

Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län

Mikael Erlström, Lena Persson,
Ulf Sivhed & Linda Wickström



SGU

Sveriges geologiska undersökning

Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län

Mikael Erlström, Lena Persson,
Ulf Sivhed & Linda Wickström

ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-957-6

Omslagsbild: Raukar vid Langhammarshammar, Fårö.
Foto: Mikael Erlström.
Cover: Sea stacks at Langhammarshammar, Fårö.

© Sveriges geologiska undersökning

Layout: Agneta Ek, SGU
Tryck: Lenanders Grafiska, 38025, 2009

Innehåll

Inledning	5
Tidigare kartläggningar och berggrundsgeologiska arbeten	5
Genomförandet	8
Geofysiska mätningar	8
Geofysiska flygmätningar	8
Tyngdkraftsmätningar	13
Petrofysiska undersökningar	13
Hällmätningar	13
Mätningar på borrhälsar	14
Profilmätningar	15
Berggrundens strukturella uppbyggnad	18
Topografi	18
Lagring och bildningsmiljö	20
Tektonik (sprickor, förkastningar, lineament)	20
Karst	21
Raukar	23
Urberget	24
Den sedimentära berggrunden	25
Kambrium	25
Ordovicium	25
Silur	27
Bergartsbeskrivning	31
Klassifikation	31
Märgel och märgelsten	31
Stromatoporoidkalksten, calcirudit, kalkarenit, calcilutit	34
Oosparit, oomikrit, oolit, pisolit	36
Algkalksten	36
Revkalksten och revartad kalksten	37
Sandsten och siltsten	38
Bergarternas kemiska uppbyggnad	41
Industrimineral och täktverksamhet	43
Täktverksamhet	43
Kalksten	43
Bränd kalk	44
Krossberg	44
Byggnadssten	45
Cement	45
Sandsten	45
Kolväteproduktion	45
sgu	45
opab	46
Gotlandsolja AB m.m.	46

Kolväteförekomst	46
Reservoarkaraktär	46
Oljans ursprung	46
Berggrundens uppbyggnad och koppling till grundvatten, radon, sårbarhet och bergkvalitet ...	47
Grundvatten och sårbarhet	47
Uran och radon	47
Bergkvalitet	48
Summary	49
Referenser	50
Appendix 1. Stratigrafisk beskrivning	54

Inledning

Inom ramen för SGUs anslagsverksamhet påbörjades under 2006 arbetet med insamling av regional berggrundsinformation för Gotlands län. Projektets syfte har varit att ta fram geologisk information över Gotlands berggrund som ett planerings- och resurshushållningsunderlag för bl.a. länsstyrelse och kommun. Projektets huvudmål har varit att presentera regional digital berggrundsinformation i skalan 1:200 000 samt tillhörande beskrivning.

Arbetet har varit inriktat på att sammanställa en karta som visar förekomsten av olika bergartstyper och inte som brukligt är en karta som visar berggrundens inbördes åldersförhållande, dvs. en kronostratigrafisk presentation av berggrunden. En karta som visar utbredningen av olika bergarter ger en bättre koppling till skillnader i berggrundens fysikaliska, kemiska och tekniska egenskaper. Därigenom förenklas även användningen av kartan som ett planerings- och resurshushållningsunderlag.

För Gotlands del är förutsättningarna goda för att kunna göra en karta som visar förekomsten av olika bergartstyper eftersom berggrunden representerar en åldersmässigt kort geologisk tidperiod (ca 10 Ma) samt domineras av endast ett tiotal olika bergartstyper.

Tidigare kartor över den gotländska berggrunden visar stratigrafiskt avgränsade berggrundsområden (fig. 1) som oftast inte överensstämmer med utbredningen av olika bergarter. I dessa kartor baseras indelningen av berggrunden först och främst på förekomsten av olika fossil som kan relateras till berggrundens ålder. Ett antal geologiska namn, t.ex. Visbyformationen, Högklintformationen m.fl., har sedan länge kommit att representera berggrundsområden som ofta inte sammanfaller med en litologisk gräns, t.ex. mörksten som övergår i revkalksten. Denna typ av indelning av berggrunden kallas en topostratigrafisk indelning (Jaanusson 1976), där berggrundsindelningen baseras på både biostratigrafiska och litostratigrafiska data. Blandningen av stratigrafiska klassificeringar resulterar i en topostratigrafisk kartbild (jfr fig. 1) som skiljer sig från den som presenteras här.

Grundläggande för en geologisk karta är att kartbildens ska representera enheter som är karteringsbara i fält och som kan särskiljas genom sina speciella karaktärer, t.ex. bergart, struktur, textur, färg m.m. Målsättningen med kartläggningen på Gotland har varit att ta fram en sådan produkt som tillsammans med den stratigrafiska indelningen kan öka förståelsen av Gotlands berggrund och dess uppbyggnad.

Det ska poängteras att den topostratigrafiska kartan (fig. 1) har ett stort geovetenskapligt värde när det

gäller berggrundens ålder, bildningsförhållanden och korrelation med andra siluriska berggrundsområden och händelser. Tillsammans med den nya berggrundskartan som presenteras här utgör de en viktig bas för förståelsen av uppbyggnaden av Gotlands berggrund.

TIDIGARE KARTLÄGGNINGAR OCH BERGGRUNDSGEOLOGISKA ARBETEN

Gotlands geologi beskrevs redan under 1700-talet av Carl von Linné som under sin gotländska resa 1741 noterade den rika förekomsten av välbevarade fossil. Under 1800-talet och 1900-talets inledning gjordes omfattande paleontologiska undersökningar av Gotlands fossila fauna. Successivt ökades kunskapen om den stratigrafiska uppbyggnaden.

Under perioden 1920–1942 gjordes en första sammanhållande stratigrafisk indelning av lagerföljden av Hede och hans medarbetare i SGUs kartserie rörande Gotland (serie Aa, Hede 1921, 1925a, 1925b, 1927, 1928, 1929, 1936, 1940, 1942, 1960). Hedes indelning i 13 stratigrafiska enheter (dvs. undre Visby, övre Visby, Högklint, Tofta, Slite, Halla, Mulde, Klinteberg, Hemse, Eke, Burgsvik, Hamra och Sundre) utgör än i dag stommen till den stratigrafiska indelningen av Gotlands berggrund.

Förutom dessa äldre arbeten finns det över 3000 vetenskapliga publikationer som på ett eller annat sätt behandlar berggrunden på Gotland. Flertalet av dessa presenterar framför allt information om den fossila faunan och innehåller mycket begränsad information om berggrundens uppbyggnad.

Revkalkstenarnas uppbyggnad, bildning och förekomst har relativt väl beskrivits i olika sammanhang. Hadding (1941) var en av de första att ingående studera revkalkstenarnas uppbyggnad. Mantén (1971) gjorde en större sammanställning och kartläggning av de siluriska reven på Gotland. Senare arbeten har mer handlat om revens bildningssätt, bildningsmiljö och ekologiska frågeställningar kring de revbyggande organismerna (t.ex. Kano 1989, 1990, Riding & Watts 1991, Kershaw & Keeling 1994, Watts & Riding 2000, Sandström 2000, Sandström & Kershaw 2002, 2008).

Andra arbeten som gett värdefull information om berggrunden är bl.a. Calner (1999) som beskriver Fröjelfformationen uppbyggnad. Cherns (1982), Frykman (1985), Calner (2002) och Eriksson (2004) ger värdefull information om förekomsten av paleokarst på Gotland.

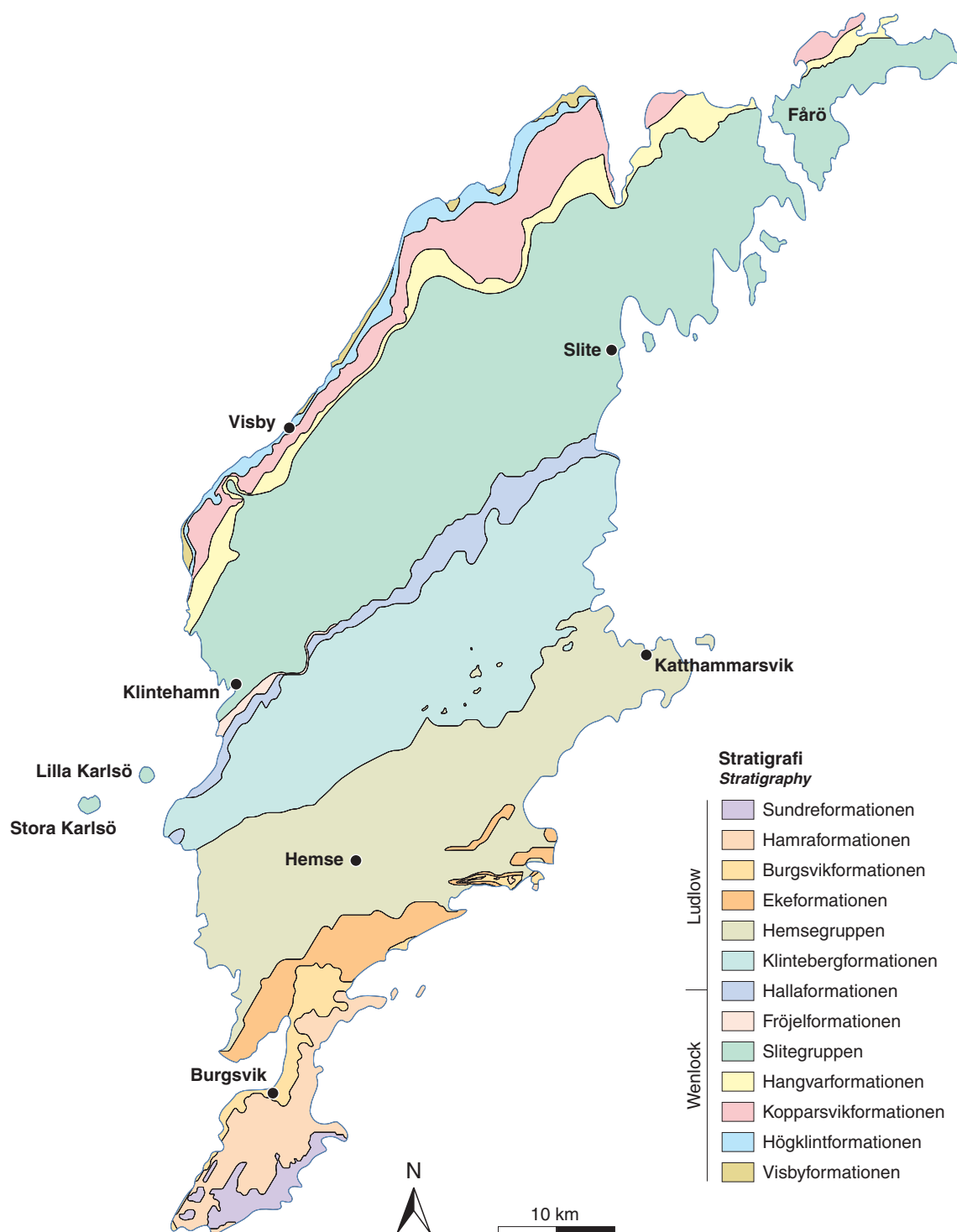


Fig. 1. Karta som visar en stratigrafisk indelning av Gotlands berggrund. Kartan baseras på en kombination av biostratigrafiska och litostratigrafiska data (modifierad efter Eriksson & Calner 2005).

Stratigraphic map of Gotland (modified after Eriksson & Calner 2005).

Calner & Säll (1999) och Groves & Calner (2004) beskriver ooliter på Gotland. Bentoniterna i den siluriska lagerföljden har beskrivits av bl.a. Snäll (1977) och Bachelor & Jeppsson (1994, 1999). Andra arbeten med bergartsinformation är Calner m.fl. (2008) som

behandlar förekomsten av en silurisk skiffer på centrala mellersta Gotland. Berggrundens uppbyggnad på södra Gotland, inkluderande Burgsviksandenstenen beskrivs i Eriksson & Calner (2008).

		GOTLANDS STRATIGRAFI Stratigraphy of Gotland							
		ÅLDER Age	KONODONTZON Conodont zone	GRAPTOLITZON Graptolite zone	Grupp, formation Group, formation	Led Member			
SILUR	LUDLOW	418,7 ±2,7	<i>O. crispa</i>		Sudretgruppen	Sundreformationen			
			<i>O. snajdri</i>	<i>M. formosus</i>		Hamraformationen			
				<i>M. lat./M. balt.</i>		Burgsvikformationen	Burgsvikoolit Burgsviksandsten		
						Ekeformationen			
		ludfordian	421,3 ±2,6	<i>P.siluricus</i>	<i>N. kozlowskii</i> <i>S. leintwardinensis</i>	Hemsegruppen	Närformationen	Botvideledet ----- Millklintledet -----	
				<i>A. ploeckensis</i>			<i>B. b. tenuis</i>	Etelhemformationen*	Hemsemärgel
				<i>K. cf. sardoa</i>			<i>C. a. aversus</i>	Petesformationen*	
				<i>K. v. variabilis</i>				Levideformationen*	
			' <i>O. ex. ' hamata</i>	<i>L. scanicus</i>	Klintebergformationen				
			<i>post-O. ex. n. ssp. S</i>						
		gorstian	<i>O. excavata</i>	<i>L. progenitor</i>	Hallaformationen		Djupviksledet Muldeledet Baraledet		
			<i>K. crassa</i>	<i>N. nilssoni</i>					
			<i>C. murchisoni</i>	<i>C. ? gerhardi</i> <i>C. ? ludensis</i> <i>C. ? deubeli</i> <i>C. ? praedeu.</i>					
			<i>K. o. absidata</i>	<i>G. nassa</i>					
		423,2 ±2,3	<i>O. bohemia longa</i>	<i>P. d. parvus</i>					
		WENLOCK	homerian	426,2 ±2,4		<i>T. testis</i>	Siltegruppen	Fröjelfformationen	Gannarveledet ("Slitesiltsten") Svarvareledet
	<i>O. s. sagitta</i>				<i>C. lundgreni</i>	Lännaformationen*		Ryssnäs kalksten	
	<i>K. o. ortus</i>				<i>C. perneri</i>	Eskelhemformationen*		Slite märgelsten	
	<i>M. K. walliseri</i>					Broskogsformationen*		Kalbjergakalksten	
	<i>L. K. walliseri</i>				<i>C. rigidus</i>	Fleringeformationen*		Katrinelundkalksten	
	sheinwoodian			<i>M. belophorus</i>	?	Hangvarformationen			
				<i>O. s. rhenana</i>		Kopparsvikformationen	Stajnkrogsledet Gutevågsledet Plåganledet Halsjärnsledet Visborgsledet Kåringenledet		
				<i>M. antennularius</i>	Höglintformationen	Korpklintsledet Ireviksledet Millingsklintledet Brissundsledet Hallshuksledet Domkyrkaledet Kappelhamnsviksledet Höglintreven			
			<i>U. K. ranuliformis</i>	<i>M. riccartonensis</i>					
			<i>L. K. ranuliformis</i>	<i>M. firmus</i>					
			<i>U. P. procerus</i>	<i>C. murchisoni</i>					
			428,0 ±2,3	<i>L. P. procerus</i>	<i>C. centrifugus</i>	Visbyformationen	Ygneledet ----- Rövar Liljaledet		
				<i>U. Ps. bicornis</i>	<i>C. insectus</i>				
	<i>L. Ps. bicornis</i>								
				<i>C. lapworthi</i>					

Fig. 2. Stratigrafisk schema över Gotlands siluriska berggrund (baserad på information från Riding & Watts 1991, Jeppsson m.fl. 2006, 2008).
Stratigraphic scheme of the Silurian of Gotland (based on information from Riding & Watts 1991, Jeppsson et al. 2006, 2008).

Under de senaste decennierna har fördjupade stratigrafiska och sedimentologiska studier resulterat i en förfinad stratigrafisk indelning (Jeppsson m.fl. 2006) (se fig. 2) och ökad kunskap om bildningsförhållanden för den siluriska karbonatberggrunden (se bl.a. Munnecke & Samtleben 1996, Samtleben m.fl. 1996, 2000, Baarli m.fl. 2003).

Ovan nämnda arbeten är ett urval av sådana som använts vid framtagandet av denna beskrivning. Det finns många fler studier som ger samma typ av information om berggrundens uppbyggnad varför dessa lämnats därhän. En bra sammanfattning av Gotlands geovetenskapliga arbeten ges i Eriksson & Calner (2005).

GENOMFÖRANDET

Undersökningsområdet är totalt ca 3 000 km² stort. Projektet genomfördes under perioden 2006–2008. Under 2006 inventerades ett befintligt omfattande underlagsmaterial (äldre kartläggning, publikationer, rapporter m.m.). Fältarbetena startade hösten 2006 på norra Gotland. Merparten av fältarbetet för resterande del av Gotland utfördes under våren och hösten 2007. Under 2008 avslutades fältinsamlingen. Totalt har ca 1 300 hällobservationer gjorts. Bearbetning och sammanställning av insamlade data har skett fortlöpande.

Gotlands berggrund är mycket väl dokumenterad i form av vetenskapliga publikationer, rapporter (bl.a. från Oljeprospekterings AB, förkortat OPAB, som har utfört omfattande kolväteprospekteringar) och äldre kartläggningar. En stor del av arbetet i projektet har avsatts för en sammanställning av dessa data.

Omfattningen av den geologiska informationen rörande Gotlands berggrund är så pass stor att det inom ramen för detta projekt inte funnits möjlighet till fördjupade analyser och undersökningar av olika geovetenskapliga frågeställningar som framkommit. Som exempel kan nämnas geokemiska frågeställningar som berör förekomst av uran och klorid i kalksten och koppling av dessa till kalkstentyp, kopplingen mellan radon och karst, bor i grundvattnet på Gotland, den siluriska berggrundens uppbyggnad på djupet, den prekambiska berggrundens (urbergets) utbildning, m.m. Flera av dessa frågeställningar är ur ett geovetenskapligt perspektiv väl motiverade men ligger oftast på det forskningsmässiga planet och behandlas därför inte i denna beskrivning.

De geologiska fältarbetena har utförts av statsgeologerna Mikael Erlström, Ulf Sivhed, Linda Wickström och extrageolog Karin Rasmussen. De geofysiska arbetena har utförts av statsgeofysiker Lena Persson.

Geofysiska mätningar

Det geofysiska arbetet har bl.a. innefattat tolkning av flygdata som insamlades av SGU under sommaren 2006.

Det geofysiska fältarbetet har syftat till att kontrollera flyggeofysiskt indikerade anomalier. Fältmätningar har omfattat hållmätningar av gammastrålning samt profil-mätningar med elektriska och elektromagnetiska metoder.

GEOFYSISKA FLYGMÄTNINGAR

Inom SGUs flyggeofysiska verksamhet utfördes geofysiska flygmätningar över Gotland under sommaren 2006. Undersökningarna omfattade mätningar av gammastrålningen (flygradiometriska mätningar), magnetfältet och det elektromagnetiska fältet. Mätningarna utfördes i nord-sydlig riktning på ca 60 m höjd, med 400 m linjeavstånd och ett mätpunktsavstånd på ca 16 m. Flygmätningarna av gammastrålningen och det elektromagnetiska fältet (VLF) ger värdefull informa-

tion om den ytliga siluriska berggrundens uppbyggnad, t.ex. kalkstens- och märgelområdenas utbredning och uppbyggnad. Magnetfältet över Gotland ger, tillsammans med tyngdkraftsfältet, information om djupare delar av Gotlands berggrund, dvs. urbergets uppbyggnad och sammansättning på >300 m djup.

Figur 3 visar resultat från de flygradiometriska mätningarna över Gotland presenterad som en kompositkarta över kalium, uran och torium. Gammastrålningen är generellt låg över hela Gotland men över vissa delar finns en relativ förhöjning av uran. De urananomala stråken sammanfaller med kalkstensområden och förekommer i två stråk, dels ett stråk med östnordöstlig riktning i den centrala delen av Gotland, från Klintehamn (56C 2–3 i) ut mot Östergarn (56D 3–4 g), samt ett nordöstligt strykande stråk mellan Visby (66A 7–9 a, j) och Färösund (66D 3–5 i–j).

Figur 4 visar resistivitetskartan över Gotland beräknad från flygelektromagnetiska (VLF) data. Områden med ren kalksten har hög resistivitet vilket tydligt

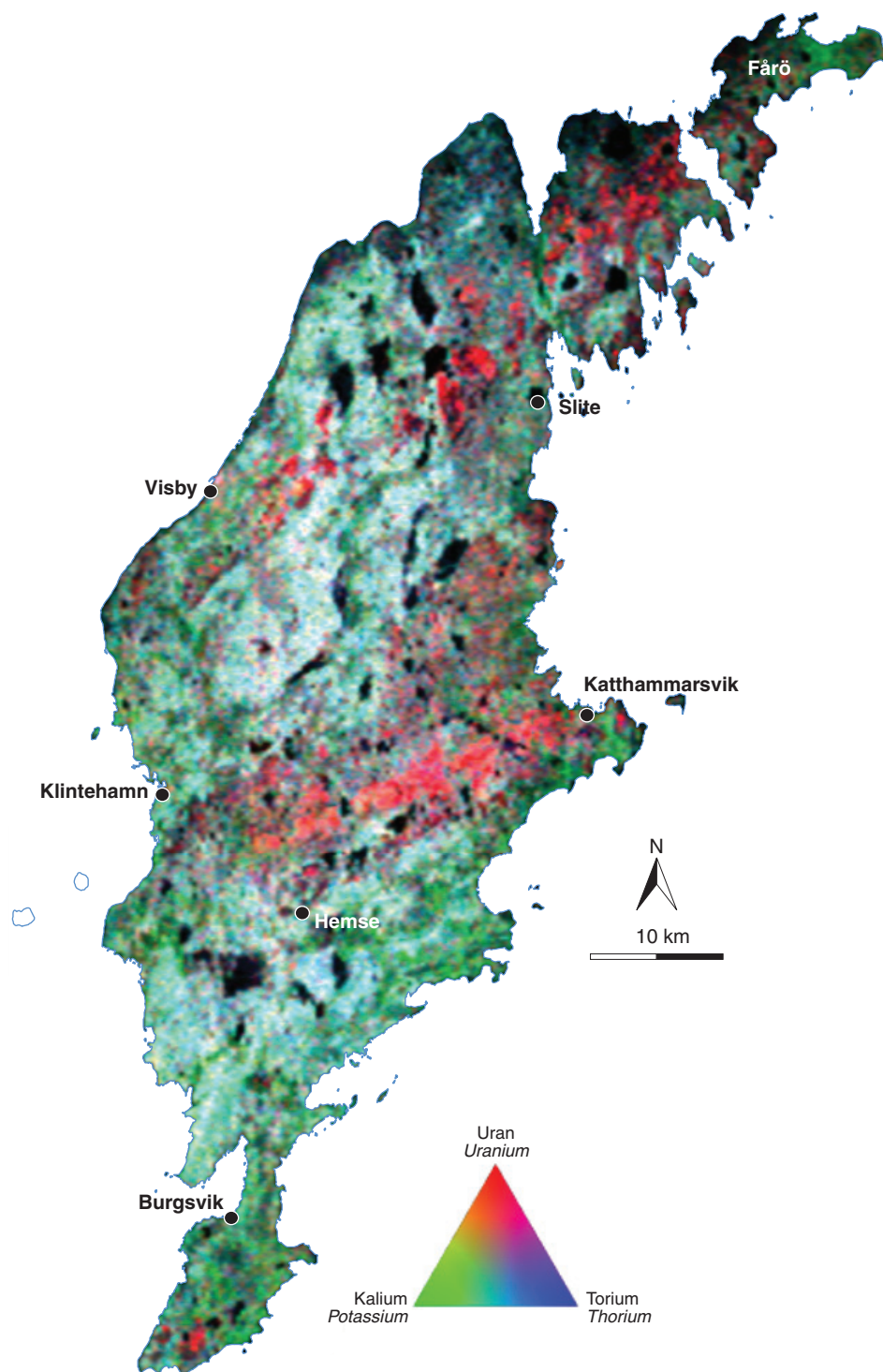


Fig. 3. Flygmädd radiometrisk karta över Gotland som visar fördelningen av kalium, uran och torium i den översta delen av berggrunden och jordarterna. Halterna visas i form av en färgkomposit, där områden med relativt förhöjd uranhalt domineras av röda färgnyanser, relativt förhöjd toriumhalt av blå och relativt förhöjd kaliumhalt av gröna färgnyanser. Gråskalan från mörkt till ljus indikerar variationerna i totala halter, från låg till hög.

