en mäktighet av 11–12,5 m på Kinnekulle och 9,5–11,5 m i Billingen-Falbygden. På Hunneberg finns minst 9,5 m furongiska avlagringar. Den fossila faunan domineras vanligen av trilobiter och agnostider. Mera sällsynta och begränsade till vissa nivåer är brachiopoder, phosphatocopiner, hyolither och kiselspongier. Fossil påträffas i allmänhet endast i orstenar, medan alunskiffern är fossilfri eller fossilfattig med dåligt bevarade fossil.

Biostratigrafiska undersökningar, särskilt baserade på olenida trilobiter, har visat att furongium i Västergötland innehåller ett flertal luckor i lagerföljden. Dessa är lokaliserade till den undre och mellersta delen av furongium (Westergård 1947; Fig. 3). Dessutom saknas den översta delen av furongium. Weidner & Nielsen (2011) har emellertid visat att endast de två översta zonerna saknas på Kinnekulle. I vissa horisonter har det skett en hopblandning av sediment, därför kan exemplar från olika stratigrafiska horisonter förekomma på samma nivå (Ahlgren & Ahlberg 1996). Luckorna i lagerföljden och förekomsten av nivåer med konglomerat, brecciering och karstytter tyder på att ett flertal havsnivåförändringar, som resulterat i omlagring av lagerföljden inom vissa intervall (t.ex. Westergård 1922, 1943; Dworatzek 1987; Lehnert et al. 2012).

Furongium i borrhärnan omfattar totalt ca 9,75 m, vilket är något mer än Westergårds (1922, fig. 85) mätningar från Tomtens alunskifferbrott norr om Torbjörntorp. Lagerföljden i kärnan består till mer än 75 % av alunskiffer och verkar representera Dworatzeks

(1987) typ II. Avsättningen tycks därför ha skett på relativt djupt vatten med endast sporadisk tillförsel av grovkorniga, bioklastiska kalkstenar. Liksom i andra delar av Västergötland finns det uppenbarligen ett flertal luckor i borrhärnan.

10 Tack

Tack till Per Ahlberg för handledning inom arbetet och även för hjälp vid lokalisering av fossil i borrhärnan samt fotografering av dessa. De givande diskussionerna har hjälpt till att föra arbetet vidare. Även tack till övriga lärare och studenter på institutionen som bidragit till att göra studietiden bra.

11 Referenser

Ahlberg, P. (ed.) 1998: Guide to excursions in Scania and Västergötland, southern Sweden. IV Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group. International Subcommittee on Cambrian Stratigraphy. Sweden, 24–31 August 1998. *Lund Publications in Geology* 141, 1–47.

Ahlberg, P., 2003: Trilobites and intercontinental tie points in the Upper Cambrian of Scandinavia. *Geologica Acta* 1, 127–134.

Ahlberg, P. & Ahlgren, J., 1996: Agnostids from the Upper Cambrian of Västergötland, Sweden. *GFF* 118, 129–140.

Ahlberg, P., Axheimer, N., Babcock, L.E., Eriksson, M.E., Schmitz, B. & Terfelt F., 2009: Cambrian high-resolution biostratigraphy and carbon isotope chemostratigraphy in Scania, Sweden: first record of the SPICE and DICE excursions in Scandinavia. *Lethaia* 42, 2–16.

Ahlberg, P., Szaniawski, H., Clarkson, E.N.K., & Bengtson, S., 2005: Phosphatised olenid trilobites and associated fauna from the Upper Cambrian of Västergötland, Sweden. *Acta Palaeontologica Polonica* 5, 429–440.

Ahlberg, P. & Terfelt, F., 2012: Furongian (Cambrian) agnostoids of Scandinavia and their implications for intercontinental correlation. *Geological Magazine*. DOI: 10.1017/S0016756812000167

Ahlgren, J. & Ahlberg, P., 1996: *Olenus henningsmoeni*, a new trilobite from the Upper Cambrian of Västergötland, Sweden. *GFF* 118, 73–77.

Andersson, A., Dahlman, B., Gee, D.G. & Snäll, S., 1985: The Scandinavian Alum Shales. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca* 56, 1–50.

Armands, G., 1972: Geochemical studies of uranium, molybdenum and vanadium in a Swedish alum shale. *Stockholm Contributions in Geology* 27, 1–148.

Bergström, J. & Gee, D. G. 1985: The Cambrian in Scandinavia, 247–271. I Gee, D.G. & Sturt, B.A. (eds.): *The Caledonide Orogen – Scandinavia and Related Areas*. John Wiley and Sons, Chichester.

Buchardt, B., Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.H., 1997: Alunskiferen i Skandinavien. *Geologisk Tidsskrift* 3, 1–30.

Calner, M. & Ahlberg, P., 2011: Guide till de Västgötska platåbergens geologi. *Geologiskt forum* 70, 18–28.

Dworatzek, M., 1987: Sedimentology and petrology of carbonate intercalations in the Upper Cambrian olenid shale facies of southern Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 819, 1–73.

Eklöf, J., Rydell, J., Fröjmark, J., Johansson, M. & Seilacher, A., 1999: Orientation of agnostid shields in Alum Shale (Upper Cambrian): Implications for the depositional environment. *GFF* 121, 301–306.

Eriksson, M.E. & Terfelt, F., 2007: Anomalous facies and ancient faeces in the latest middle Cambrian of Sweden. *Lethaia* 40, 69–84.

Henningsmoen, G. 1957: The trilobite family Olenidae with description of Norwegian material and remarks on the Olenid and Tremadocian Series. *Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, I. Matematisk-Naturvidenskapelig Klasse* 1957, 1–303.

Lehnert, O., Calner, M., Ahlberg, P. & Harper, D.A., 2012: Multiple palaeokarst horizons in the Lower Palaeozoic of Baltoscandia challenging the dogma of a deep epicontinental sea. *Geophysical Research Abstracts* 14. EGU2012-11362-1, 2012. EGU General Assembly 2012.

Lundqvist, J., Lundqvist, T., Lindström, M., Calner, M. & Sivhed, U., 2011: *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Studentlitteratur, 628 pp.

Maas, A., Braun, A., Dong, X., Donoghue, P.C.J., Müller, K., Olempska, E., Repetski, J.E., Siveter, D.J., Stein, M. & Waloszek, D., 2006: The “Orsten”: More than a Cambrian Konservat-Lagerstätte yielding exceptional preservation. *Palaeoworld* 15, 266–282.

Maas, A., Waloszek, D. & Müller, K.J., 2003: Morphology, ontogeny and phylogeny of the Phosphatocopina (Crustacea) from the Upper Cambrian “Orsten” of Sweden. *Fossils and Strata* 49, 1–238.

Maeda, H., Tanaka, G., Shimobayashi, N., Ohno, T. & Matsuoka, H., 2011: Cambrian Orsten Lagerstätte from the Alum Shale Formation: Fecal pellets as a probable source of phosphorus preservation. *Palaios*

26, 225–231.

Martinsson, A. 1974: The Cambrian of Norden, 185–283. I C.H. Holland (ed.): *Lower Palaeozoic Rocks of the World. 2. Cambrian of the British Isles, Norden, and Spitsbergen*. John Wiley & Sons, London.

Müller, K.J. & Hinz, I., 1991: Upper Cambrian conodonts from Sweden. *Fossils and Strata* 28, 1–153.

Müller, K. J. & Walossek, D., 1985: A remarkable arthropod fauna from the Upper Cambrian "Orsten" of Sweden. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 76, 161–172.

Nathorst, A. G., 1869: Om lagerföljden inom Kambriska formationen vid Andrarum i Skåne. *Öfversigt af Kungliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar* 26, 61–65.

Nathorst, A.G., 1877: Om de kambriska och siluriska lagren vid Kiviks Esperöd i Skåne, jemte anmärkningar om primordialefaunans lager vid Andrarum. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 3. 263–273.

Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.M., 2006: Cambrian to basal Ordovician lithostratigraphy in southern Scandinavia. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 53, 47–92.

Schovsbo, N.H., 2001: Why barren intervals? A taphonomic case study of the Scandinavian Alum Shale and its faunas. *Lethaia* 34, 271–285.

Schovsbo, N.H., 2002: Uranium enrichment shorewards in black shales: A case study from the Scandinavian Alum Shale. *GFF* 124, 107–115.

Szaniawski, H. & Bengtson, S., 1998: Late Cambrian euconodonts from Sweden. *Palaeontologia Polonica* 58, 7–29.

Terfelt, F., 2003: Upper Cambrian trilobite biostratigraphy and taphonomy at Kakeled on Kinnekulle, Västergötland, Sweden. *Acta Palaeontologica Polonica* 48, 409–416.

Terfelt, F. & Ahlberg, P., 2010: *Pseudagnostus rugosus* Ergaliev, 1980: a key agnostoid species for intercontinental correlation of upper Furongian (Cambrian) strata. *Geological Magazine* 147, 789–796.

Terfelt, F., Ahlberg, P. & Eriksson, M.E., 2011: Complete record of Furongian polymerid trilobites and agnostoids of Scandinavia – a biostratigraphical scheme. *Lethaia* 44, 8–14.