Aerogeophysical radiometric map of Gotland illustrating the potassium, uranium and thorium relationship in the uppermost parts of the soil and bedrock. Areas with relatively higher content of uranium are displayed in reddish colours, thorium in blue and potassium in green.

framgår av resistivitetskartan. Inblandning av lermi-
neral sänker resistiviteten varför områden med mörkel
har relativt lägre resistivitet. Tydliga strukturer i nord-
östlig och ost–nordöstlig riktning på resistivitetskartan

sammanfaller med urananomalierna i figur 3. Kryssen
markerar de punkter där en uranhalt som överstiger
2,5 ppm uppmätts på håll (se avsnittet nedan om geo-
fysiska markmätningar).

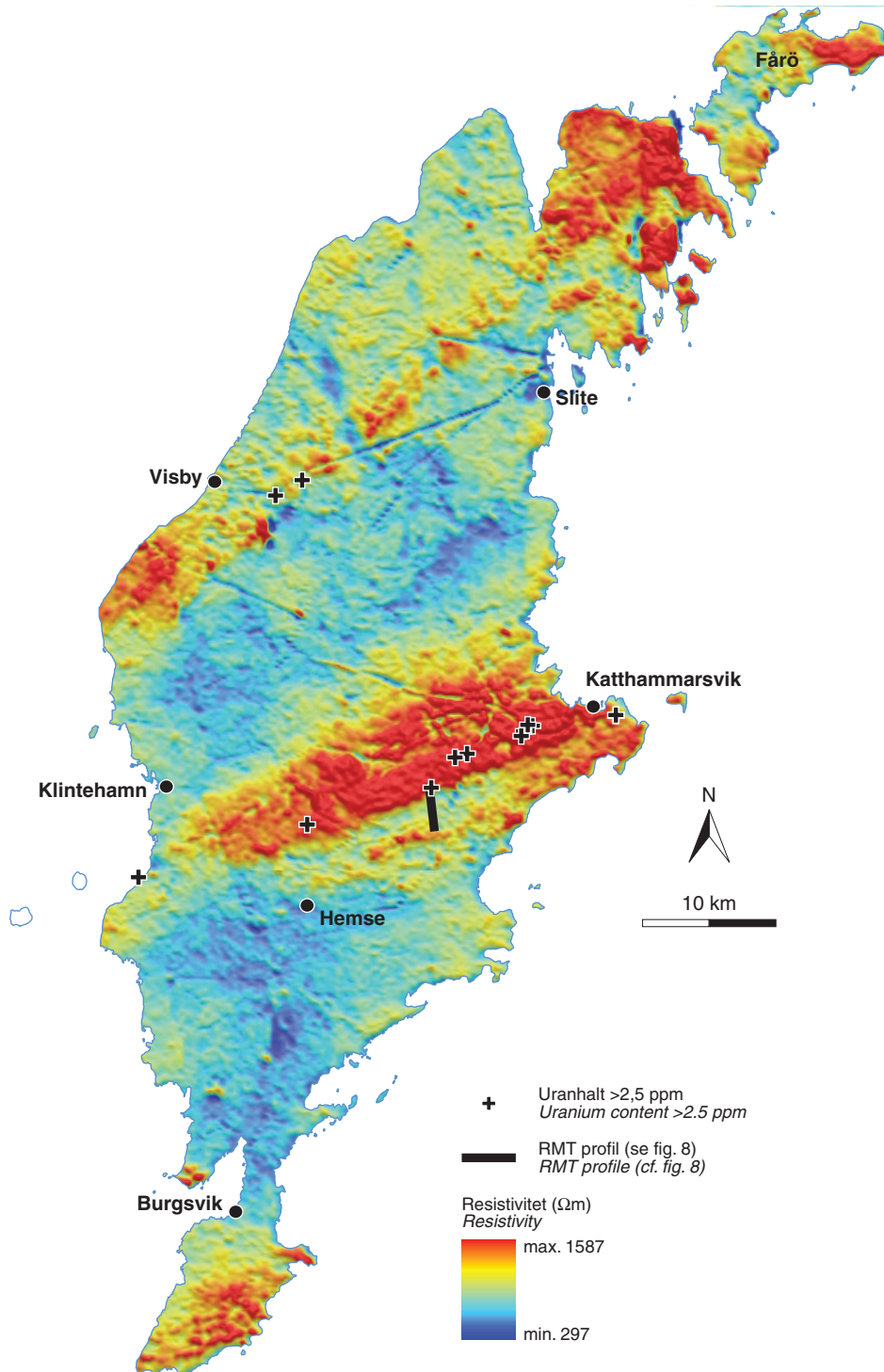


Fig. 4. Skenbar resistivitet beräknad från flygmätta elektromagnetiska data (VLF) över Gotland. Läget för den uppmätta RMT-profilen (fig. 8) är markerad i figuren.

Apparent resistivity map of Gotland based on airborne electromagnetic data (VLF). Position of the measured RMT-profile (fig. 8) on the ground is marked.

Figur 5 visar resultat från den flygmagnetiska mätningen över Gotland. Magnetfältet varierar mellan ca 49 000 och 52 000 nanoTesla (nT). Den sedimentära ytliga berggrunden har mycket låg magnetisk

susceptibilitet ($<10^{-4}$ SI-enheter), vilket innebär att de kraftiga variationer som framkommer på den magnetiska anomalikartan härrör från urberget som ligger på ett djup av ca 300 m i norr och nästan 800 m i söder

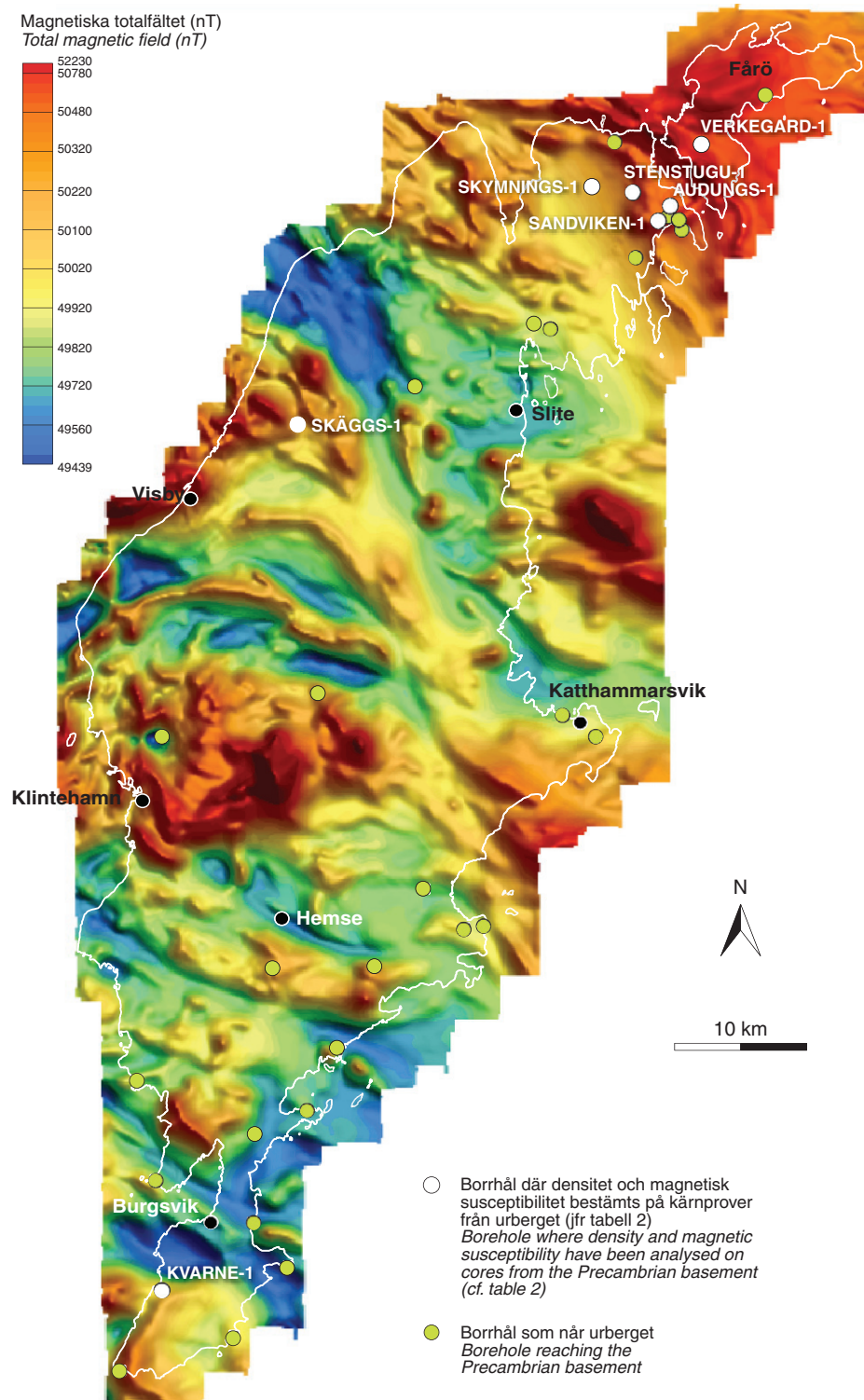


Fig. 5. Flygmagnetisk totalfältskarta över Gotland. Punkterna markerar borrhål ned till urberget. För de namngivna borrhålen har densitet och magnetiska egenskaper uppmätts på borrhållarna av det kristallina urberget.

Aeromagnetic map of Gotland. Marked points illustrate the position of boreholes reaching the basement rocks. Densities and magnetic properties of the basement have been measured on core material from the named boreholes.

(jfr fig. 16). Den högsta anomalin ($>52\,000\text{ nT}$) påträffas ca 10 km rakt öster om Klintehamn (56C 2–3 a). Denna har tidigare identifierats i samband med en

magnetisk markmätning (Gyllencreutz 1998). Denna anomali sammanfaller även med ett tyngdkraftsöverskott (fig. 6).

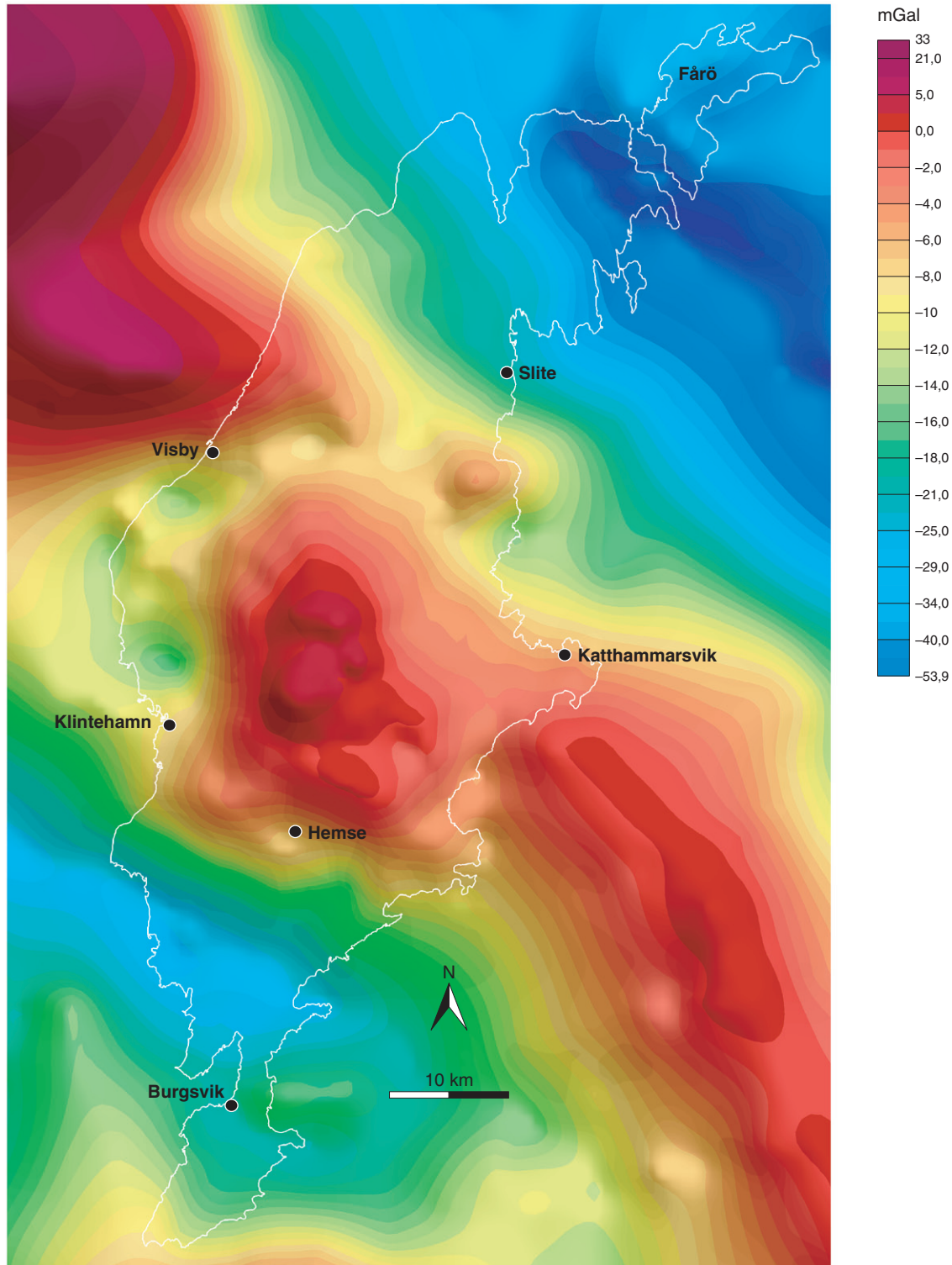


Fig. 6. Tyngdkraftskarta–residualfält över Gotland.
Residual Bouguer anomaly map of Gotland.

TYNGDKRAFTSMÄTNINGAR

Gotland är även relativt väl täckt med tyngdkraftsmätningar som till merparten är utförda av Lantmäteriet. Kompletterande mätningar har utförts där data saknats för att förtäta data samt inom områden med flera anomalier. En tydlig långsträckt zon med tyngdkraftsunderskott i nordväst-sydöstlig riktning förekommer vid Fårösund i norr, (66D 3–5 i–j) samt en zon vid Hemse i södra delen av Gotland (56B 9 a–b, fig. 6). Den södra zonen har en fortsättning mot nordväst in över fastlandet och motsvarar Linköping–Loftahammar-deformationszonen (LLDZ). Modellberäkningar av tyngdkraftsdata har visat att LLDZ har ett djupgående av minst tio kilometer och en brant lutning åt sydväst (Wik m.fl. 2005). I anslutning till den norra zonen vid Fårösund finns uppgifter från borrhål på omfattande brecciering av den äldre sedimentära berggrunden vilket tyder på deformationsrörelser längs zonen under tidig kambrisk tid.

PETROFYSISKA UNDERSÖKNINGAR

Hällmätningar

En del av det geofysiska fältarbetet har bestått av mätning av gammastrålning och magnetisk susceptibilitet på berghällar samt provtagning av parameterprov för laboratoriemätning av bergarternas densitet och magnetiska egenskaper. Mätningarna är placerade över

hela Gotland (förutom Fårö) och mätning har utförts på de olika förekommande bergarterna som kalksten, mörkel och mörkelsten samt sandsten. En uppföljning har skett av de urananomalier som identifierades genom flygmätningen av gammastrålningen.

I figur 7 har resultaten från gammastrålningsmätningarna plottats. Kalksten uppvisar generellt mycket låga halter av torium och kalium, medan uranhaltarna har en betydligt större spridning. Inom de urananomala stråken (fig. 3) har ca 2–8 ppm uran uppmätts. Vid en lokal ute på Östergarn (56D 3–4 g) uppmättes uranhalt på 32 och 78 ppm. Kemisk analys av ett kalkstensprov från Östergarn visar att den innehåller 23 ppm uran. Ler- och mörkelsten uppvisar på grund av sitt lermineralinnehåll något högre kalium- och toriumhalter. Även sandsten har högre halt av kalium och torium än kalksten. Inga förhöjda uranhalt har uppmätts i mörkel, mörkelsten och sandsten.

Den magnetiska susceptibiliteten är mycket låg över hela Gotland, men det finns ändå en viss skillnad mellan olika bergarter. Kalksten har lägst magnetisk susceptibilitet, medan mörkel, mörkelsten och sandsten har något högre värden. På flera lokaler uppvisar kalksten en negativ magnetisk susceptibilitet. Detta beror på att mineralet kalcit är diamagnetiskt, dvs. det uppvisar (i likhet med kvarts) en magnetisk susceptibilitet som är negativ ($-0,8$ till $-3,8 \times 10^{-5}$ SI-enheter). Inblandning av paramagnetiska mineral (mineral som uppvisar en svag attraktion för magnetfält, t.ex. hematit) som har en positiv nettosusceptibilitet medför att susceptibiliteten

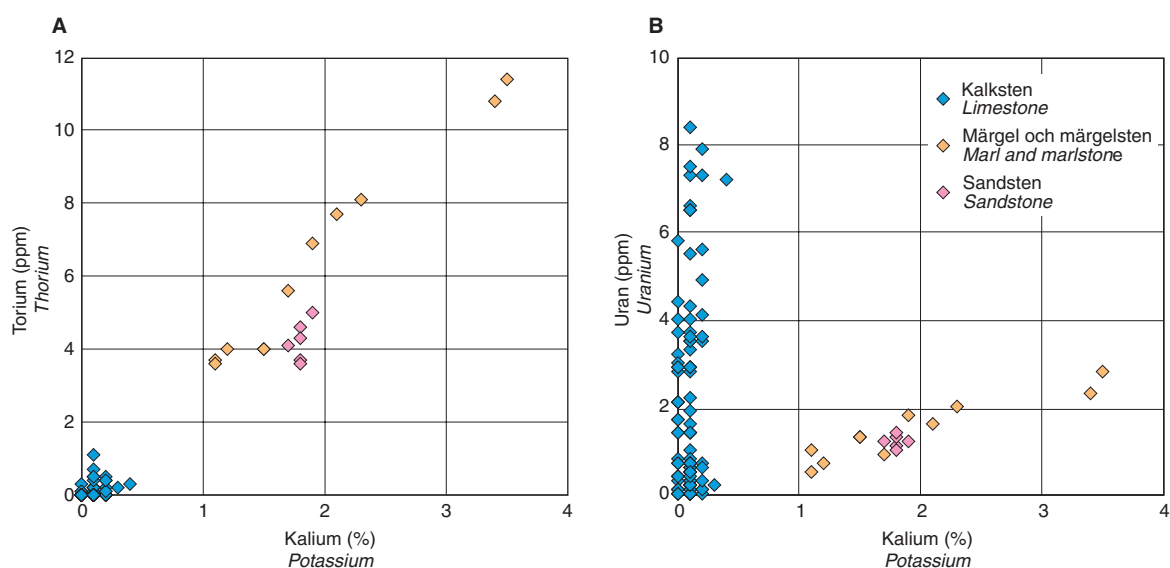


Fig. 7. Sammanställning av resultaten från gammastrålningsmätningar för olika bergarter, uppmätta på berghällar. A. Förhållandet mellan kalium och torium. B. Förhållandet mellan kalium och uran.

Presentation of the results from the spectrometer measurements on different rock types. A. Diagram showing the relationship between potassium and thorium. B. Diagram showing the relationship between potassium and uranium.

ökar. Tabell 1 visar en sammanställning av kalium-, uran- och toriumhalter samt magnetisk susceptibilitet och densitet för de olika bergarterna.

Mätningar på borrhälsrör

Av de 241 borrhälsrör som OPAB utfört på Gotland når 34 ned till urberget. Från flera av dessa finns även kärnor bevarade i SGUs borrhälsarkiv. Inom detta projekt har totalt sju stycken prov från fem kärnor analyserats med avseende på densitet och magnetiska egenskaper (Verkegard-1, 56B 7b; Stenstugu-1, 66D 4h;

Audungs-1, 66D 3 i; Skymnings-1, 66D 4 h samt Sandviken-1, 66D 3 i). I sammanställningen som redovisas i tabell 2 inkluderas även resultaten från analyserna av 4 borrhälsrör: Stenstugu-1, Grötlingbo-1 (56B 7 i), Kvarne-1 (56A 3 j) och Skäggs-1 (66A 9 b), som utförts vid Luleå tekniska universitet (LTU; Elming, opublicerade data). Läget för samtliga borrhälsrör som nått ned till urberget finns markerade i figur 5. Fem av kärnorna kommer från Färösundsområdet (66D 3–5 i–j) och de låga densiteterna som uppmätts (2 526–2 681 kg/m³, medelvärde 2 600 kg/m³) korrelerar med tyngdkraftsunderskottet i området, se figur 6.

Tabell 1. Sammanställning av kalium-, uran- och toriumhalter samt magnetisk susceptibilitet uppmätt på berghällar för kalksten, mörkel och mörkelsten samt sandsten.

Compilation of potassium, uranium and thorium contents in limestone, marl and sandstone together with magnetic susceptibility and average density.

	Kalium (%) <i>Potassium</i>			Uran (ppm) <i>Uranium</i>			Torium (ppm) <i>Thorium</i>			Magnetisk susceptibilitet (x10 ⁻⁵) <i>Magnetic susceptibility</i>			Densitet (kg/m ³) <i>Density</i>
	min. <i>min.</i>	max. <i>max.</i>	medel <i>mean</i>	min. <i>min.</i>	max. <i>max.</i>	medel <i>mean</i>	min. <i>min.</i>	max. <i>max.</i>	medel <i>mean</i>	min. <i>min.</i>	max. <i>max.</i>	medel <i>mean</i>	medelvärde <i>mean</i>
Kalksten <i>Limestone</i>	0,0	0,4	0,1	0,0	78,3	3,3	0,0	1,1	0,1	-1,0	5,4	0,3	2660
Mörkel och mörkelsten <i>Marl and marlstone</i>	1,1	3,5	1,9	0,5	2,8	1,4	3,6	11,4	6,3	3,6	16,5	9,6	2560
Sandsten <i>Sandstone</i>	1,7	1,9	1,8	1,0	1,4	1,2	3,6	5,0	4,2	3,8	7,4	5,6	2330

Tabell 2. Sammanställning av resultat från mätning av magnetisk susceptibilitet och densitet på urbergsmaterial från borrhål.

Compilation of results from measurements of magnetic susceptibility and density on core material from drillings into the crystalline basement.

Borrhålsnamn <i>Borehole</i>	Idnr* <i>Idno.</i>	Institut** <i>Institute</i>	Bergart <i>Rock type</i>	Magnetisk susceptibilitet (x10 ⁻⁵) <i>Magnetic susceptibility</i>	Densitet (kg/m ³) <i>Density</i>
Kvarne-1	3	LTU	Amfibolit <i>Amphibolite</i>	1833	2859
Kvarne-1	3	LTU	Granit <i>Granite</i>	19,3	2653
Skäggs-1	8	LTU	Vittrad gnejs <i>Weathered gneiss</i>	31,6	2435
Verkegard-1	158	SGU	Granit <i>Granite</i>	5,0	2610
Skymnings-1	198	SGU	Granit <i>Granite</i>	8,0	2616
Audungs-1	205	SGU	Gnejs <i>Gneiss</i>	17,0	2570
Sandviken-1	208	SGU	Granit <i>Granite</i>	622,0	2610
Stenstugu-1	212	LTU	Gnejs <i>Gneiss</i>	27,3	2610
Stenstugu-1	212	SGU	Gnejs <i>Gneiss</i>	26,0	2687
Stenstugu-1	212	SGU	Granit <i>Granite</i>	28,0	2526

* Nummer i OPABs borrhålsregister för Gotland
Number in the OPAB borehole register for Gotland

** Institut eller organisation som utfört mätningarna. LTU: Luleå tekniska universitet, SGU: Sveriges geologiska undersökning
Institute or organisation that has performed the measurements. LTU: Luleå University of Technology, SGU: Geological Survey of Sweden

PROFILMÄTNINGAR

Elektriska och elektromagnetiska markmätningar har utförts för att få mer information om ett urval av anomalier som indikerats i data från de flygelektromagnetiska mätningarna. Två metoder har använts: RMT (radiomagnetotellurik) och resistivitetsmätning med multielektrodsystem. En drygt fyra km lång profil har uppmätts i nord-sydlig riktning över kontakten mellan revkalksten i norr och mörgel samt mörgelsten i söder. Läget för profilen visas i figur 4.

Termen resistivitet beskriver ett materials oförmåga att leda elektrisk ström och uppmäts i enheten Ohmmeter (Ωm). Tidigare geofysiska undersökningar på Gotland (Linde & Pedersen 2004) visar att kalksten uppvisar en relativt hög resistivitet ($>1\,000\ \Omega\text{m}$) medan mörgel och mörgelsten har betydligt lägre resistivitet ($<300\ \Omega\text{m}$).

Eftersom vattenmättad lera generellt uppvisar en mycket låg resistivitet ($<30\ \Omega\text{m}$) förväntas att resistiviteten på mörgel och mörgelsten minskar med ökad lerhalt. Även vattenhalten och förekomst av eventuellt salthaltigt vatten i berggrunden påverkar den elektriska ledningsförmågan.

Grundvattnets konduktivitet (ledningsförmåga) i bergborrade brunnar på Gotland varierar mellan ca 40 och 660 millisievert per meter (mS/m), medelvärde $80\ \text{mS/m}$ (Karlquist m.fl. 1982) vilket motsvarar en elektrisk resistivitet på 1,5–25 Ωm (medelvärde 12 Ωm).

RMT är en elektromagnetisk metod där signalen från befintliga radiosändare i frekvensområdet 10–250 kHz (VLF + LF-bandet) används. Instrumentet, EnviroMT är utvecklat vid Uppsala universitet (Bastani 2001). Vid mätning registreras det elektriska fältet i två mot varandra vinkelräta riktningar och det magnetiska fältet i tre vinkelräta riktningar. Markens resistivitet kan därefter bestämmas.

I Sverige kan man utnyttja signalerna från ca 12–40 radiosändare. Antalet tillgängliga sändare är beroende av var i landet man befinner sig. På Gotland har antalet tillgängliga sändare varierat mellan 35 och 40. Att antalet sändare varit högt innebär även att datakvaliteten är hög. RMT-metodens djupkänning är beroende av markens resistivitet samt signalens frekvens. Lägre frekvenser tillför information från djupare nivåer medan de höga frekvenserna ger detaljerad ytnära information. Vid RMT-mätningen användes ett mätavstånd på 10 m.

Vid elektrisk resistivitetsmätning utsänds en ström i marken via två strömelektroder och potentialskillnaden registreras med två potentialelektroder. Markens skenbara resistivitet kan sedan beräknas enligt:

$$\rho_a = K \cdot \frac{U}{I}$$

där U är uppmätt potentialskillnad, I motsvaras av den utsända strömmen och K är en geometrisk faktor som är beroende av elektrodernas inbördes läge. Genom att öka avståndet mellan strömelektroder erhålls en större djupkänning. Vid mätningen användes ett multielektrodsystem, ABEM Lund Imaging System (Dahlin 1996), där 64 elektroder placerades ut längs profillinjen med automatisk registrering av mätdata för olika elektrodkonfigurationer. Ett elektrodavstånd på 5 m användes för samtliga profiler.

Vid tolkningen av data har tvådimensionella modelleringsprogram använts. För RMT-data används inversionsprogrammet Rebocc (Siripunvaraporn & Egbert 2000, Pedersen & Engels 2005) och för resistivitetsdata programmet Res2Dinv (Loke 2004). Vid inversion skapas en modell med celler av okänd resistivitet. Programmet anpassar resistiviteten i varje cell så att responsen från modellen överensstämmer med uppmätta data. Resultatet presenteras som djupsektioner över resistiviteten längs den uppmätta profilen.

Figur 8 visar resultat från den 4,3 km långa RMT-profilen. Som jämförelse har ett utsnitt ur flygresistivitetskartan över samma område lagts in över profilen. Observera att djupskalan är kraftigt förstorad i jämförelse med längdskalan. Områden med hög resistivitet ($>1\,000\ \Omega\text{m}$, röd färg) motsvaras av revkalksten som förekommer främst i den norra delen, men även i den södra delen av profilen. Kalkstensens mäktighet kan relativt väl bestämmas ur resistivitetsmodellen och varierar från omkring 60 m i den norra delen till en betydligt mindre mäktighet på ca 30 m i den södra delen. Modellen visar även att revkalkstenen har en märkbart större mäktighet i kontakten mellan lagrad kalksten och området med mörgel och mörgelsten (dvs. vid koordinat 400 m och 3 500 m). Områden med låg resistivitet ($<30\ \Omega\text{m}$, blå färg) motsvaras av mörgel och mörgelsten. Skillnaden mellan mörgel och mörgelsten är att mörgel är mjuk eller mycket dåligt konsoliderad medan mörgelstenen, som innehåller en betydande andel finkristallin karbonat, är hård. I de centrala delarna av profilen visar modellen tydligt två lager med mörgel: ett ytligt på ca 20 m djup och ett annat på ca 50 m djup.

RMT-metoden är speciellt bra på att detektera elektriska ledare, som mörgel och mörgelsten i det här fallet. Det innebär att djupgåendet av den högresistiva revkalkstenen är relativt väl bestämt samt överytan på de två lågresistiva lagren med mörgel och mörgelsten. Djupgåendet av det undre lagret kan inte bestämmas ur modellen. Djupkänningen hos metoden är förutom frekvens, även beroende av markens resistivitet där låg resistivitet medför en mindre djupkänning. Det innebär att djupkänningen inom de högresistiva kalkstens-

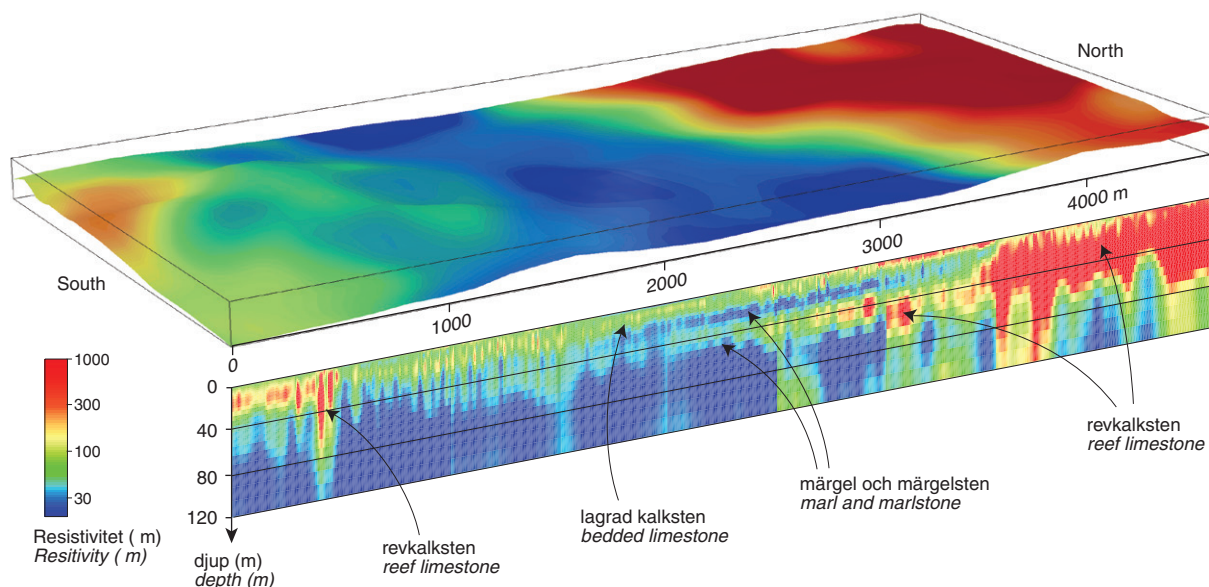


Fig. 8. Resistivitetsmodell från RMT-mätningen. Profilen är 4,3 km lång och går från söder mot norr. Profilens läge är markerad i figur 4. Ett utsnitt av resistivitetskartan, baserad på flygdata, över samma område som profilen ligger överst i figuren.

Measured RMT-profile. The profile is 4.3 km long and extends in a north–south direction. The position of the profile is shown in figure 4. A part of the airborne data covering the area with the profile is presented.

områdena är betydligt större (>100 m) i jämförelse med märgel- och märgelstensområdena (<60 m).

Figur 8 visar även att överensstämmelsen mellan resistivitetskartan baserad på flygmätningar med VLF och den markmätta RMT-profilen är mycket god. De båda högresistiva kalkstensområdena kan även identifieras från flygdata. RMT-data tillför dock betydligt mer detaljerad information och ger en bild av hur resistiviteten varierar med djupet.

Figur 9 visar resultat från resistivitetsmätning med multielektrodsystem (ABEM Lund Imaging System)

längs ett 500 m långt avsnitt av profilen (mellan 1 700 och 2 200 m). Som jämförelse har även samma utsnitt från RMT-modellen lags in. I den övre modellen från resistivitetsdata framträder den resistiva strukturen (revkalksten) mycket tydligt. Profilen startar i ett torrt hållområde (1 700–1 800 m) och går sedan över i ett område med vattenfyllda diken (1 900–2 000 m). Detta återspeglas i den ytligaste delen (ca 0–5 m) i den övre modellen. I jämförelse med RMT-mätningen är inte resistivitetsmätning lika effektiv för att identifiera de lågresistiva lagren med märgel och märgelsten.

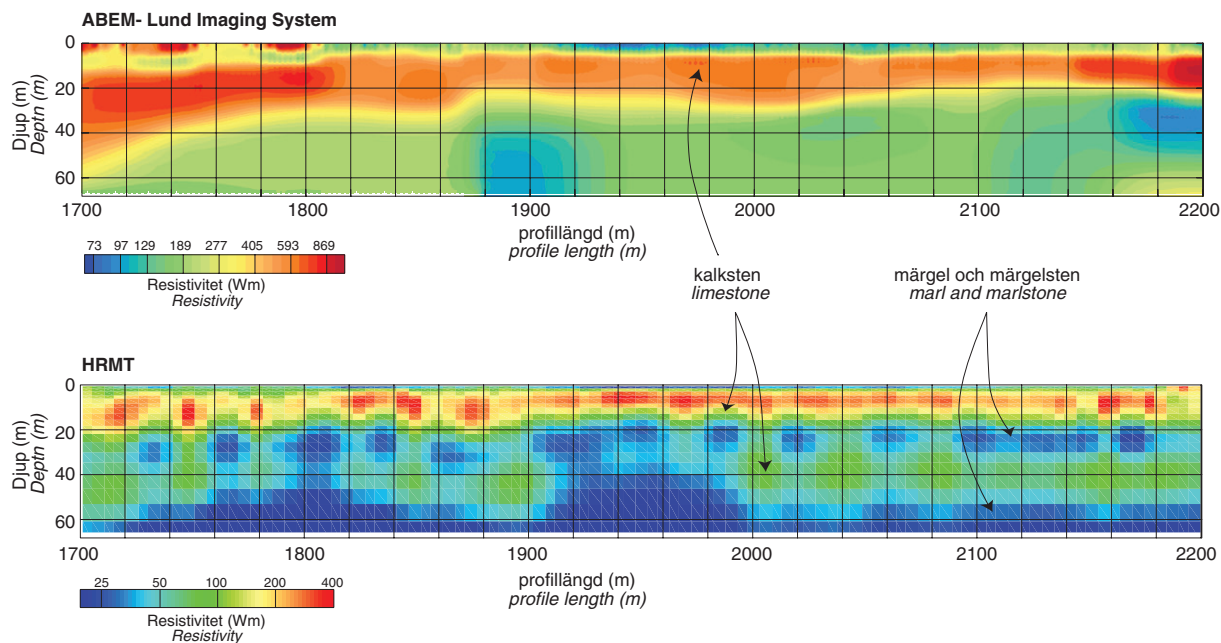


Fig. 9. Resistivetsprofil mätt med ett multielektrodsystem (ABEM Lund Imaging System) längs ett 500 m långt avsnitt, motsvarande avsnittet 1700–2200 m på RMT-profilen (se fig. 8).

Resistivity profile using a multi-electrode system (Lund Imaging System) along a 500 m long section corresponding to the interval between 1700–2200 m on the RMT-profile in figure 8.

Berggrundens strukturella uppbyggnad

TOPOGRAFI

Berggrundens uppbyggnad återspeglas till stora delar i landskapets topografi (fig. 10). Områden med hårdare och mindre erosionsbenägna bergarter framträder tydligt som höjdryggar. Här är jorrdjupen oftast små

vilket bl.a. framkommer av det stora antalet berghällar. Inom två större sammanhängande höjdområden påträffas berggrunden på ca 60 m ö.h. Det ena området sammanfaller i stort med Sliteformationens revartade kalkstenar och sträcker sig från Tofta, Stenkumla (66A 5–6 i–j, 66C 1 e), ca 10 km sydsydost om Visby, i nord-

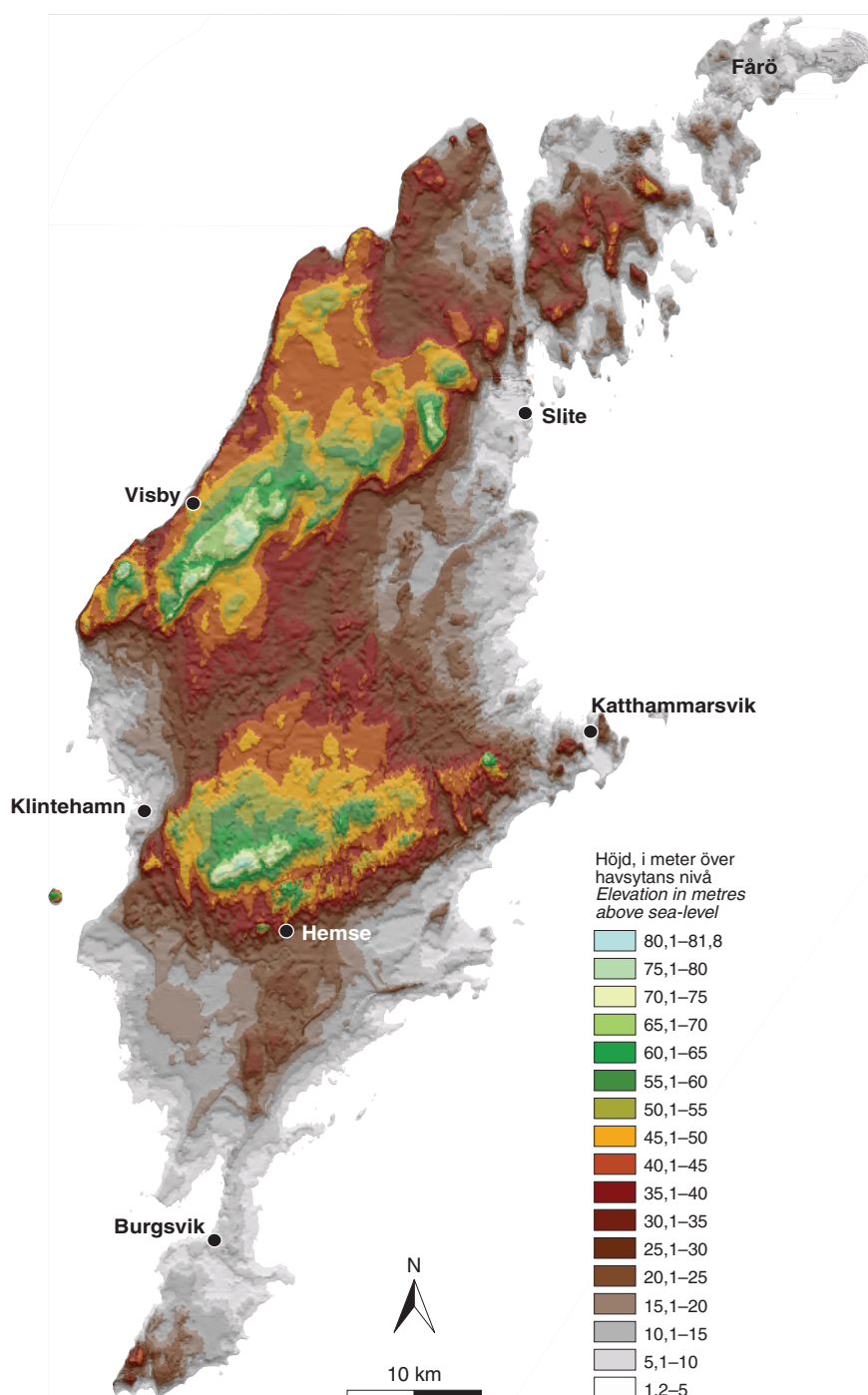


Fig. 10. Höjdreliëfkarta över Gotland baserad på höjddata från Lantmäteriet.
Relief map of Gotland based on data from the National Land Survey of Sweden.

ostlig riktning upp mot Othem (66C 1 e). Ett liknande höjdområde finns tvärs över mellersta Gotland mellan Fröjel (56C 1 i) och Torsburgen 56C 2–3 i). Även inom detta höjdområde påträffas berggrunden som högst på ca 60 m ö.h. och domineras av hårda kalkstenar. I figur 11 visas områden som ligger över 25 m ö.h. Utmed denna nivå är det vanligt med klintbildningar och före-

komst av grottor som kan ha ett preglacialt ursprung även om de till stora delar omformats av kvartära nedsläpningar och postglacial erosion kopplad till havsnivåförändringar i östersjöområdet, bl.a. under Ancylus- och Littorinatid.

Höjdområdena (>25 m ö.h.) domineras av hårdare kalkstensberggrund, medan mellanliggande låglänta

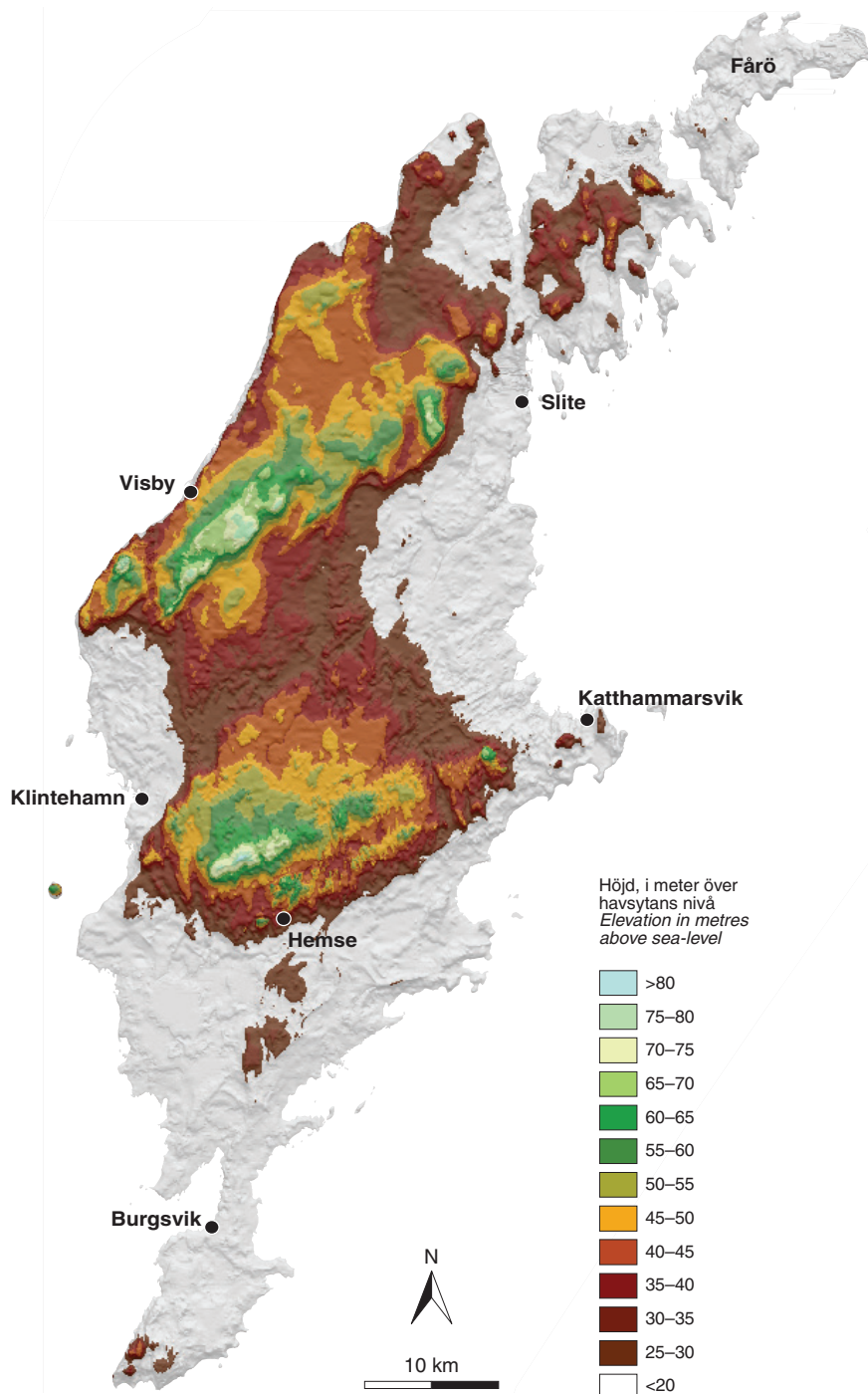


Fig. 11. Höjdreliëfkarta över Gotland som visar områden som är högre än 25 meter över havsytans nivå. Kartan är baserad på höjddata från Lantmäteriet.

Relief map of Gotland displaying areas higher than 25 metres above mean sea level. The map is based on data from the National Land Survey of Sweden.

delar av Gotland domineras av bergarter som är mindre motståndskraftiga för erosion, t.ex. mörgel och växellagring med mörgel, mörgelsten och kalksten. Inom områden där den mjukare mörkeln förekommer är berggrunden dåligt blottad och syns främst i diken och tillfälliga skärningar. Typiska mörkelområden finns kring Hablingbo–Hemse–Havdhem (56B 8–9, j, a–g) på södra Gotland där berggrunden domineras av mörgel och mörgelsten tillhörande den s.k. Hemsemörkeln. Ett annat mörkelområde finns mellan Västergarn (56C 4 i) och Slite (66D 0 f) där berggrunden domineras av lerigare och mjukare kalkstenar (mörgel och mörgelsten) som ofta växellagrar med hårdare kalksten. Detta område sammanfaller med den s.k. Slitemörkeln.

LAGRING OCH BILDNINGSMILJÖ

Generellt stupar Gotlands berggrund 0,2–0,4° åt sydsydost. Den siluriska berggrundsytan uppvisar lokalt mycket varierande stupningsriktningar och lagring som härrör från den avsättningsmiljö som bergarterna har sitt ursprung i. Under silurisk tid täckte ett grunt hav Gotland. Kusten låg inte långt bort och merparten av sedimenten avsattes på en kustnära grund shelf. Inslaget av terrigent material (lermineral, kvarts m.m.) var mestadels litet vilket gjorde att sedimenten som bildades och avsattes i denna miljö kom att domineras av karbonatpartiklar från de skalbärande organismer som levde i havet. Periodvis rådde gynnsamma villkor för revbildning. Dessa siluriska rev var inte lika komplexa och väl utvecklade som dagens rev utan dominerades av svampdjur (stromatoporoider) som tillsammans med tabulata koraller byggde upp den rigida, oregelbundet lagrade struktur som vi idag kan se. Hällarna inom områden med revkalksten har ofta en knölig och småbruten morfologi (fig. 12a). Reven varierar från någon meter till tiotals meter höga strukturer som har en utbredning från några få kvadratmeter till flera kvadratkilometer. Runt reven förekommer talrika talusformade lager med grova fragmentkalkstenar som består av lösrivet material som rasat ner utmed revsidorna, ofta i samband med stormar. Dessa lager har en linsformad utbredning och stupar bort från revkärnan. Runt större rev kan därför lagerstupningen vara mycket varierande. Ett annat lagringsfenomen i anslutning till större revkroppar är s.k. "Philipstrukturer" som är ringformade lagringsstrukturer bildade på grund av kompaktion av underliggande berggrund (Eriksson & Laufeld 1978). Dessa syns tydligt utmed den nordvästra kusten där rev tillhörande Högkintformationen överlagrar mörgel och mörgelsten tillhörande Visbyformationen.

Utanför reven, i något djupare vatten, har avsättningsförhållandena varit mer enhetliga vilket resulterat i mer homogent lagrade kalkstensenheter. Ofta är växellagringen mellan lerigare lager (mörgel och mörgelsten) och kalksten mycket påtaglig. Enskilda lager är oftast mellan 5 och 20 cm tjocka och lateralt uthålliga. Hällområden med dessa typer av berggrund uppvisar tydligt plana lagringsplan (fig. 12b). De enskilda lagren har också en mycket större lateral utbredning.

TEKTONIK (SPRICKOR, FÖRKASTNINGAR, LINEAMENT)

Området som idag utgör centrala–södra Östersjön karakteriserades under kambrisk tid av en långsam nersjunkning efter en svag fas med ediacarisk tension och uppsprickning (riftbildning) av den baltiska plattan. Uppsprickningen hade i huvudsak en nordnordöstlig till sydsydvästlig riktning lokaliserad till området söder och sydost om Gotland. Kambrium var inte enbart en period med långsam nersjunkning, vilket är verifierat av att det i området kring Färösund och Fårö (66E 4–6 i–j, a–b) förekommer stora skillnader i de kambriska lagrens mäktighet och uppbyggnad. I OPAB-borrhålet Verkegard-1 (56B 7b) på Fårö är de kambriska lagren ställvis uppkrossade (breccierade), vilket tillsammans med gravimetriska och flygmaletiska data indikerar en tektonisk zon som har en nordnordvästlig riktning som i stort sammanfaller med Färösund (66D 3–5 i–j).

I samband med den kaledoniska orogenesen förändrades sedimentationsmönstret successivt. Mäktigheterna på de ordoviciska lagren i området varierar till följd av tektoniska rörelser som orsakat t.ex. bildningen av lokala höjdområden och sänkor. Under silur ökade sedimentationshastigheten kraftigt till följd av insjunkning framför den kaledoniska deformationsfronten i söder. Under yngsta silur ökade inslaget av terriklastiskt material med bildningen av Burgsviksandsten på Gotland och motsvarande Övedsandsten i Skåne. Dessa markerar slutfasen av den äldre paleozoiska sedimentationen i området. Under devon och perm kom stora delar av den baltiska plattan att utsättas för omfattande erosion av upphöjda områden där stora mängder kambrosilurisk berggrund avlägsnats.

Den siluriska berggrundsytan på Gotland är förhållandevis lite påverkad av större tektoniska störningar. Mindre förkastningar, sprickzoner och lineament förekommer dock frekvent. Huvudriktningarna för dessa är 270–310° och 40–60° (fig. 12c–d).

Lineament som markerats på kartan har tolkats från höjddata, resistivitetsdata samt magnetiska data. De lineament som tolkats från höjddata och resistivitetsdata indikerar relativt ytnära sprickzoner och förkastningar medan de lineament som tolkats från magnetiska data visar djupare strukturer och deformationszoner



Fig. 12. **A.** Massformig oregelbundet lagrad revkalksten överlagrande horisontellt lagrad kalkarenit, Husken (6410107/1688776). **B.** Stora flacka hällar med tunnlagerad kalkarenit strax nordöst om Lansaholm (6424825/1692143). **C.** Kalcitfyllda sprickor vid Norra Gattet, Fårö (6427010/1692120) **D.** Uppsprucken kalkarenit vid Ar, norra Gotland (6426490/1685040). Foto: M. Erlström.

A. Irregularly and undulating outcrops of reef limestone overlying horizontally layered calcarenite at Husken. **B.** Extensive smooth and flat outcrops of thin-bedded calcarenite, north-east of Lansaholm. **C.** Fractures filled with calcite at Norra Gattet, Fårö. **D.** Fractured outcrops of calcarenite at Ar, northern Gotland.

i det kristallina urberget. Några huvudriktningar kan urskiljas på kartan; en i nordnordväst som tydligast framträder på höjddata, en annan i nordost–sydväst som framträder på både höjd- och resistivetsdata och en tredje i nordväst–sydost som framträder tydligast på magnetiska data.

KARST

Med karst avses bildningar som uppkommit genom kemisk upplösning (korrosion) av kalkstensberggrunden. Denna process är ett kemiskt vittringsfenomen där den svaga kolsyran i markvattnet angriper mineralet kalcit

(CaCO_3) som utgör huvudbeståndsdel i kalkstenen. Denna kemiska process kan vidga sprickor till gångar och kanaler i kalkstensberggrunden.

Karst är vanligtvis något som man förknippar med sydligare breddgrader. I Sverige har småskalig karst påvisats inom områden som domineras av kalkstensberggrund, t.ex. Öland, Gotland, delar av Skåne och i fjällkedjan (Engh 1980). I dessa områden förekommer karst mestadels som urlakning och vidgning av sprickor som under gynnsamma betingelser kan leda till bildningen av underjordiska gångar (slukhål och mindre grottsystem), t.ex. Lummelundagrottan (66C 0a–b) som är Sveriges tredje största grotta (Engh 1980).

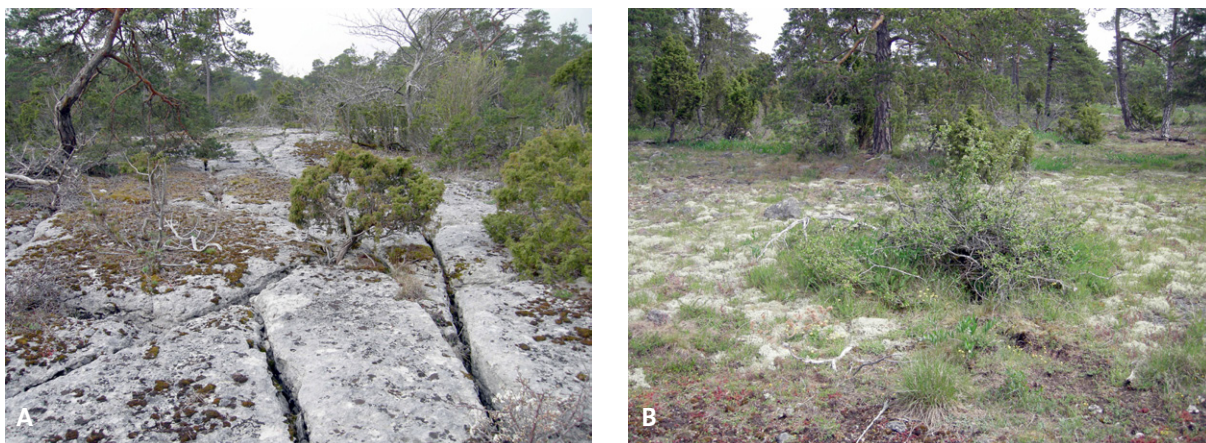


Fig. 13. A. Sprickkarren i hållområdet med kalksten tillhörande Slitegruppen vid Langs Hage, Visby, (1649040/6388740). B. Slukhål i Hemse-kalksten vid Sigsarve (1688350/6362080). Foto: M. Erlström.

A. Karstification in limestone of the Slite Group at Langs Hage, Visby. B. Sink hole in Hemse limestone at Sigsarve.

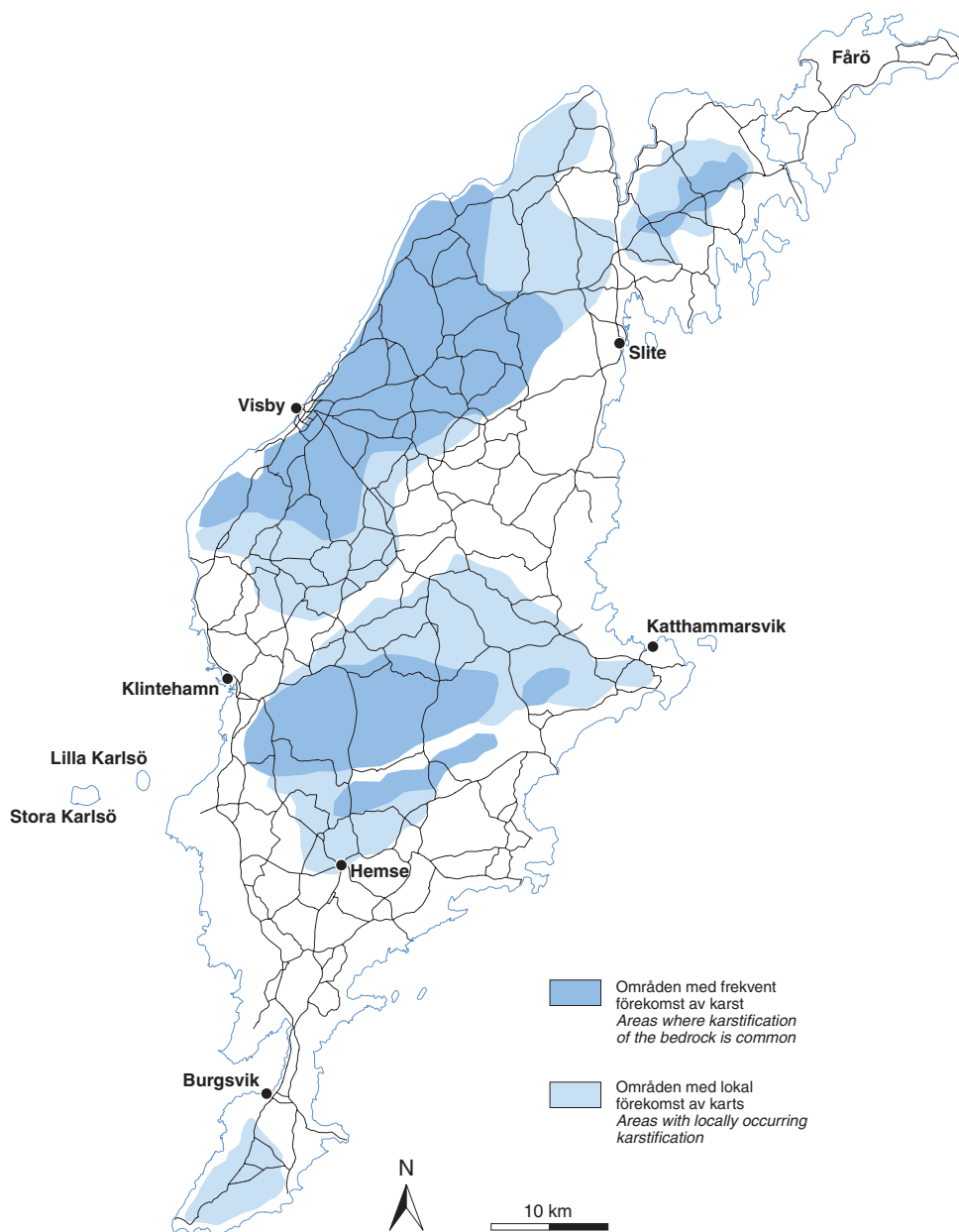


Fig. 14. Översiktlig karta som visar områden med karst på Gotland.

Schematic map showing main areas of karstification on Gotland.

På Gotland är karstifierade sprickor vanligt förekommande i kalksten med hög karbonathalt som är relativt homogen i sin uppbyggnad, dvs. utan inlagring av legrigare kalksten. Dessa benämns sprickkarren (fig. 13 a) och är den vanligaste karsttypen på Gotland. Sprickorna kan vara uppemot 20 cm breda nära ytan. Omfattningen av kartsvittringen på djupet i dessa sprickkarren är osäker, eftersom de på djupet vanligtvis är fyllda med barr, löv, grenar, mossor m.m. Som mest är den öppna, ytnära delen ca 60–100 cm djup.

Slukhål (fig. 13b) är en annan relativt vanligt förekommande karststruktur på Gotland. Med slukhål menas en punkt eller plats där ytvatten försvinner ner i marken, t.ex. kan en bäck sluta abrupt i anslutning till ett slukhål. Stora mängder ytvatten kan dräneras ner i berggrundens karstvittrade spricksystem och grottor via slukhål. Öppna källor i lägre liggande terräng har ofta en koppling till högre liggande slukhål. Kartläggningen som genomförts visar att karst förekommer i huvudsak inom homogena kalkstensplatåer som ligger högre än ca 25 m ö.h. (fig. 14). Förekomsten av karst har mycket stor betydelse för bedömning av grundvattnets sårbarhet. Det har även visat sig att förekomsten av karst har betydelse för radonrisken i bostäder på Gotland.

Förutom karststrukturer som bildats efter senaste istiden (Littorinatid), eller möjligtvis under interglacial tid, finns det mycket gammal karst på Gotland,

s.k. paleokarst. Dessa strukturer har bildats under silurisk tid i samband med tillfälliga regressioner då kalkstensberggrunden blivit exponerad och utsatt för kemisk korrosion. Dessa karststrukturer är kända från olika nivåer i ludlow och wenlock på Gotland (Cherns 1982, Eriksson 2004, Calner m.fl. 2004). Paleokarstnivåerna tycks ställvis vara knutna till en förhöjning av magnesium- och kloridhalterna i dessa kalkstenslager till följd av indunstning och inflöde av meteoriskt grundvatten.

RAUKAR

Platser som Lergrav (66D 2h), Digershuvud (66E 6 i–j), Langhammarshammar (66E 6–7 j, a), Folhammar (56D 2 f) och Holmhällar (56A 2 a) är förknippat med kända raukområden (fig. 15 a–c). Raukar finns dock på flera platser utmed kuststräckor där det finns en klint och där berggrunden domineras av revkalksten. Rauk är en abrasionsform som bildas genom kusterosion av kalkstenslager med varierande hårdhet. Ofta består raukarna av revartade mer homogena, orgelbundet lagrade partier med kalksten som varit mer motståndskraftiga mot vågornas erosion till skillnad från omgivande mer lagrade bergarter. På flera platser finner man raukar långt inåt land, t.ex. vid Boge (66B 9 f). Dessa återspeglar äldre, högre havsyttenivåer, t.ex. Littorinahavet



Fig. 15. A. Raukområdet Langhammarshammar (6435330/1699561). B. Raukområdet vid Lergrav med den s.k. Lergravsporten. (6411900/1689200). Foto: M. Erlström. C. Raukområdet vid Holmhällar (6314249/1651490). Foto: L. Persson.

Examples of sea-stacks. A. Langhammarshammar. B. Lergrav. C. Holmhällar.

och Ancylussjön. Merparten av de kustnära raukarna bildades under postglacial tid. Sannolikt har en del av raukstrukturerna som finns bevarade i högre terräng

ett äldre ursprung. Det är påvisat att det redan under silurisk tid periodvis fanns raukar som bildats på motsvarande sätt, t.ex. vid Bara (66B 7 d).

Urberget

Urbergets uppbyggnad under Gotland är dåligt känd eftersom det täcks av mäktiga lager med yngre sedimentär berggrund. Befintlig information härrör från

34 borrhål som nått ner till de allra översta metrarna av urberget (fig. 16) som tolkats vara svekokarelikst med en granitisk sammansättning (Flodén 1980). Djupet

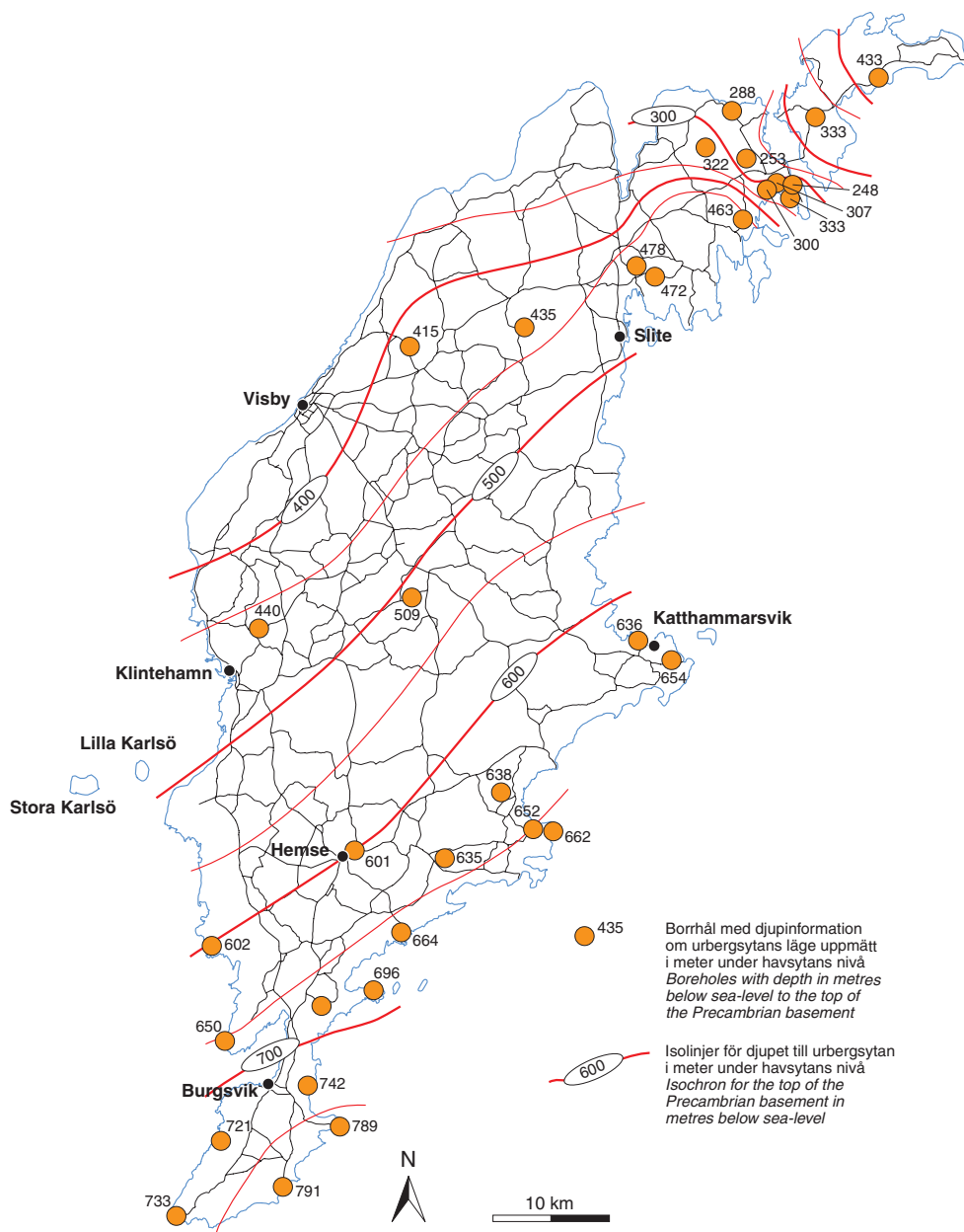


Fig. 16. Översiktlig karta som visar djupet till urberget mätt i meter under havsytan. Kartan är baserad på information från OPABs och SGUs borrhål.

Schematic depth map of the basement in metres below mean sea level. Based on information from OPAB and SGU boreholes.

till urberget tilltar söderut. I norr ligger urberget på ca 300 m djup medan det i söder ligger på nästan 800 m djup. Urbergsytan utgörs av det s.k. subkambriska peneplanet, som ställvis bryts av lokala höjdområden. Dessa höjder tycks till viss del ha styrt sedimentationsmönstret i den överliggande sedimentära berggrunden.

Borrkax och få kärnprover indikerar en berggrund dominerad av bandad, rödgrå, biotitrik gnejs och röd granit. Flygmagnetiska mätningar och tyngdkraftsmätningar visar att urberget har en mer varierande

uppbyggnad än vad som redovisas i borrhålsdokumentationen. Proverna visar att urberget på många ställen är kaolinvittrat. Brecciering och förekomst av mörka basiska bergarter samt mineraliseringar beskrivs i borrhålsdokumentationen från borrhål kring Fårösund, Audungs-1 (66D 3 i) och Verkegard-1 (56B 7 b). Dessa störningar i urberget är sannolikt kopplade till förkastningsrörelser knutna till den s.k. Fårösundryggen som även påverkat den kambriska berggrunden i området.

Den sedimentära berggrunden

KAMBRIUM

Kambrisk berggrund påträffas på Gotland på flera hundra meters djup under ordoviciska och siluriska berggrundslager (fig. 17). Den kambriska lagerföljden består delvis av porösa och permeabla sandstenslager vilket gör dem intressanta som oljereservoarer och för geotermisk energiproduktion. Även om endast spår av olja hittats i lagren under Gotland har större utvinningsbara förekomster påvisats på den baltiska sidan av Östersjön.

Den kambriska berggrunden i södra Östersjön, Gotland och Öland delas in i tre delar, dvs. File Haidar-, Borgholm- och Alunskifferformationerna (fig. 18). På Gotland ökar mäktigheten på den kambriska lagerföljden i sydostlig riktning, från ca 140 m i kärnborrhålet Visby-1 (66A 8 j, Hedström 1923) till ca 200 m i Grötlingbo-1 (56B 7 i, Ahlberg 1989). Söder om Gotland är den kambriska lagerserien uppemot 300 m mäktig (Flodén 1980). Variationen beror till merparten på en tilltagande mäktighet av mellersta kambrium, dvs. Faluddensandsten.

Undre kambrium utgörs till största delen av File Haidarformationen som är beskriven av bl.a. Thorslund & Westergård (1938), Bergström & Gee (1985), Hagenfeldt (1994), Ahlberg (1989) och Nielsen & Schovsbo (2007). Formationen är ca 100 m mäktig och indelas i Viklausandsten, Närskiffer och Närsandsten. Dominerande litologier är fin- och medelkornig sandsten, siltsten och lersten.

Borgholmformationen är 70 m tjock i norr och 127 m på södra Gotland (Hagenfeldt 1994). Formationen delas in i Grötlingbo-, Mossberga-, Bårstad-,

Faludden- och Äleklintaleden. Det sistnämnda saknas på Gotland. Merparten av formationen har en mellankambrisk ålder. Grötlingboledet och delar av Mossbergaledet förs till yngsta delen av äldre kambrium (Nielsen & Schovsbo 2007).

Flertalet av leden i Borgholmformationen består av växellagrade enheter med siltsten och lersten med underordnat inslag av sandsten. Faluddenledet däremot består huvudsakligen av sandsten. Denna enhet är avsevärt mäktigare på södra Gotland (ca 40–50 m) jämfört med observationer på norra Gotland (t.ex. File Haidarborrningen (66C 0 e, Ahlberg 1989) där den endast är ca 5 m mäktig.

Övre kambrium är mycket dåligt representerat på Gotland och utgörs av endast några få metrar med mörkgrå skiffer och kalksten tillhörande Alunskifferformationen som tycks finnas endast på den södra delen av Gotland. I borrhålet När-1 (56D 0 e) påträffas en ca 2 m mäktig lagerserie tillhörande Alunskifferformationen på 470 m djup. Lagren består av mörkgrå skiffer och kalksten med inslag av tunna sandstensskikt (Ahlberg 1989).

ORDOVICIUM

Precis som den kambriska berggrunden påträffas ordoviciska lager endast i borrhningar som djupt liggande berggrundslager (fig. 19). Den ordoviciska berggrunden är framför allt känd från OPABs och Gotlandsolja ABs kolväteprospektering. Lagerserien är totalt uppemot 150 m och har av OPAB delats in i tre enheter. Denna indelning följer inte strikt indelningen för motsvarande lager på fastlandet. OPABs indelning baseras på geo-

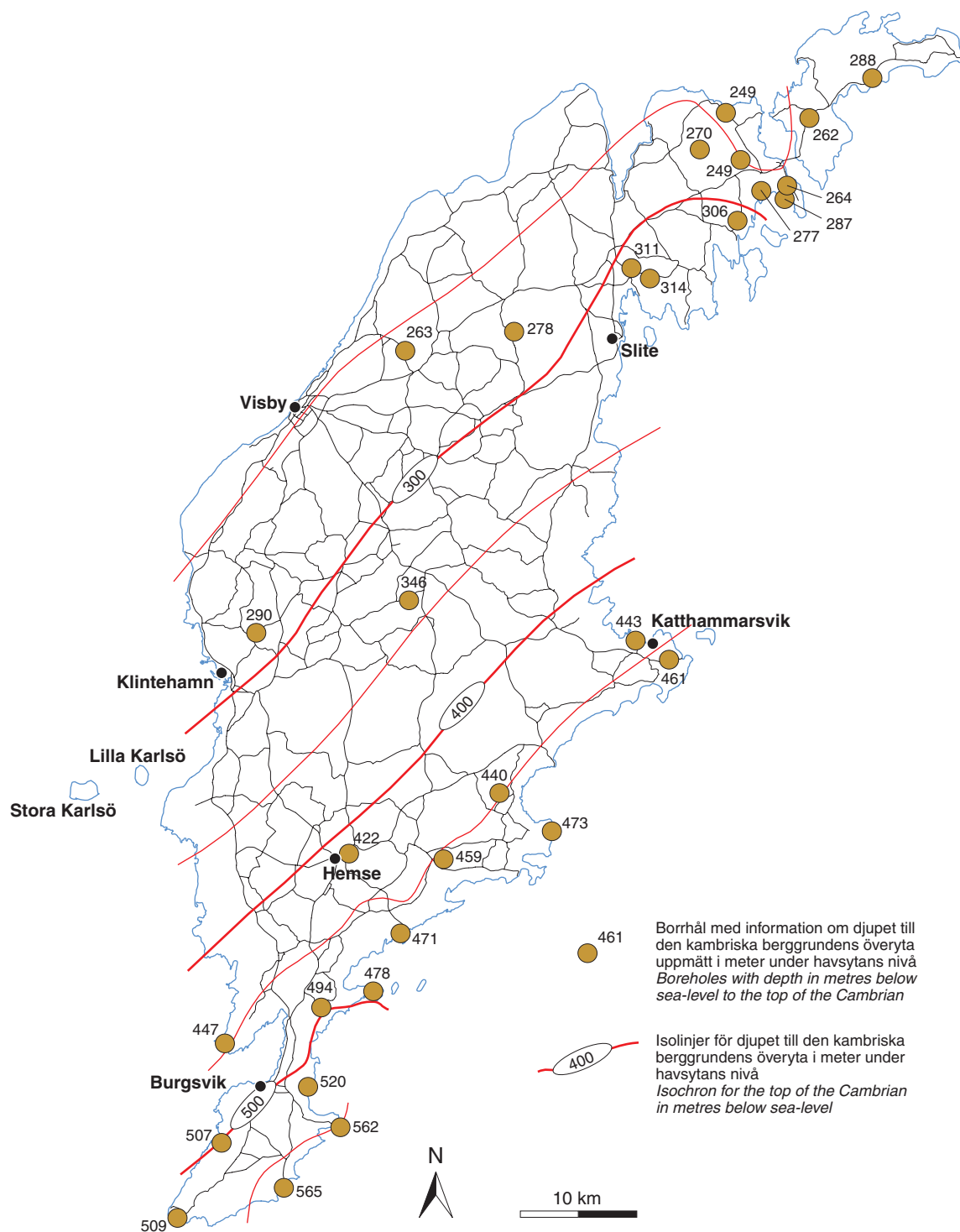


Fig. 17. Översiktlig karta som visar djupet till kambriums överyta mätt i meter under havsytan. Kartan baserad på information från OPABs och SGUs borrhål.

Schematic depth map of the top of the Cambrian in metres below mean sea level. Based on information from OPAB and SGU boreholes.

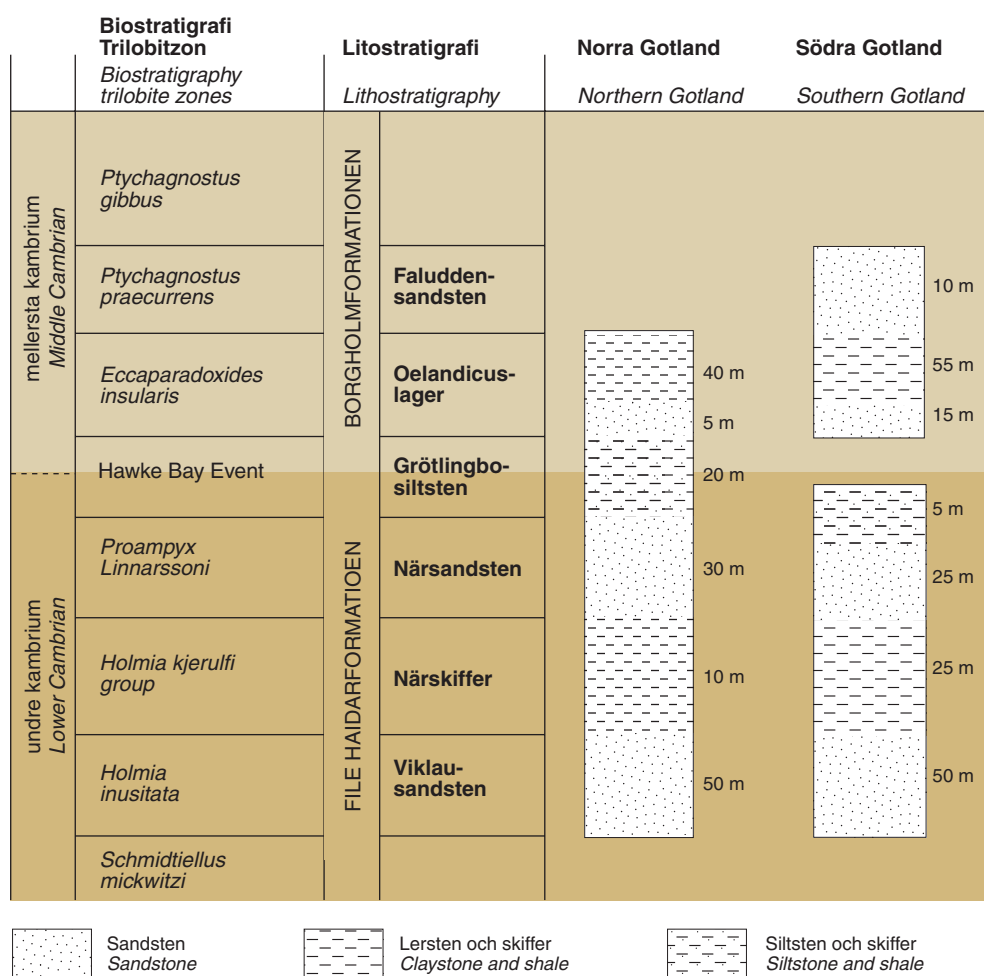


Fig. 18. Stratigrafiskt schema för den kambriska berggrunden i södra Östersjön. Schemat baseras på data från Nielsen & Schovsbo (2007).
Stratigraphic scheme of the Cambrian in the southern Baltic. Based on data from Nielsen & Schovsbo (2007).

fysiska borrhålsloggar, kaxprover och seismiska data. Biostratigrafisk information finns i mycket begränsad omfattning. OPABs indelning består i en undre bentonitförande kalkstensenheter samt två överliggande kalkstensenheter som benämns Kvaerneformationen och Klasenkalksten (fig. 20).

Den undre bentonitförande lager-serien är ca 30–60 m mäktig och består av lersten och lerig kalksten med inslag av tunna bentonitlager vars antal ökar högre upp i lager-serien. På denna lager-serie följer en 5–10 m mäktig sekvens med lerstenar som av OPAB benämns Kvaerneformationen. Övre delen av den ordoviciska lagerföljden består av Klasenkalksten som är en 25–75 m mäktig enhet uppbyggd av lerig kalksten med tunna skifferlager samt ett tydligt inslag av revliknande strukturer, ”mounds” (Sivhed m.fl. 2004). Dessa revliknande strukturer, som kan vara uppmot 50 m höga och 2 km i diameter, har varit huvudmålet för den oljepro-spektering och oljeproduktion som skett på Gotland.

SILUR

Den siluriska ytberggrunden på Gotland omfattar ca 10 miljoner år (428–418 Ma) motsvarande tidsavsnitten wenlock och ludlow. Den siluriska lagerföljdens uppbyggnad på djupet är dåligt känd eftersom det oftast saknas djupinformation (borrkax och geofysiska loggar) över det siluriska intervallet i OPABs borrhningar. Förekomsten av berggrund tillhörande äldsta silur (äldre llandovery) är inte påvisad men sannolikt förekommer den på djupet, överlagrande den ordoviciska Klasenkalkstenen. Den siluriska djupberggrunden domineras av leriga kalkstenar, mörkel och lersten till skillnad från den ytnära berggrunden som till större andel består av olika kalkstenslitologier.

Den siluriska lagerföljden har en sammanlagd mäktighet på 500–750 m och stupar svagt åt sydsydost (0,2–0,4°). Ursprungssedimenten avsattes på en grund shelf som täckte stora delar av centrala Östersjöbäck-

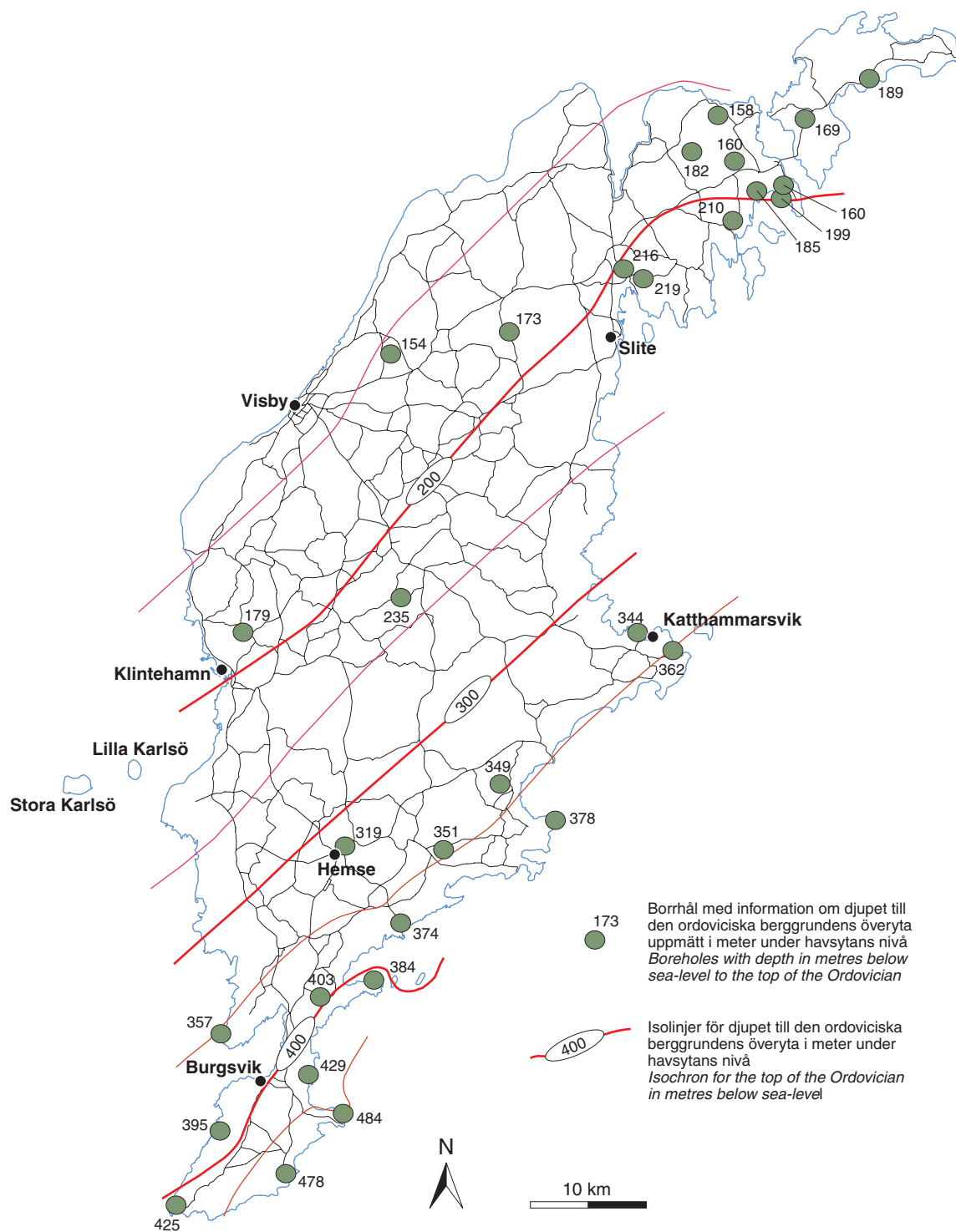


Fig. 19. Översiktlig karta som visar djupet till ordoviciums överyta (topp Klasenkalksten) mätt i meter under havsytan. Baserad på information från OPABs och SGUs borrhål.

Schematic depth map of the uppermost Ordovician (Klasen Limestone) in metres below mean sea-level. Based on information from OPAB and SGU boreholes.

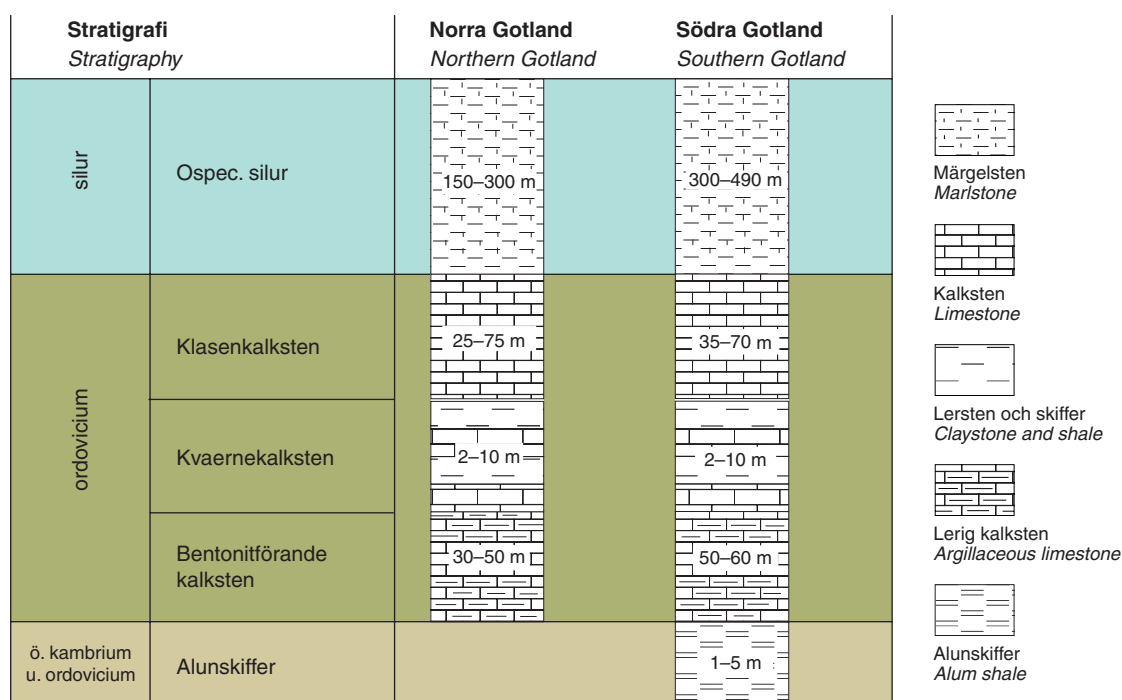


Fig. 20. Stratigrafiskt schema för den ordoviciska berggrunden i södra Östersjön, baserat på information från Sivhed m.fl. (2004).
Stratigraphic scheme of the Ordovician in the southern Baltic region. Based on information from Sivhed et al. (2004).

enet under silurisk tid. Uppemot 10 cykler med avsättning har dokumenterats (Calner m.fl. 2004). Mellan cyklerna förekom perioder med erosion då Gotland låg ovanför erosionsbas (Eriksson 2004, 2007). Inom varje enhet som motsvarar en cykel är bergarterna generellt grövre och mer karbonatrika i nordost jämfört med i sydväst där inslag av märgel och märgelsten är mer påtagligt; detta till följd av successivt djupare marina avsättningsförhållanden i sydvästlig riktning. Under de senaste decennierna har fördjupade stratigrafiska och sedimentologiska studier (Samtleben m.fl. 1996, Baarli m.fl. 2003, Eriksson & Calner 2005, Jeppsson m.fl. 2006) resulterat i en förfinad stratigrafisk indelning (fig. 2 & 21) och ökad kunskap om bildningsförhållanden och litofacies.

Den stratigrafiska indelningen av den siluriska berggrunden på Gotland är en reviderad version av Hedes (1960) indelning och nya formationer och led som bygger på både litostratigrafiska och biostratigrafiska data (Jeppsson m.fl. 2006). Begreppet topostratigrafi introducerades av Jaanusson (1976) och är en kombination av litologiska och biologiska data. Förutom den

traditionella stratigrafiska indelningen finns det även en klassificering som bygger på en s.k. "event"-stratigrafi där berggrunden indelas i relation till klimatändringar och variationer av havsytans nivå (se bl.a. Jeppsson 1993, 1998, 1997, 2005, Aldridge m.fl. 1993, Jeppsson m.fl. 1995, Jeppsson & Aldridge 2000, Calner & Jeppsson 2003, Calner m.fl. 2004).

Gränserna för de stratigrafiskt definierade enheterna sammanfaller ofta inte med någon tydlig litologisk gräns vilket försvårar den praktiska användningen av en karta som bygger på nämnda stratigrafiska indelningar (jfr fig. 1). Däremot har den stratigrafiska indelningen ett stort geovetenskapligt värde, speciellt vad beträffar den klimatologiska utvecklingen under silur.

Många av Hedes ursprungliga enheter används fortfarande för beskrivning av olika avgränsade berggrundsområden på Gotland. I appendix 1 ges en sammanfattande beskrivning av den stratigrafiska indelningen av Gotlands berggrund som anges i bl.a. Hede (1960), Riding & Watts (1991) och Jeppsson m.fl. (2006). Gränserna för de olika enheterna visas i figurerna 1 & 2.

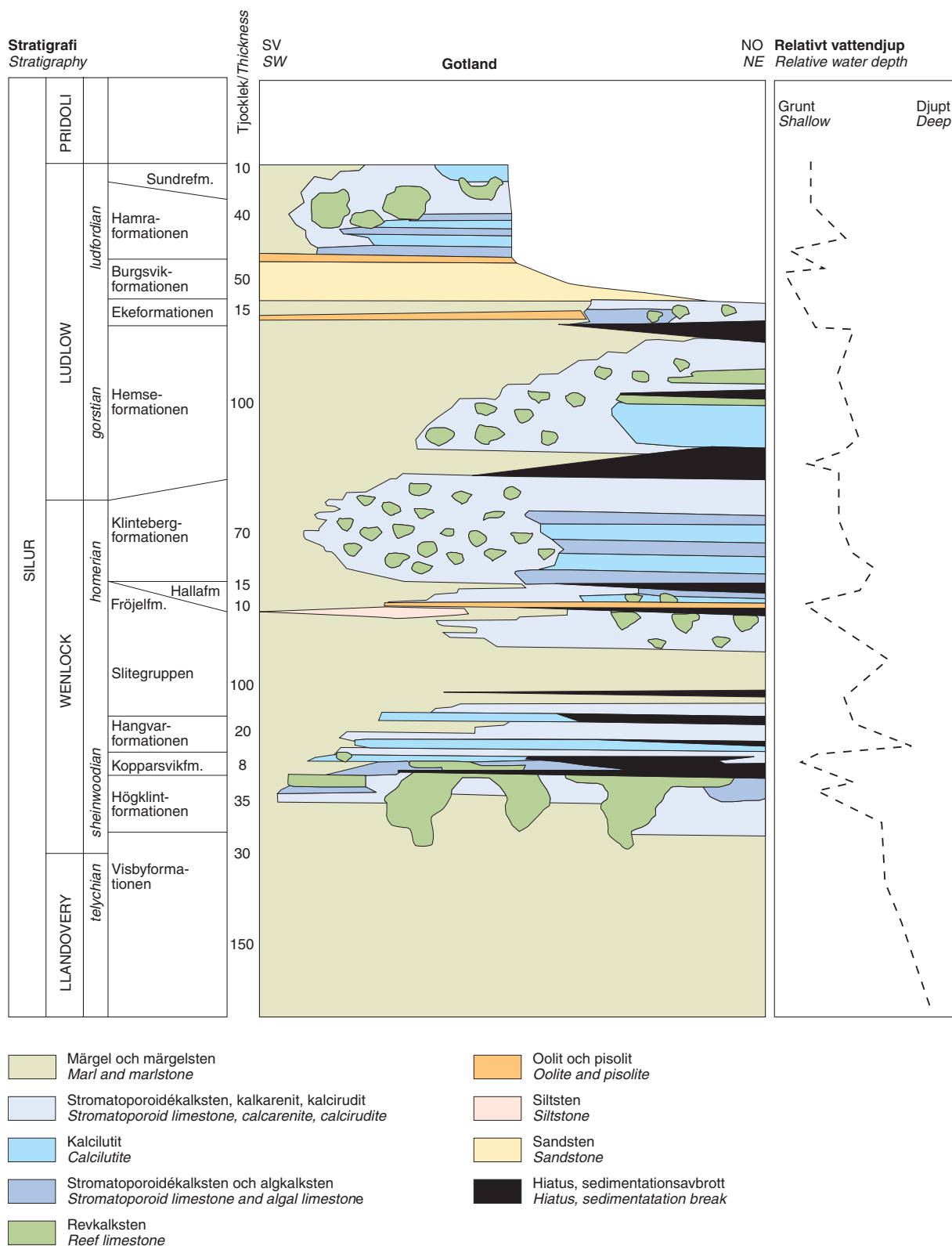


Fig. 21. Stratigrafisk indelning av Gotlands siluriska berggrund och huvsakliga litologier från nordost till sydväst samt generell havsnivåkurva. Baserad på information från Shaikh m.fl. (1990), Samtleben m.fl. (1996) och Baarli m.fl. (2003).

Stratigraphic scheme of the Silurian rocks on Gotland and the main lithofacies from the north-east to the south-west. Based on information from Shaikh et al. (1990), Samtleben et al. (1996) and Baarli et al. (2003).

Bergartsbeskrivning

Nedan följer en beskrivning av de olika bergarter som redovisas på kartan. Gränserna för bergartsområdena sammanfaller ofta inte med gränserna för de stratigrafiska enheterna eftersom kartan enbart baseras på litologiska skillnader (jfr fig. 1).

Förutom geofysiska data, borrhålsinformation, publikationer och äldre karteringsinformation baseras kartan på drygt 1 300 nya hällobservationer. En överrepresentation av observationer finns inom hårdare kalkstensområden där blottningsgraden är högre jämfört med i mörk- och mörkstenområdena.