Terfelt, F., Eriksson, M.E., Ahlberg, P. & Babcock,

L.E., 2008: Furongian Series (Cambrian) biostratigraphy of Scandinavia – a revision. *Norwegian Journal of Geology* 88, 73–87.

Thickpenny, A. 1987: Palaeo-oceanography and depositional environment of the Scandinavian Alum Shales: sedimentological and geochemical evidence, 156–171. I J.K. Leggett & G.G. Zuffa (eds.): *Marine Clastic Sedimentology – Concepts and Case Studies*. Graham & Trotman, London.

Westergård, A.H., 1922: Sveriges olenidskiffer. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca 18*, 1–205.

Westergård, A.H., 1943: Den kambro-siluriska lager-serien, 29–67. I S. Johansson, N. Sundius & A.H. Westergård: *Beskrivning till kartbladet Lidköping. Sveriges Geologiska undersökning Aa 182*.

Westergård, A.H., 1946: Agnostidea of the Middle Cambrian of Sweden. *Sveriges Geologiska undersökning C 477*, 1–140.

Westergård, A.H., 1947: Supplementary notes on the Upper Cambrian trilobites of Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning C 489*, 1–34.

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

257. Gren, Johan, 2010: Osteo-histology of Mesozoic marine tetrapods – implications for longevity, growth strategies and growth rates. (15 hskp)
258. Syversen, Fredrikke, 2010: Late Jurassic deposits in the Troll field. (15 hskp)
259. Andersson, Pontus, 2010: Hydrogeological investigation for the PEGASUS project, southern Skåne, Sweden. (30 hskp)
260. Noor, Amir, 2010: Upper Ordovician through lowermost Silurian stratigraphy and facies of the Borensult-1 core, Östergötland, Sweden. (45 hskp)
261. Lewerentz, Alexander, 2010: On the occurrence of baddeleyite in zircon in silica-saturated rocks. (15 hskp)
262. Eriksson, Magnus, 2010: The Ordovician Orthoceratite Limestone and the Blommiga Bladet hardground complex at Horns Udde, Öland. (15 hskp)
263. Lindskog, Anders, 2010: From red to grey and back again: A detailed study of the lower Kundan (Middle Ordovician) 'Täljsten' interval and its enclosing strata in Västergötland, Sweden. (15 hskp)
264. Rääf, Rebecka, 2010: Changes in beyrichiid ostracode faunas during the Late Silurian Lau Event on Gotland, Sweden. (30 hskp)
265. Petersson, Andreas, 2010: Zircon U-Pb, Hf and O isotope constraints on the growth versus recycling of continental crust in the Grenville orogen, Ohio, USA. (45 hskp)
266. Stenberg, Li, 2010: Geophysical and hydrogeological survey in a part of the Nhandugue River valley, Gorongosa National Park, Mozambique – Area 1 and 2. (45 hskp)
267. Andersen, Christine, 2010: Controls of seafloor depth on hydrothermal vent temperatures - prediction, observation & 2D finite element modeling. (45 hskp)
268. März, Nadine, 2010: When did the Kalahari craton form? Constraints from baddeleyite U-Pb geochronology and geo-chemistry of mafic intrusions in the Kaapvaal and Zimbabwe cratons. (45 hp)
269. Dyck, Brendan, 2010: Metamorphic rocks in a section across a Sveconorwegian eclogite-bearing deformation zone in Halland: characteristics and regional context. (15 hp)
270. McGimpsey, Ian, 2010: Petrology and lithogeochemistry of the host rocks to the Nautanen Cu-Au deposit, Gällivare area, northern Sweden. (45 hp)
271. Ulmius, Jan, 2010: Microspherules from the lowermost Ordovician in Scania, Sweden – affinity and taphonomy. (15 hp)
272. Andersson, Josefin, Hybertsen, Frida, 2010: Geologi i Helsingborgs kommun – en geoturistkarta med beskrivning. (15 hp)
273. Barth, Kilian, 2011: Late Weichselian glacial and geomorphological reconstruction of South-Western Scania, Sweden. (45 hp)
274. Mashramah, Yaser, 2011: Maturity of kerogen, petroleum generation and the application of fossils and organic matter for paleotemperature measurements. (45 hp)
275. Vang, Ina, 2011: Amphibolites, structures and metamorphism on Flekkerøy, south Norway. (45 hp)
276. Lindvall, Hanna, 2011: A multi-proxy study of a peat sequence on Nightingale Island, South Atlantic. (45 hp)
277. Bjerg, Benjamin, 2011: Metodik för att förhindra metanemissioner från avfallsdeponier, tillämpad vid Albäcksdeponin, Trelleborg. (30 hp)
278. Pettersson, Hanna, 2011: El Hicha – en studie av saltstäppssediment. (15 hskp)
279. Dyck, Brendan, 2011: A key fold structure within a Sveconorwegian eclogite-bearing deformation zone in Halland, south-western Sweden: geometry and tectonic implications. (45 hp)
280. Hansson, Anton, 2011: Torvstratigrafisk studie av en trädstamshorisont i Viss mosse, centrala Skåne kring 4 000 - 3 000 cal BP med avseende på klimat- och vattenståndsförändringar. (15 hp)
281. Åkesson, Christine, 2011: Vegetationsutvecklingen i nordvästra Europa under Eem och Weichsel, samt en fallstudie av en submorän, organisk avlagring i Bellinga stenbrott, Skåne. (15 hp)
282. Silveira, Eduardo M., 2011: First precise U-Pb ages of mafic dykes from the São Francisco Craton. (45 hp)
283. Holm, Johanna, 2011: Geofysisk utvärdering av grundvattenskydd mellan väg 11 och Vombs vattenverk. (15 hp)