Inom respektive område på kartan redovisas dominerande bergartstyp. Eftersom berggrunden på Gotland, speciellt inom kalkstensdominerade områden, uppvisar en stor lateral och vertikal variation i uppbyggnad kan det lokalt inom vissa områden förekomma fler bergartstyper än de dominerande som beskrivs på kartan. Kartskalan (1:200 000) medför även begränsningar i storleken på de ytor som kan åskådliggöras. Generellt visas inte bergartsområden som är mindre än 0,2 km² på kartan.

KLASSIFIKATION

Klassifikation av karbonatbergarter kan göras på flera olika sätt. Man skiljer på deskriptiva och genetiska klassificeringar. De senare syftar till att ge information om de förhållanden som rådde när sedimenten avsattes (t.ex. vattenenergi) medan den första fokuserar på texturella och strukturella karaktärer. Internationellt används idag två huvudsakliga klassificeringar, Folk (1959) och Dunham (1962), vilka båda använder en blandning av både deskriptiva och genetiska termer.

Folk (1959) presenterade en terminologi som delar in kalkstenarna med avseende på deras sorteringsgrad, dvs. innehåll av lerigt matrix (mikrit), andelen och rundningsgraden på ingående fossilfragment samt innehållet av kalcitcement (sparit). Folks klassificering baseras på termerna mikrit och sparit med tilläggstermer för typ och mängd av ingående bioklastar och sorteringsgrad. Denna klassificering bygger på att sedimentationen av karbonater till stora delar kan jämföras med den för siliciklastiska sedimentbergarter, t.ex. lersten och sandsten. Dunhams klassifikation (1962) är likartad men med den skillnaden att den fokuserar på hur ingående partiklar håller ihop bergarten, dvs. bergartens textur. Dunhams klassificering är något mer genetisk och syftar också till att ge mer information om vilken vattenenergi som rådde vid sedimentationen. Dunhams klassifikation tar upp begrepp som *mudstone*,

wackestone, *packstone*, *grainstone* och *boundstone* som inte är lätta att använda i det svenska språket. Embry & Klovan (1971) förfinade indelningen av *boundstone* och införde begrepp som alloktona (*bafflestone*, *bindstone* och *framestone*) och autoktona revkalkstenar (*floatstone* och *rudstone*).

Förutom Folks och Dunhams klassificeringar används fortfarande en äldre, rent deskriptiv klassificering som till stora delar bygger på storleken på de partiklar som bygger upp bergarten: kalcilutit (<0,063 mm), kalkarenit (0,063–2 mm) och kalcirudit (>2 mm). Denna klassificering utgår från antagandet att karbonater till stora delar kan föras till gruppen siliciklastiska sedimentbergarter där bl.a. sandsten, siltsten och lersten ingår.

Samtliga klassificeringar har sina för- och nackdelar och när det gäller Gotlands berggrund skulle det ur ett rent geovetenskapligt hänseende vara bäst att använda sig av Dunhams klassificeringssystem. Det är dock inte alltid lätt att enbart utifrån observationer i fält avgöra hur bergarten ska klassas i Dunhams system. För detta krävs ofta kompletterande mikroskopering av tunnslip på respektive bergart. Dessutom är nomenklaturen inte anpassad för det svenska språket. SGU har därför använt en rent deskriptiv klassificering och terminologi som är bäst lämpad för att särskilja bergarterna i fält. I tabell 3 redovisas de bedömningsgrunder och den terminologi som SGU använt.

Bergarterna återspeglar i stort fyra dominerande avsättningsmiljöer som förekom under silurisk tid i centrala Östersjön (fig. 22). Mörk, mörksten och kalcilutit bildades mestadels i laguner och på den djupare shelfen medan kalkareniter och kalciruditer tillsammans med revkalksten bildades i och kring reven samt utanför dessa.

MÄRTEL OCH MÄRTELSTEN

Berggrund som består av mörk, mörksten och växelagring med lagrade kalkstenar (kalkarenit, kalcilutit) utgör en stor del av Gotlands siluriska berggrund. Utmed den nordvästra kusten och i kustklinten påträffas några meter med mörk och mörksten tillhörande Visbyformationen (fig. 23 a). Lagren uppvisar en tydlig växelagring med mjuk till lös mörk och hård, lerig finkristallin kalksten (mörksten–kalcilutit). Lagertjockleken på de hårdare kalkstenslagren varierar från någon till ca 10 cm. Mörkellagren är sällan mer än några centimeter tjocka. Ofta uppvisar kalkstenslagren oregelbundna, undulerande och knöliga lagringsplan. Visbyformationens mörk överlagras av mer homogena kalkstenslager bestående

Tabell 3. Klassificeringsgrunder för karbonatbergarterna som presenteras på kartan och jämförelse med terminologi som används av Folk (1959) och Dunham (1962).

Description of rock types used on the map and their corresponding definitions by Folk (1959) and Dunham (1962).

Bergartstyp på kartan <i>Rock type on the map</i>	Karaktär <i>Character</i>	Folk (1959)	Dunham (1962)
Märgel <i>Marl</i>	Lös till mjuk lera som består till ungefär lika delar av karbonat och lermineral, oftast gråblå till mörkgrå, innehåller frekvent mindre fossilfragment. Växellagar ofta med märgelsten, kalcilutit och kalkarenit.	Biomicroite–sparse biomicroite	Mudstone, wackestone,
Märgelsten <i>Marlstone</i>	Lerig kalksten som innehåller ungefär lika delar karbonat och lermineral. Innehåller ofta tunnskaliga fossilfragment. Grå till mörkgrå. Hård märgel.	–	–
Kalcilutit <i>Calclutite</i>	Finkornig eller finkristallin kalksten ofta med högt lerinnehåll och stor andel matrix. Ingående partiklar <0,063 mm. Matt yta. Hård. Andelen karbonat större än andelen lermineral. Mestadels grå.	Sparse biomicroite–packed biomicroite	Wackestone–packstone
Kalkarenit <i>Calcarenite</i>	Medelkornig eller medelkristallin kalksten, liten andel matrix, ofta tydligt kristalliserad textur, glittrig, grynig yta. Ingående partiklar 0,063–2 mm. Tydligt lagrad. Vanligt med korsskiktning och böljeslagsmärken.	Biosparite	Grainstone
Kalcirudit <i>Calcirudite</i>	Grovkornig eller grovkristallin kalksten, försumbar eller ingen matrix, rikligt med grova fossilfragment, ofta krinoidéer. Ingående partiklar >2 mm. Lagrad.	–	–
Krinoidékalksten <i>Crinoid limestone</i>	Kalkarenit eller kalcirudit som domineras av karbonatfragment från krinoidéer. Tydligt lagrad. Ofta rödaktig.	–	–
Algkalksten <i>Algal limestone</i>	Kalkarenit eller kalcilutit som till merparten är uppbyggd av kalkalger som ofta består av 1–2 cm koncentriskt uppbyggda knölar.	–	Bafflestone
Oolit <i>Oolite</i>	Kalksten som till merparten är uppbyggd av runda koncentriskt uppbyggda <2 mm stora partiklar av utfälld karbonat. Vanligt med korsskiktning. ”Romsten”	Rounded biosparit	Grainstone
Pisolit <i>Pilolit</i>	Grovkornig oolit. Ingående koncentriskt uppbyggda partiklar >2 mm. ”Ärtsten”.	–	Grainstone
Revkalksten <i>Reef limestone</i>	Oregelbundet lagrad. Komplex struktur. Hög andel stora fossilfragment, tabulater, koraller, krinoidéer, stromatoporoidéer. Inslag med lös ofta ljusgrön märgel mellan stora fossil. Dåligt sorterad. Hålrum.	–	Boundstone, bafflestone, framestone, rudstone, floatstone
Stromatoporoidékalksten <i>Stromatoporoid limestone</i>	Från oregelbundet lagrad till tydligt lagrad. Stort till helt dominerande inslag av stromatoporoidéer som ofta ger en knölig hälltyta. Stromatoporoidéerna kan vara transporterande eller in situ och ha såväl laminärt som domliknande utseende och storlekar från några få cm till flera dm. Ofta tillsammans med kalkarenit.		Boundstone, bafflestone, framestone, rudstone, floatstone grainstone

av oregelbundet lagrade revartade kalkstenar och lagrade kalkareniter tillhörande Höglintformationen.

Den typiska växellagringen inom märgel och märgelstensområdena kan vara orsakad av regelbundna små förändringar av avsättningsförhållanden som kan vara knutna till vattendjup, inflöde av terrigent material eller en cyklicitet som kan ha ett klimatologiskt ursprung. Växellagringen har även tolkats som en tidig diagenetisk omvandling av ett ursprungligt, mer homogent lerigt karbonatslam (Munnecke & Samtleben 1996). Den regelbundna växellagringen skulle uppkomma genom att aragonit i karbonatslammet lösts upp relativt snart efter det att sedimentet avsatts. Ytterligare något längre ner i de avlagrade sedimenten skedde en omkristallisering av karbonatet, nu i form av kalcit. Ofta skedde detta i anslutning till ansamling av skalfragment.

Ett större sammanhängande märgel- och märgel-

stensområde förekommer i ett uppmot 15 km brett stråk som sträcker sig i nordöstlig riktning från Klintehamn–Tofta (56C, 66A 3–5 h–i) till Slite (66D 0 f). Nordost om Slite blir området mer uppbrutet eftersom inslaget av homogenare kalksten är mer påtagligt. Märgelområdet benämns stratigrafiskt som Slitemärgel och förekommer mestadels i lågt liggande terräng. Växellagringen är påtaglig och i Cementas kalkbrott i Slite (66D 0 f) syns detta tydligt.

På södra Gotland förekommer också ett större sammanhängande område med märgel och märgelsten, s.k. Hemsemärgel (fig. 23 b). Detta område är precis som föregående störst i sydväst, vilket är typiskt för den gotländska berggrunden, dvs. att det inom varje enhet blir större inslag av märgel och finkorniga och kristallina karbonater i sydväst medan grövre varianter dominerar i nordost.

Förutom dessa större sammanhängande områden finns det mindre områden med mörgel och mörgelsten inom kalkstensdominerade områden. Dessa mörgelområden är ofta bildade i laguner bakom reven och har ett mycket lokalt uppträdande. Den laterala uthållig-

heten och tjockleken på dessa varierar kraftigt. Exempelvis inom Slitegruppens revkalkstenar på norra Gotland är det vanligt med lokala förekomster av denna typ av mörgel och mörgelsten.

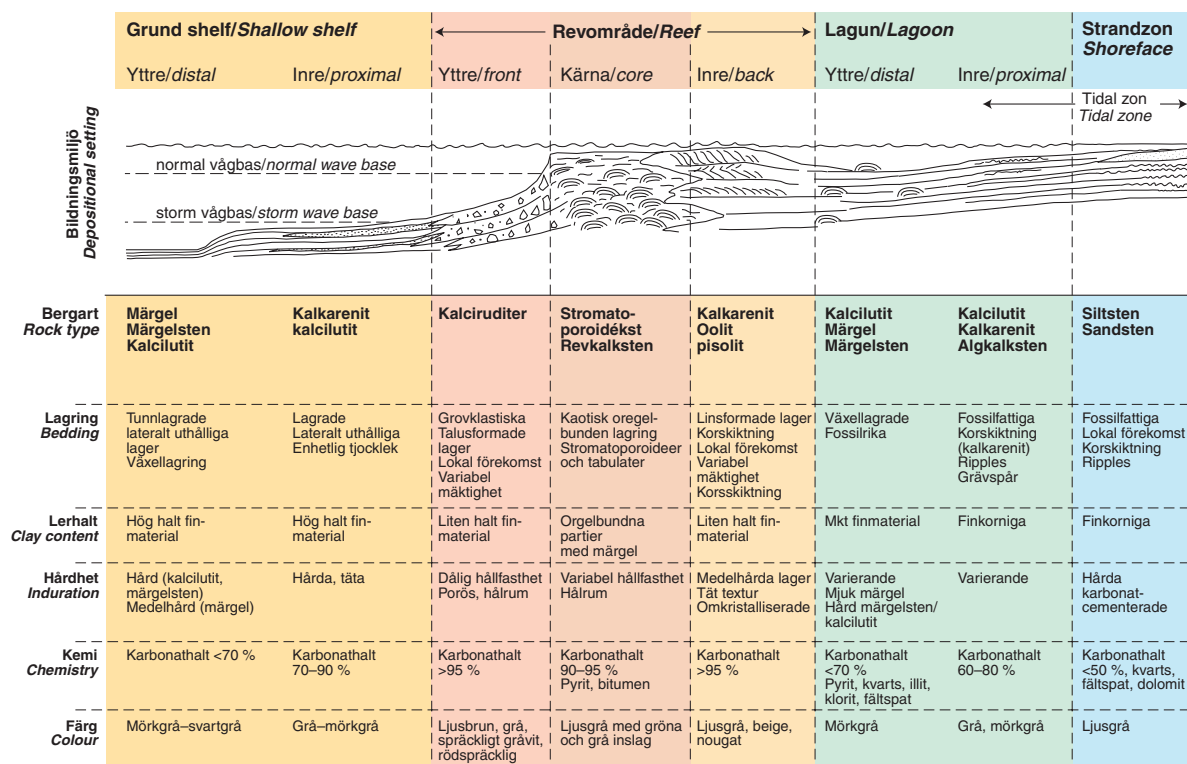


Fig. 22. Generell modell av bildningsförhållandena och olika bergarters karaktär för den Gotländska siluriska berggrunden.
Idealised model of the depositional environment and rock type characteristics for the Silurian of Gotland.



Fig. 23. A. Växellagrad mörgel och mörgelsten tillhörande Visbyformationen i vägkärning vid Snäck (6396450/1650620). Foto: M. Erlström.
B. Växellagrad mörgel och mörgelsten i Hemse kanal (6348904/1646060) Foto: K. Rasmussen.
A. Alternating sequence of marl and marlstone of the Visby Formation at Snäck. B. Alternating marl and marlstone of the Hemse marl in the Hemse Canal.

STROMATOPOROIDÉKALKSTEN, KALCIRUDIT, KALKARENIT, KALCILUTIT

Bergarterna stromatoporoidékalksten, kalcirudit, kalkarenit och kalcilutit är mycket vanliga och karaktäriseras av mer eller mindre tydligt lagrade kalkstenar. Stora delar av höjdområdena på Gotland består av dessa typer. Tre huvudområden kan urskiljas. Ett nordligt område, nordost om en linje från Tofta (66A 5 h) till Fårösund (66D 3–5 i–j) och Fårö (66E 4–6 i–j, a–b), ett område på mellersta Gotland från Klintehamn (56C 2–3 i) till Ljugarn–Östergarn–Gothem (56D, 66B 1–8 e–f) och ett område på södra Gotland.

Stromatoporoidékalksten dominerar en stor del av berggrunden i det norra och mellersta området. Denna bergartstyp karaktäriseras av det stora inslaget av stromatoporoidéer. Dessa kan ha mycket varierande utseende från laminära till domliknande koncentriskt uppbyggda fossila svampdjur (fig. 24 a & b). Storleken varierar från några centimeter till flera decimeter stora aggregat. Stromatoporoidéerna är oftast inlagrade i en

kalkarenitisk och kalcilutitisk mellanmassa. Lagren är knöliga och lagringsplanen oregelbundna (fig. 25). Måktigheten på individuella lager är i allmänhet 5–20 cm. Stromatoporoidéerna har en mycket finkristallin tät textur och en beige till nougatbrun färg. Typiskt är också den finlaminära texturen som tydligt framträder på vittrade hålltytor.

Kalcirudit är en mycket grovkornig eller grovkristallin och tjockbankad kalksten som är uppbyggd av stora fossilfragment (>2 mm). Eftersom den inte är lika väl cementserad av kalcit som kalcilutit och kalkarenit har den sämre hållfasthet och är porösare. Kalciruditen saknar i stort sett finkornigt material eftersom den avsatts under förhållanden med högre vattenenergi. Det är även vanligt att de stora fragmenten är porösa i ytan och mikritiserade på grund av påväxt av alger kort efter att fragmenten avsatts. Den porösa ytzonen syns som en ljus krusta runt fragmenten.

I ett område på norra Gotland från Fårös södra delar (66E 3–4 i–j) ner mot Hellvi (66D 1–2 g–h) påträffas på fler platser en mycket grovklastisk kalcirudit (fig. 26 a). Kalcirudit påträffas lokalt kring större rev där den består av korttransporterat material som lossnat och rasat ner på revsidorna. På södra Gotland i trakten kring Sundre (56A 2–3 i–j) förekommer kalcirudit som mer eller mindre helt består av grova krinoidéfragment, s.k. krinoidékalksten. En rödflammig variant som brutits vid Hallbjäns (56A 2–3 i) som ornament- och byggnadssten kallas för Hoburgsmarmor (fig. 26 b). Grova kalciruditer finns även på Karlsöarna (56C 0–1 f–h).

Kalkarenit är en lagrad bergart som till merparten består av karbonatkorn i sandstorlek (0,063–2 mm) och som ofta förekommer inom samma områden

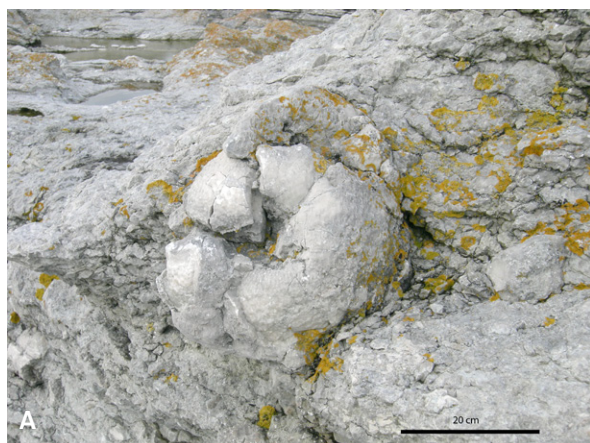


Fig. 24. Exempel på olika typer av stromatoporoidéer. **A.** Huvudstora runda former. **B.** Laminära plana former. Foto: M. Erlström.
Examples of different types of stromatoporoids. A. Large rounded forms. B. Laminar form.



Fig. 25. Exempel på typisk stromatoporoidékalksten från Hajdgårde som visar den knöliga oregelbundna lagringen (6365840/1654096). Foto: K. Rasmussen.

Typical example of a nodular and irregularly layered stromatoporoid limestone at Hajdgårde.



Fig. 26. **A.** Grovklastisk calcirudit från Ryssudden, Fårö (6418058/1696863). **B.** Grovklastisk krinoidékalksten (calcirudit), s.k. Hoburgsmarmor från Hallbjäns (6314720/1642620). Foto: M. Erlström.

A. Coarse bioclastic calcirudit, Ryssudden, Fårö. **B.** Coarse bioclastic crinoid limestone "Hoburgsmarmor", Hallbjäns.

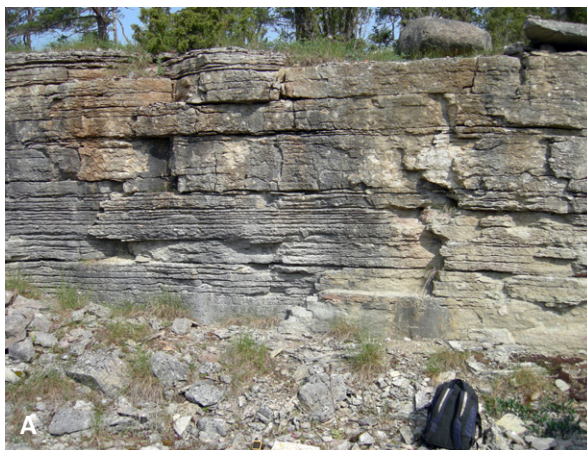


Fig. 27. **A.** Lagrad kalkarenit från nedlagt stenbrott norr om Sigsarve (6361050/1667710). **B.** Mikrofotografi som visar den texturella uppbyggnaden av en kalkarenit från Vägume (KRA060030, 6407110/1679031). Runt fossilfragment finns ett tydligt cement som består av stora kalcitkristaller (sparit), planpolariserat ljus. **C.** Exempel på korsskiktning i kalkarenitiska lager från Grogarnsberget (6370400/1682700). **D.** Exempel på stora vågmärken i kalkarenit på Grogarnsberget (6370400/1682700). Foto: M. Erlström.

A. Bedded calcarenite from the abandoned quarry at Sigsarve. **B.** Microphoto showing the textural framework of a sparitic calcarenite from Vägume, plane-polarised light. **C.** Cross bedding in calcarenite, Grogarnsberget. **D.** Megaripples in calcarenite, Grogarnsberget.

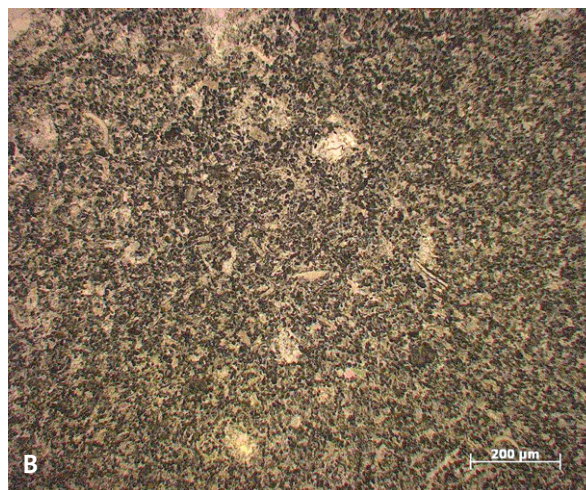


Fig. 28. **A.** Exempel på en tät finkornig calcilutit från Hamra (6320510/1652769). Foto: K. Rasmussen. **B.** Mikrofotografi som visar ett exempel på den finkorniga täta texturen hos calcilutit, Storugns (S2, 6415790/1680220), planpolariserat ljus. Foto: M. Erlström.

A. Dense finely crystalline calcilute, Hamra. **B.** Microphoto showing the characteristic fine homogeneous texture of a calcilutite, Storugns, plane-polarised light.

som det finns stromatoporoidékalksten. Bergarten är relativt väl sorterad och tydligt lagrad i horisontellt uthålliga lager (fig. 27 a). Lagringsplanen är jämnare och texturen mer homogen jämfört med calciruditen. Ofta har kalkareniten en grynig och glittrig brottyta och består av karbonatskal som brutits sönder och rundats av vågor och strömmar. Bergarten kan närmast jämföras med en kustnära marin sandsten. Många av kalkareniterna på Gotland domineras av fragment från echinodermer. Kalkareniten innehåller frekvent även en stor andel sparitiskt cement som kristalliserat i ursprungliga porutrymmen eller som sekundär syntaxialt cement runt echinodermfragmenten (fig. 27 b). Det är inte ovanligt att man i lager med kalkarenit finner korsskiktning och böljeslagsmärken (fig. 27 c & d) som visar avsättningsförhållanden starkt påverkade av vågor och strömmar.

Calcilutit är en finkornig, tät, hård och tydligt lagrad kalksten som består av karbonatpartiklar i siltstorlek ($<0,063$ mm) och med en hög andel finmaterial i lerfraktionen, mestadels karbonatslam (mikrit) (fig. 28 a & b). Bergarten innehåller ofta även en hög andel lermineral (s.k. lerig calcilutit). Texturen är matt och färgen är ljus grå till mörkgrå. Beige och ljusbruna varianter är också vanliga. Enskilda lager är oftast <10 cm tjocka. Calcilutit förekommer ofta tillsammans med märgelsten och märgel. Större förekomster av calcilutit finns i ett smalt stråk från Åminne (66B 8f) till Väte (56C 4a) och i ett område på södra Gotland sydost om Fide (56B 5a).

OOSPARIT, OOMIKRIT, OOLIT, PISOLIT

Vissa typer av kalkarenit består till största delen av välrundade korn som i tunnslip uppvisar att de är koncentriskt uppbyggda av pålagrad karbonat (fig. 29 a). Dessa benämns oosparit om de är omgärdade eller "svävar" i ett sekundärt sparitiskt cement. När kornen omges av ett karbonatslam kallas de för oomikrit. En bergart som helt domineras av välrundade korn som sitter tätt ihop kallas oolit. Den senare typen kallas i folkmun ofta för "romsten". Oosparit och oomikrit förekommer relativt frekvent inom de områden där kalkarenit utgör huvudbergart. Större förekomster av oolit finns kring Bara (66B 7 d, fig. 29 b) inom Hallaformationen (Calner & Säll 1999), i ett stråk västerut från Närsholmen (56B 9 e) tillhörande Ekeformationen och i ett område från Fide (56B 5–6 a) söderut mot Kättelvik (56A 2–3 i) tillhörande Burgsvikformationen.

Pisolit är en grovkornig oolit där de koncentriskt uppbyggda kornen är större än 2 mm. Pisoliter förekommer ofta i anslutning till ooliter och har ett likartat bildningssätt. Bergarten är ovanlig på Gotland. Ett större område med pisolit finns i området västerut från Närsholmen (56B 9 e) (fig. 29 c). I tunnslip syns tydligt de koncentriskt uppbyggda kornen (fig. 29 d). Pisolit benämns ofta "ärtsten".

ALGKALKSTEN

Algkalksten är en bergart som är likartad med stromatoporoidékalksten och som mestadels påträffas i anslutning till dess utbredning. På kartan har inga

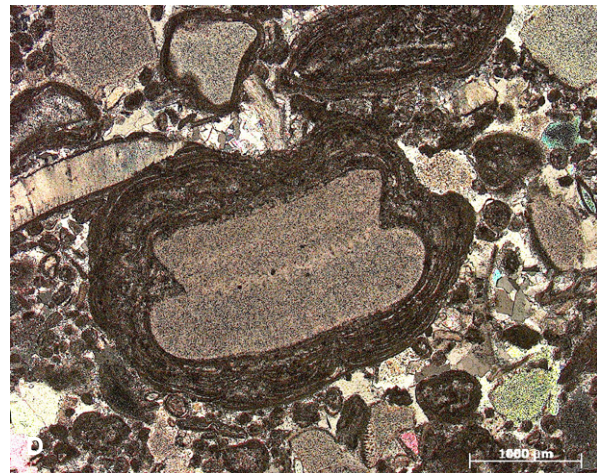


Fig. 29. **A.** Mikrofotografi som visar den texturella uppbyggnaden av en oolit från Bara (UKSo60051, 6387806/1667585), planpolariserat ljus. **B.** Oolitiförekomsten i Bara (6387806/1667585). **C.** Pisolitförekomsten vid Burgen (6348430/1668670). Foto: M. Erlström. **D.** Mikrofotografi av pisolit från Hoburgen (UKSo60049, 6333312/1651834), planpolariserat ljus. Foto: M. Erlström.

A. Microphoto showing the grains with concentric growth rings of calcite in an oolite from Bara, plane-polarised light. **B.** Outcrops of the Bara oolite. **C.** Pisolite outcrops at Burgen. **D.** Microphoto of a pisolite from Burgen, plane-polarised light.

sammanhängande områden med algkalksten lagts in eftersom bergarten bedömts ha en underordnad förekomst i jämförelse med stromatoporoidkalkstenarna. Dessutom har de ofta en likartad uppbyggnad som gör att de är svåra att särskilja i fält.

Algkalksten har ett knöligt utseende med centimeterstora bollar (s.k. onkoider) inlagrade i en kalkarenitisk eller calcilutitisk mellanmassa. Förekomsten av algbollar är det mest karaktäristiska kännetecknet. Hadding (1959) ger en bra beskrivning av dessa kalkstenar. Algbollarna bildas ofta som koncentrisk påväxt av kalkalger kring ett skalfragment. Typiska algkalkstenar finns inom i Kopparsvikformationen och Högklintformationen kring Visby (66A 7 i) och i Hallaformationen vid Gothemshammar (66B 8 f). Algkalksten indikerar grunda bildningsförhållanden.

REVKALKSTEN OCH REVARTAD KALKSTEN

På Gotland påträffas rikligt med revstrukturer inom de tre större kalkstensdominerade områdena. Flera hundra revkroppar har identifierats (Mantén 1971, Riding 1981). Reven bildades i huvudsak av stromatoporoider, koraller, kalkalger och bryozoaer under perioder med varmare klimat. Tio klimat- och sedimentationscykler har identifierats i den siluriska berggrunden varav åtta av dessa innebar gynnsamma förutsättningar för bildning av rev (Jeppsson 1998, Brunton m.fl. 1998).

Revkalksten är typiskt en oregelbundet, kaotiskt lagrad bergart. Revet består i idealfallet av en kärna med in situ-placerade revbyggande organismer. Kärnan är omgiven av grovklastiska talussediment av lösrivet ma-

terial som kan vara stora block av revkalksten inlagrat i grov fragmentkalksten (kalcirudit). I revkroppen förekommer även oregelbundna partier med mörkel som bildats genom att finmaterial avlagrats i ursprungliga hålrum och fickor inom revkroppen. Öppna hålrum är ofta beklädda med stora kalcitkristaller och innehåller frekvent även rester av bitumen. Revkalkstenarna innehåller även mindre mineraliseringar av pyrit.

Reven kan ha en mycket varierande morfologi och storlek beroende på hur förhållandena var när de bildades. Flera olika försök till klassificering av de gotländska reven har gjorts (se Mantén 1971, Nield 1982, Riding 1981, Kershaw 1997, Riding & Watts 1991, Sandström 2000).

Rev som bildas på lite djupare vatten är vanligtvis små, max. 10 m i diameter och 2–3 m höga, strukturer som allmänt benämns Axelsrorev. Dessa påträffas bl.a. i mörkeldominerade lagerföljder tillhörande Visbyformationen, t.ex. vid Lickershamn (66C 2 c, fig. 30 a).

Hoburgsreven är en annan vanligt förekommande och omnämnd revtyp som består av mycket större revkomplex. Storleken kan variera från 5 till 30 m i höjd och den laterala utbredningen kan vara uppemot 2 km². Vattendjupet kring reven har tolkats vara i storleksordningen 20–50 m (Watts & Riding 2000). Hoburgstypen domineras av oregelbundet lagrade stromatoporoider och mycket talusmaterial (fig. 30b) utan någon tydlig revkärna vilket gör klassificeringen som revkalksten osäker. Vid kartläggningsarbetet har därför termen revartad kalksten använts för denna typ av svårklassificerad kalksten. Den här typen av rev är den vanligaste på Gotland.

En tredje revform i den siluriska berggrunden på Gotland är av s.k. Holmhällartyp. Denna typ byggs upp av laminära stromatoporoider och tolkas som bildad i extremt grunt vatten (Kano 1990).

Det är oftast relativt enkelt att identifiera rev i kustskärningar och stenbrott där den oregelbundna lagringen och kaotiska strukturen tydligt framträder. Däremot kan det vara svårt att kartlägga förekomsten av rev i andra områden. En oregelbunden, bruten topografi och knöliga hållar är en indikation på förekomst av rev i berggrunden.

På norra Gotland förekommer rev i ett stråk från Höglint (66A 7 i) till Färö (66E 4–6 i–j, a–b). Speciellt på norra Färö (66E 6 j) finns rikligt med stromatoporoider. Dessa tillhör stratigrafiskt Höglintformationen, Toftaformationen och Slitegruppen. På mellersta Gotland påträffas revkalksten i ett område mellan Klinte, Hemse och Östergarn (56C 2 j, 56B 2 a–b, 56D 3–4 g–h) som stratigrafiskt förs till Klintebergformationen och Hemsegruppen. Ett tredje område med revkalksten finns på Sudret (56A 2–4 j, a–b) på södra



Fig. 30. A. Exempel på små s.k. Axelsrorev inlagrade i mörkel/mörkelsten tillhörande Visbyformationen vid Lickershamn (6414860/1660400). B. Exempel på stora revkomplex av s.k. Hoburgstyp. Hoburgen (6312900/1641400). Foto: M. Erlström.

A. Small reef bodies of the Axelsro type in a marl/marlstone sequence of the Visby Formation at Lickershamn. B. Large reef complex of the Hoburg type at Hoburgen.

Gotland. Reven tillhör här stratigrafiskt Hamra- och Sundreformationen.

Revstrukturer har även identifierats i marina seismiska mätningar i kustområdena runt Gotland (Bjerkéus & Eriksson 2001, Flodén m.fl. 2001).

SANDSTEN OCH SILTSTEN

Siliciklastiska sedimentbergarter som sand- och siltsten förkommer i mycket begränsad omfattning på Gotland. Under två perioder, yngre wenlock och yngre ludlow, inträffade tillfälligt förändringar av sedimentationsförhållandena och lager med siltsten och sandsten bildades.

Nordväst om Fröjel förekommer ett smalt stråk med karbonatrik siltsten (Gannarveledet), tillhörande Fröjelfformationen (Calner 1999, Calner & Jeppsson 2003, Jeppsson & Calner 2003, fig. 31a). Tidigare be-

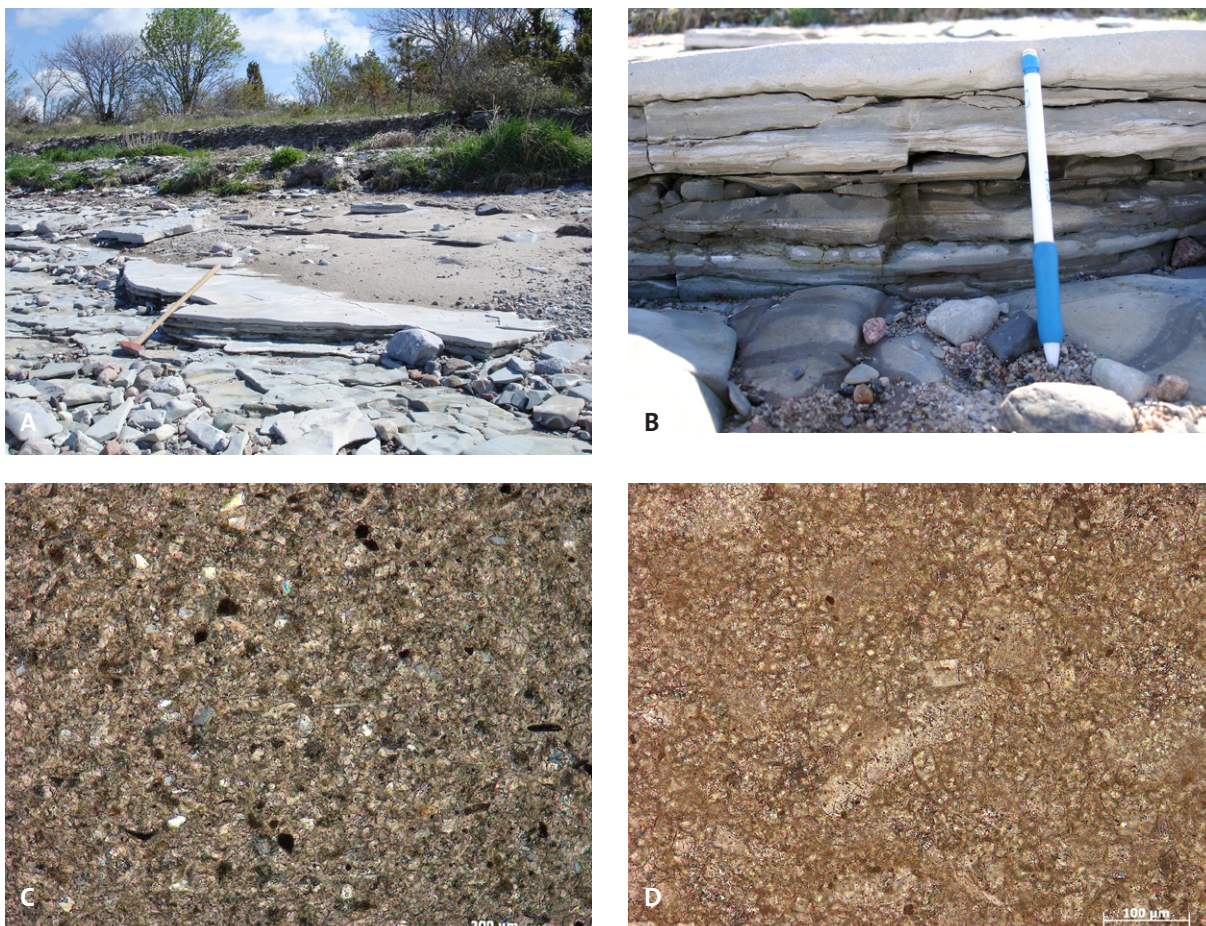


Fig. 31. **A.** Karbonatrik siltsten, s.k. Slitesiltsten, tillhörande Fröjelfformationen vid Gannarve (6360710/1642360). **B.** Detalj som visar den tunnlagerade bergarten vid Gannarve (6360710/1642360). Foto: K. Rasmussen. **C.** Mikrofotografi som visar den finkorniga texturen som i det här fallet domineras av karbonatslam med en minde mängd detritisk kvarts (KRA070170, 6361141/1642569), korsade polarisatorer. **D.** Mikrofotografi som visar den rikliga förekomsten av rombiska kristaller av dolomit i vissa lager (KRA070170, 6361141/1642569), planpolariserat ljus. Foto: M. Erlström.

A. Calcareous siltstone, "Slite siltstone", of the Fröjel Formation at Gannarve. **B.** Detail of the thin-bedded lithology. **C.** Microphoto showing the fine texture dominated by calcareous mud and fine detrital quartz, crossed polars. **D.** Microphoto showing the frequent high content of fine rhombic crystals of dolomite, plane-polarised light.

nämndes lagren Slitesiltsten (Sivhed 1976). Bergarten är mörkgrå till mörkbrun med blågrå inslag, tunn-siktad med vågmärken och korsskiktning (fig. 31b). I vissa lager finns även rikligt med horisontella gräv-spår. Orientering av ripples och fossil indikerar en dominerande strömningsriktning från väst. Förutom lermineral, karbonat och detritisk kvarts innehåller bergarten dolomit (fig. 31 c & d). Karbonathalten är ofta mycket hög och bergarten klassas då som en kalcilutit med hög kvartshalt. De siliciklastiska lagren är sannolikt avsatta i samband med en sänkning av havsytan (regression) som resulterat i en ökning av mängden siliciklastiskt material.

Burgsviksandstenen påträffas i ett oregelbundet område från Grötlingbo (56B 7a) till Hoburgen (56A 2i). Den ljusgrå finkorniga till mycket finkorniga och homogena sandstenen har brutits för olika ändamål

(se avsnittet om industrimineral och täktverksamhet, fig. 32a & b). Sandstenen innehåller förutom kvarts och karbonat små mängder med tungmineral. Undersökningar av de senare indikerar att sedimentet härrör från områden västerut som påverkats av de kaledoniska och svekonorvegiska orogeneserna (Karlsson 2005). Long (1993) tolkade ett mer östligt ursprung, t.ex. östra Sverige. Sandstenen uppvisar oregelbundna flammiga strukturer (fig. 32 c) som anses vara avvattningsstrukturer som bildats i samband med kompaktion av ett vattenmättat poröst sediment. Korsskiktning, vågmärken och "hummocky" korsskiktning indikerar en snabb avsättning i ett delta där stormar spelade en betydelsefull roll (Eriksson & Calner 2007). I vissa nivåer påträffas en mörk skiktning som orsakas av utfällningar av pyrit och järnoxider (fig. 32 d). På samma sätt som Slitesiltstenen anses Burgsviksandstenen ha sitt ursprung i

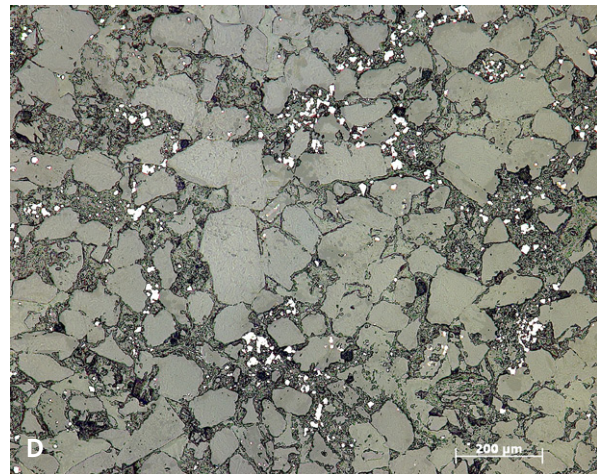
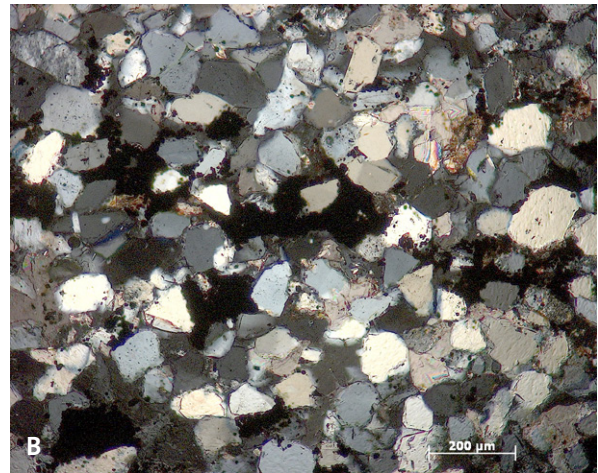


Fig. 32. **A.** Sandstensbrottet vid Uddvide (6333300/1651930). **B.** Mikrofotografi som visar den texturella uppbyggnaden som domineras av finkornig kvarts omgivet av ett kalcitcement (UKSo60049, 6333312/1651834), korsade polarisatorer. **C.** Exempel på flammig heterogen struktur (avvattningsstrukturer) i sandstenen vid Uddvide (6333300/1651930). **D.** Mikrofotografi som visar mineraliseringar av pyrit i sandsten från Kättelvik (UKSo60046a, 6313055/1641502) reflekterat ljus. Foto: M. Erlström.

A. Sandstone quarry at Uddvide. **B.** Microphoto of the arenitic and calcite cemented sandstone, crossed polars. **C.** Mottled texture of sandstone beds at Uddvide likely caused by compaction of a water saturated sediment. **D.** Microphoto showing mineralizations of pyrite in the Burgsvik Sandstone at Kättelvik, reflected light.



Fig. 33. Smala sandstensgångar i kalkstenslager tillhörande Ekeformationen vid Närsholmen (6347300/1674100). Foto: M. Erlström.
Sandstone dykes in limestone beds of the Eke Formation at Närsholmen.

en regression. Sandstenen är 30–40 m tjock i Burgsvik (56B 5j) och tunnar successivt ut i nordostlig riktning (Hede 1919, Eriksson & Calner 2007).

Utmed kusten från Närsholmen (56B 9e) till Ham-maren (56B 8e) på sydöstra Gotland förekommer smala, oregelbundna sandstensgångar med Burgsviksandsten i kalkstenslager tillhörande Ekeformationen (fig. 33). Gångarna har beskrivits av Cherns (1982) och Larsson (1979). Sannolikt har gångarna bildats som fyllnad i öppna karstsprickor i underliggande Ekelager.

Bergarternas kemiska uppbyggnad

Den gotländska berggrunden är huvudsakligen uppbyggd av kalkstenar, mörkelstenar, mörkel och karbonatcementerade sandstenar. Bergarternas kemiska sammansättning har varit och är föremål för stort intresse från industrins sida. Detta beror främst på den omfattande brytningen av kalksten och mörkelsten för framställning av olika produkter som t.ex. cement och bränd kalksten. Höga krav ställs av denna anledning på bergmaterialets kemiska sammansättning för att slutprodukten ska uppfylla de ställda kvalitetskraven.

I tabellerna 4 och 5 ges översiktliga sammanställningar av halterna av de huvudsakliga kemiska komponenterna i olika bergarter på Gotland. Data har till merparten hämtats från en omfattande utredning rörande karbonatbergarter i Sverige av Shaikh m.fl. (1990).

Berggrundens ensartade mineralogiska uppbyggnad på Gotland resulterar i en relativt okomplicerad kemisk sammansättning. Det höga innehållet av kalcit och aragonit (CaCO_3) i kalkstenarna ger höga halter av kalcium, omräknat till kalciumoxid (CaO). Kalciruditer och kalkareniter uppvisar högst CaO -halt (52–55 %). Även revkalkstenar och stromatoporoidkalkstenar uppvisar mycket höga CaO -halter, men inslag av mörkel i dessa lager resulterar i lägre CaO -halt och högre halter av bl.a. SiO_2 , K_2O , Na_2O och Al_2O_3 . I mörkel och mörkelsten är halten CaO i storleksordningen 20–45 %.

Förutom kalcit förekommer dolomit, $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$. Speciellt i mörkelsten, kalcilutit och i den s.k. Slite-siltstenen (Fröjelformationen) finns ett påtagligt inslag

Tabell 4. Översiktlig sammanställning av kemiska analyser främst baserad på analyser av mörkel och kalksten på norra Gotland. Analysresultat av bulkprov och redovisning i vikt-%. Data från Shaikh m.fl. (1990).

Average chemical composition of different limestone rock types and marls. Values in weight percent.

Bergart Rock type	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	S
Revkalksten Reef limestone	44,8–55,7	0,4–0,9	0,15–1,0	0,3–3,1	0,01–0,15
Stromatoporoidkalksten Stromatoporoid limestone	52,9–54,9	0,3–1,5	0,13–1,1	0,12–1,5	0,01–0,15
Kalcirudit Calcirudite	51,4–55,0	0,15–1,0	0,15–1,0	0,25–1,6	0,015–0,2
Mörkel Marl	18,2–42,8	2,0–4,8	5,5–8,8	13,0–38	0,3–0,9
Mörkelsten och kalcilutit Marlstone and calcilutite	28,4–44,3	3,15–5,1	2,4–5,9	10,1–25,7	0,3–0,65

Tabell 5. Kemisk sammansättning (i vikt-%) i kalksten avsedd för industriella ändamål. Exempler är hämtade ur Shaikh m.fl. 1990. Analysresultaten för kalksten för bränning är hämtade från Storugnsbrottet och för cement från Filehajdar och Slite Västra brottet.

Chemical data on limestone samples from Storugns and Slite. Data from Shaikh et al. (1990). Values in weight percent.

Oxider, element Oxides, elements	Kalksten för bränning Limestone for lime production	Cement	
		Kalksten Limestone	Mörkelsten Marlstone
SiO ₂	1,6	3,0	10,5
Al ₂ O ₃	0,70	0,42	2,58
TiO ₂	0,04		
Fe ₂ O ₃	0,34	0,35	1,12
MnO	0,02		
MgO		0,61	2,17
CaO	53,1	51,47	44,3
K ₂ O	0,99	0,12	0,67
Na ₂ O	0,03		0,12
P ₂ O ₅	<0,01		
CO ₂	42,8		
Cl		0,04	0,08
F	0,02		
S	0,11	0,17	0,28

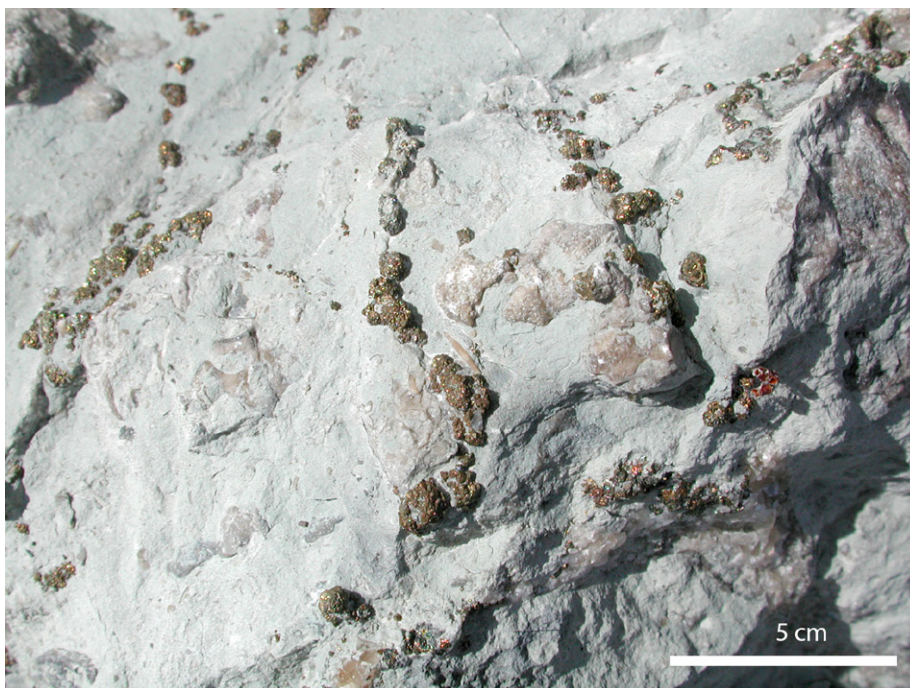


Fig. 34. Pyritmineraliseringar i mörkgrå kalksten.
inuti revkalksten. Storugns.
(6415070/1679290).
Foto: M. Erlström.

*Pyrite mineralization in
marl within reef limestone,
Storugns.*

av dolomit vilket ger förhöjda halter av MgO som kan uppgå till 3–4 % i dessa litologier. Vanligtvis är MgO-halterna <1 % i de gotländska kalkstenarna.

Kiseloxidhalten (SiO_2) är i regel <2 % i kalkstenarna. Märgel, märgelsten och även vissa kalcilutiter innehåller en betydande mängd lermineral och finkornig detritisk kvarts som gör att halten SiO_2 blir avsevärt högre. I enskilda märgellager kan kiseloxidhalten uppgå till 30–40 %. Oftast är höga halter av kiseloxid kopplade till förhöjda halter av Al_2O_3 och K_2O till följd av förekomsten av lermineral (klorit, illit) i dessa lerigare karbonatbergarter. Aluminiumoxidhalten pendlar mellan 2 och 8 % i märgel, märgelsten och kalcilutit. I kalkstenarna är halten oftast <1 %. Kaliumoxidhalten är 1–2 % i märgel och märgelsten och <0,5 % i kalkstenarna.

Förutom karbonatmineral, kvarts och lermineral förekommer ofta pyrit (FeS_2) i bergarterna (fig. 34). Företrädesvis uppträder pyrit i de lerigare litologierna, men lokalt i kalkstensområden påträffas pyrit som mineraliseringar i revkalkstenar och som sprickmineral. Svavelhalterna i märgel och märgelsten är vanligtvis <1 %. I stromatoporoidkalksten, kalkarenit och kalcirudit är svavelhalten vanligtvis lägre (<100 ppm). Järnhalterna (Fe_2O_3) pendlar mellan 1 och 3 % i märgel och märgelsten medan halterna generellt är lägre (<0,5 %) i stromatoporoidkalksten, kalkarenit och kalcirudit.

Förutom mangan och fosfor uttryckt som MnO och P_2O_5 samt strontium (Sr) innehåller karbonatberg-

arterna på Gotland mycket små mängder av spårämnen. Strontiumhalterna är förhållandevis höga, allmänt mellan 100 och 300 ppm, vilket beror på att strontium förekommer bundet i kalcit. Fosforhalterna är i samma storleksordning och hör samman med förekomsten av kalciumfosfat (apatit, fosforit). Övriga element förekommer allmänt på haltnivåer under 10 ppm. Anmärkningsvärt är att revkalksten, stromatoporoidkalksten, kalkarenit och kalcirudit lokalt innehåller uran. Normalt är halterna <1 ppm men spektromettermätningar (se geofysikavsnittet) och kemiska analyser visar på områden med klart högre uranhalter (2–8 ppm). En uranhalt på 23 ppm har uppmätts i enskilda kalkstenslager på Östergarn.

Burgsviksandstenens kemiska sammansättning domineras av kiseloxid, kalciumoxid och karbonat. Förutom dessa element innehåller bergarten en relativt hög halt av aluminium, kalium och natrium. Den kemiska sammansättningen återspeglar den mineralogiska uppbyggnaden av sandstenen. Enligt 19 analyser av Long (1993) domineras Burgsviksandstenens korn av detritisk kvarts (medelvärde 44,5 %) och bergartsfragment (medelvärde 49,4 %) samt en mindre andel fältspatkorn och tungmineral (medelvärde 6,1 %). Bergartsfragmenten domineras av kalkstenskorn. Cementet som utgör 6,5–36,8 % av bergarten består av kalcit. Slitesiltstenen har ett karbonatinnehåll som varierar mellan 25 och 80 viktprocent. Andelen dolomit är hög (Sivhed 1976).

Industrimineral och täktverksamhet

TÄKTVERKSAMHET

Den gotländska berggrunden är uppbyggd av kalksten, mägersten och i mindre utsträckning sandsten. Dessa bergarter har genom tiderna varit föremål för skiftande användningsområden och brutits i större eller mindre täkter. Storleksordningen varierar från husbehovstäckter med några få tons total täktverksamhet till mera omfattande täkter för cement och kalkstensproduktion i stor skala där brytningen årligen kan uppgå till miljontals ton.

Kalkstensförekomsterna finns huvudsakligen på norra och mellersta Gotland vilket medför att kalkstensbrytning och kalkbränning är koncentrerad till dessa områden. Kalksten bryts även som ersättningsmaterial för naturgrus och krossat urberg. Den årliga kalkstensbrytningen på Gotland uppgår till ca 6 miljoner ton (då inräknat mäger från Slite, 66D 0f, som används i cementproduktion).

Sandsten förekommer på södra Gotland där ett stort antal mindre täkter vittnar om tidigare och nuvarande verksamhet.

I Danielsson m.fl. (2007), Hedström (1910), Löfvendahl m.fl. (1994), Munthe m.fl. (1945) och Shaikh

m.fl. (1990) finns sammanställningar om de gotländska bergarternas praktiska användning. Uppgifterna i nedanstående text är hämtad från dessa arbeten.

KALKSTEN

Kalkstensbrytning på Gotland har en lång historia bakåt i tiden. Uppgifter om bearbetad kalksten sträcker sig tillbaka till 400–500-talen. Brytningen pågick tidigare i ett stort antal mindre täkter. I nutid är brytningen koncentrerad till ett fåtal stora brott. Läget för äldre täkter framgår av figur 35 a och de nuvarande täkterna redovisas i figur 35 b.

För tillverkning av kalkstensprodukter för industriell användning ställs stora krav på kalkstenens kemiska sammansättningen. Höga halter av kalciumoxid och låga svavelvärden är viktiga faktorer liksom små kvalitetsvariationer. Kalkstensprodukter har haft och har fortfarande många användningsområden. Exempel på sådana är glasindustri, cellulosaindustri, sockerindustri och metallurgisk industri. Andra användningsområden är markstabilisering, tegeltillverkning och miljöändamål som t.ex. rökgasrening.

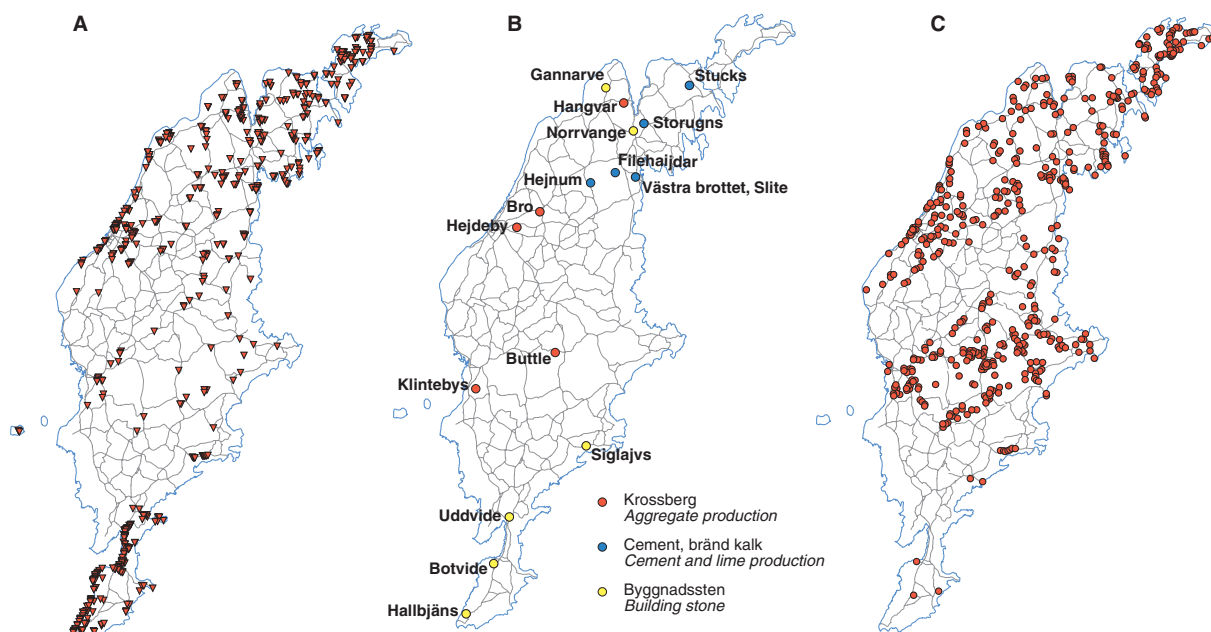


Fig. 35. A. Översiktsskarta som visar läget för gamla stentäkter på Gotland. B. Stentäkter med täktstillstånd 2006. C. Kalkugnar på Gotland fram till 1942.

A. Map showing distribution of old abandoned quarries. B. Map showing quarries with exploration permits 2006. C. Map showing old lime burners on Gotland, until 1942.



Fig. 36. **A.** Storugns stenbrott (6415070/1679290). **B.** Slite västra stenbrott (6402400/1677900). **C.** Bro stenbrott (6396200/1658500). Foto M. Erlström. **D.** Norrvange stenbrott (6405700/1675800). Foto: K. Rasmussen.

A. The Storugns quarry. **B.** The Slite western quarry. **C.** The quarry at Bro. **D.** The quarry at Norrvange.

Bränd kalk

Tekniken att bränna kalksten till kalk infördes troligtvis av kristna missionärer på 1000- till 1100-talen. Bränd kalk användes och används för murbrukstillverkning. Murbruk är känt från den äldsta delen av St. Clemenskyrkan (1000-talet) i Visby och från Visby Ringmur (1200-talet). Den äldsta kända exporten av bränd kalk och även byggnadssten är från 1460 då dessa varor skeppades från Visby till Danzig (nuvarande Gdansk i Polen). Då utfördes bränningen i kalkugnar som byggdes upp på nytt vid varje bränning (kalkmilor). Kända fasta kalkugnar fram till 1942 redovisas i figur 35 c.

Produktionen av bränd kalk på Gotland speglas delvis i exporten av bränd och släckt kalk från Gotland. Exporten är dokumenterad från 1647 och framåt och hade ett maximum under 1860-talet och några tiotal år framåt med 385 000 hl släckt kalk och 63 000 hl osläckt kalk för år 1861. Exporten steg från ca 83 000 hl släckt och 51 000 hl osläckt kalk år 1846. Den stora ökningen av kalkexporten och kalkproduktion har ett samband med att koleldade kalkugnar började användas. Den

första koleldade ugnen uppfördes på senare delen av 1850-talet.

Från 1860–1870-talens stora export sjönk produktionen till en betydligt blygsammare nivå. 1910 uppgick exporten av släckt kalk till 112 000 hl och osläckt kalk till ca 72 000 hl. Exporten upphörde nästan helt under första hälften av 1940-talet.

På 1950-talet rationaliserades kalkindustrin och verksamheten förlades till Storugns (fig. 36a, 66D 2–3 f–g). Kalkindustrin expanderade kraftigt under 1970-talet och år 2006 uppgick kalkstenbrytningen till 3,6 miljoner ton i Storugns. Byggnadshyttan Kalk AB bröt 50 ton i Hejnum (66C 0 d). På Filehajdar (66C 0 e) och Västra brottet i Slite (fig. 36b, 66D 0 f) bröts ca 3 miljoner ton kalksten och mörgel för cementproduktion.

Krossberg

På fastlandet bedrivs bergtäkter för framställning av krossberg huvudsakligen i äldre kristallina bergarter vilka i dagligt tal kallas urberg. Sådana bergarter saknas

på Gotland. Det har emellertid visat sig att kalkstenen lokalt kan ha tillräckligt goda tekniska egenskaper för att användas vid väg- och anläggningsarbeten samt som fyllnadsmaterial. Kalksten är emellertid inte lämplig att använda i betong.

Under 2006 bedrevs täktverksamhet i Hejdeby (66A 9 a) av Skanska Sverige AB och i Bro (fig. 36 c, 66A 9 b) av Gotlands Åkericentral (fig. 32 c). Under året bröts totalt ca 315 000 ton bergmaterial.

Byggnadssten

Kalkstenen användes tidigt för tillverkning av byggnadselement och i skulpturer. Redan under 400–500-talen e.Kr. bearbetades kalksten på Gotland till bildstenar. En förutsättning för kalkstensbrytning till byggnadssten är naturligtvis tillgång på kalksten av lämplig kvalitet, dvs. tjocka, homogena, sprickfria kalkstenbankar.

Att det tidigt förekom en omfattande kalkstensbrytning vittnar inte minst Visby Ringmur om, liksom den stora mängd kyrkor och andra byggnader som är uppförda i mer eller mindre bearbetad kalksten.

Kalksten för byggnadsändamål har brutits på en mängd platser på Gotland för lokal byggnadsverksamhet och för export. Två huvudtyper av kalkstenar har brutits: dels en mera massiv, tjockbankad kalksten, dels en mera tunnbankad kalksten med tydliga lagringsplan.

Kalksten bröts bl.a. i Visby (66A 8 j–k), Hejdeby (66A 9 a), Kappelshamn (66D 3 f), Norrvange (66D 3 f, fig. 36 d) och Hoburgen (56A 2 i). Den användes för tillverkning av dopfuntar, trappor, hörnkedjor, socklar, masverk och gravstenar. Kalksten exporterades sedan 1100-talet även till olika platser i Östersjöområdet (Polen, Tyskland, Danmark, Ryssland, Sverige). Som exempel på en byggnad utanför Gotland kan nämnas att delar av Glimmingehus i Skåne är uppförda av kalksten från Gotland (hus revs i Visby och stenmaterialet transporterades till Skåne i slutet av 1400-talet).

I nutid bryts kalksten för byggnadsändamål i Hallbjäns (56A 2–3 i), Gannarve (56C 2 i), Norrvange (66D 3 f) och Siglajvs (56B 9 d). Under 2006 var den totala mängden bruten kalksten 11 000 ton. Stenen används för tillverkning av bl.a. fönsterbänkar, golvsten, fasadsten och bänkskivor.

Cement

Vid cementtillverkning ska karbonatinnehållet i stenmaterialet inte vara för högt, och för att få en lämplig sammansättning blandas därför mörgelsten (används även för att öka silikathalten) och kalksten. Det är med

andra ord viktigt med tillgång på både kalksten och mörgel. Av denna anledning sker cementtillverkning i Slite där mörgel bryts som sedan blandas med kalksten från Filehajdar.

Cementtillverkning i industriell skala startade 1884 i Visby med Visby cementfabrik (66A 8 j). I början av 1919 uppfördes cementfabriker i Slite och några år senare i Valleviken. I dag finns endast cementfabriken i Slite kvar.

För cementproduktionen i Slite bryts årligen ca 1,8 miljoner ton kalksten på Filehajdar och ca 1,2 miljoner ton mörgel i Västra brottet i Slite, för att framställa ca 2 miljoner ton cement.

SANDSTEN

Burgsviksanden har använts som byggnadssten och i dopfuntar under olika perioder. Den första storhetstiden var 1000-talet till 1200-talets mitt. Sandstenen användes då som byggnadssten och till dopfuntar inte bara på Gotland utan även i stora delar av Östersjöområdet. Under 1500-talet och 1600-talet var brytningsverksamheten omfattande. Sandstenen användes bl.a. i Fredriksborgs slott i Hilleröd och Kronborgs slott i Helsingör (Danmark), i byggnader längs polska och tyska Östersjökusten, samt i Gamla Stan i Stockholm. 1890–1910 var den sista storhetstiden för Burgsviksanden. Den användes både som fasadsten och till utsmyckning i en rad svenska städer men även i St. Petersburg. Den viktigaste användningen har emellertid varit tillverkning av slipstenar och brynen samt lokalt som takflis.

Under 2006 bröts 44 ton sandsten vid Botvide (56D 1 e) av Gotlandsbrynet. Brytning sker även vid Uddvide av Slite stenhuggeri AB.

KOLVÄTEPRODUKTION

I Baltikum är sedan lång tid tillbaka kolväten kända i den kambriska, ordoviciska och siluriska lagerföljden. Av denna anledning riktades blickarna redan på 1930-talet mot svensk berggrund av samma ålder. Skånska Cement AB utförde en borrhning efter gas på Filehajdar på norra Gotland i slutet av 1930-talet. Några kommersiella resultat gav inte provborrningen. Det kunde emellertid konstateras att olja förekom i delar av den ordoviciska lagerföljden.

SGU

Under 1960-talet var SGU engagerat i kolväteprospektering på Gotland. De geofysiska mätningar som utfördes i SGUs regi ledde till lokalisering av två borrh-

ningar, Grötlingbo-1 och När-1 (56B 7b). Vid borrhningsarbeten påträffades spår av olja i den siluriska Burgsviksandstenen, i ordoviciska kalkstenslager och i kambriska sandstenar.

OPAB

Oljeprospektering AB, OPAB, startade sin verksamhet den 1 augusti 1969. Den första provborrningen på Gotland var Faludden-1 (56A 4b) som utfördes 1972. Denna borrning följdes av ett stort antal andra borrhningar. Under de 17 år som OPAB bedrev verksamhet på Gotland utfördes 241 borrhningar och över 2 500 km seismiska linjer uppmättes. Oljeproduktion pågick under åren 1974–1986 och var fördelad på 12 områden på norra Gotland och 6 områden på södra Gotland. Oljan utvanns ur ordoviciska, porösa, oregelbundet förekommande s.k. mounds. På södra Gotland utvanns totalt 9 259 m³ olja och på norra Gotland 69 022 m³ olja under OPAB-åren. Den största producenten var Fardume (28 473 m³, 66D 2 h) följt av Risungs (fig. 37, 26 046 m³, 66D 2 h).

Gotlandsolja AB m.m.

Gotlandsolja AB tog över oljeprospektering och oljeutvinningen på Gotland i maj 1987. Gotlandsolja AB bedrev oljeprospektering och oljeutvinning i olika bolagskonstellationer fram till 1982. Under denna tid utfördes 82 borrhningar på Gotland. De seismiska undersökningarna uppgick till 345 profiler. Den totala produktionen var ca 30 000 m³ olja. För närvarande har Got Oil Resources Ltd undersökningstillstånd för kolväteprospektering på norra Gotland.



Fig. 37. Oljepump på norra Gotland vid Risungs (6415420/1683700). Foto: L. Wickström.

Oil pump at Risungs, northern Gotland.

Kolväteförekomst

Den olja som påträffats på Gotland förekommer i s.k. mounds vilket kan jämföras med slamhögar, dvs. ansamling av slam på havsbotten. Dessa bildades under ordovicium och förs stratigrafiskt till Klasenkalkstenen.

Klasenkalkstenen är i mycket generella ordalag uppbyggd av två typer av kalkstenar. Olika typer av lerig kalksten, som varierar i färg från gröngrå till gråröd och rödbrun, dominerar. Upp till 30 cm tjocka skiffrika lager förekommer i den kalkstensdominerade lagerföljden.

Den andra kalkstenstypen är en extremt ren kalksten med ett mycket lågt lerinnehåll. Kalkstenens färg varierar från ljusgrå till vit och ibland skär och brun. Sprickor och hålrum är vanligt förekommande. Det är i denna kalkstenstyp som är bildad av slamhögar (mounds), på havsbotten, som olja påträffas.

De oljeförande strukturerna (mounds) är ganska lätta att identifiera vid seismiska undersökningar. Det är oftast ovala till cirkelformade strukturer med en höjd som kan uppgå till några tiotal meter; diametern kan variera mellan 200 och 800 m.

Reservoarkaraktär

Oljan förekommer i de porösa delarna av kalkstenen, mestadels av centimeterstora hålrum och öppna sprickor. Oljefällorna avgränsas av täta bergarter, t.ex. mangel och mangelsten, vilket medför att oljan inte kan migrera vidare i berggrunden. Oljans migrationsväg in i reservoaren är okänd. Oljan kommer troligtvis från söder eller sydost vilket är berggrundens stupningsriktning.

Bergarten uppvisar en porositet som varierar från några procent upp till 10 %. Permeabiliteten är låg (<1 mD). Detta visar att bergarten är mer eller mindre porös men att det inte finns någon större kontakt mellan hålrummen.

Porositeten har troligtvis uppkommit på följande sätt: Alger är en dominerande organism i ett mound. Dessa och andra organismer har brutits ner och gasfyllda porer, hålrum, har bildats. Hålrummen har tidigt under diagenesen avgränsats av drusliknande cement. De har även fyllts med mikritiskt slam. Under diagenesen har bl.a. kompaktionen lett till bildning av styloliter och en andra generation cement. Sprickor uppstod på grund av detta efter det att sedimentet hade litifierats.

Oljans ursprung

De kolväten som ingår i oljan är typiska för kolväten som påträffats i andra delar av Baltiska bassängen (Siv-

hed m.fl. 2004). Förhållandet mellan kolvätena pristan och phytan är emellertid lägre på Gotland än i Litauen–Kaliningradområdet.

Kolvätesammansättningen i oljan pekar på ett ursprung som kan spåras till en marin skiffer avsatt

under reducerande förhållanden. En sådan bergart är främst den kambriska och ordoviciska alunskiffern. Förekomsten av sådan skiffer är emellertid begränsad i området. En annan kandidat är den underordoviciska Dictyonemaskiffern.

Berggrundens uppbyggnad och koppling till grundvatten, radon, sårbarhet och bergkvalitet

De olika bergartsområdena som illustreras på kartan har mycket varierande fysikaliska, kemiska och tekniska egenskaper. Berggrundens lagring, sprickighet och vittring (karst) samt lerhalt är några viktiga egenskaper för bedömning av bl.a. grundvattenförhållanden och sårbarhet, markradonrisk, samt bergkvalitet.

GRUNDVATTEN OCH SÅRBARHET

Grundvattensituationen på Gotland är mycket komplex och svårtolkad, speciellt inom de större sammanhängande kalkstensområdena där också merparten av grundvattenbildningen sker. Den svårbedömda grundvattensituationen beror framför allt på en varierande lagring av berggrunden i anslutning till revkalkstenar. Lateral såväl som vertikala förändringar av berggrundens lagring ger tillsammans med förekomst av karstvittrade sprickor och hålrum en mycket komplex grundvattensituation.

Merparten av grundvattenflödet inom kalkstensdominerade områden sker utmed enskilda lagringsplan och sprickor. De lokala variationerna är stora vilket gör att kapaciteten mellan borrhål inom samma område varierar kraftigt.

Lagring och förekomst av lokala hydrauliska barriärer (t.ex. lagrad och tät mörgel och mörgelsten i kalkstensområden) kan också leda till lokalt varierande grundvattenförhållanden.

Grundvattensituationen inom kalkstensområden med förekomst av rev kan generellt klassas som en komplex sprickakvifär med lokala variationer beroende på lagring, karst och förekomst av hydrauliska barriärer (lokala mörgelavsnitt). Små jorddjup och blottad berggrund samt förekomst av karst gör också grundvattenförekomsterna inom dessa områden sårbara för föroreningar som snabbt kan komma i kontakt med grundvattnet.

De största grundvattenflödena förekommer i anslutning till uppsprucken berggrund