284. Löfgren, Anneli, 2011: Undersökning av geofysiska metoders användbarhet vid kontroll av den omättade zonen i en infiltrationsdamm vid Vombverket. (15 hp)
285. Grenholm, Mikael, 2011: Petrology of Birimian granitoids in southern Ghana - petrography and petrogenesis. (15 hp)
286. Thorbergsson, Gunnlaugur, 2011: A sedimentological study on the formation of a hummocky moraine at Törnåkra in Småland, southern Sweden. (45 hp)
287. Lindskog, Anders, 2011: A Russian record of a Middle Ordovician meteorite shower: Extraterrestrial chromite in Volkhovian-Kundan (lower Darriwilian) strata at Lynna River, St. Petersburg region. (45 hp)
288. Gren, Johan, 2011: Dental histology of Cretaceous mosasaurs (Reptilia, Squamata): incremental growth lines in dentine and implications for tooth replacement. (45 hp)
289. Cederberg, Julia, 2011: U-Pb baddelyit dateringar av basiska gångar längs Romeleåsen i Skåne och deras påverkan av plastisk deformation i Protoginzonen (15 hp)
290. Ning, Wenxing, 2011: Testing the hypothesis of a link between Earth's magnetic field and climate change: a case study from southern Sweden focusing on the 1st millennium BC. (45 hp)
291. Holm Östergaard, Sören, 2011: Hydrogeology and groundwater regime of the Stanford Aquifer, South Africa. (45 hp)
292. Tebi, Magnus Asiboh, 2011: Metamorphosed and partially molten hydrothermal alteration zones of the Akulleq glacier area, Paamiut gold province, South-West Greenland. (45 hp)
293. Lewerentz, Alexander, 2011: Experimental zircon alteration and baddeleyite formation in silica saturated systems: implications for dating hydrothermal events. (45 hp)
294. Flodhammar, Ingrid, 2011: Lövestads åsar: En isälvsavlagring bildad vid inlandsisens kant i Weichsels slutskede. (15 hp)
295. Liu, Tianzhuo, 2012: Exploring long-term trends in hypoxia (oxygen depletion) in Western Gotland Basin, the Baltic Sea. (45 hp)
296. Samer, Bou Daher, 2012: Lithofacies analysis and heterogeneity study of the subsurface Rhaetian–Pliensbachian sequence in SW Skåne and Denmark. (45 hp)
297. Riebe, My, 2012: Cosmic ray tracks in chondritic material with focus on silicate mineral inclusions in chromite. (45 hp)
298. Hjulström, Joakim, 2012: Återfyllning av borrhål i geoenergisystem: konventioner, metod och material. (15 hp)
299. Letellier, Mattias, 2012: A practical assessment of frequency electromagnetic inversion in a near surface geological environment. (15 hp)
300. Lindenbaum, Johan, 2012: Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi. (45 hp)
301. Andersson, Josefin, 2012: Karaktärisering av arsenikförorening i matjordsprofiler kring Klippans Läderfabrik. (45 hp)
302. Lumetzberger, Mikael, 2012: Hydrogeologisk kartläggning av infiltrationsvattentransport genom resistivitetsmätningar. (15 hp)
303. Martin, Ellinor, 2012: Fossil pigments and pigment organelles – colouration in deep time. (15 hp)
304. Rådman, Johan, 2012: Sällsynta jordarts-metaller i tungsand vid Haväng på Österlen. (15 hp)
305. Karlstedt, Filippa, 2012: Jämförande geokemisk studie med portabel XRF av obehandlade och sågade ytor, samt pulver av Karlshamnsdiabas. (15 hp)
306. Lundberg, Frans, 2012: Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och facietyper. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund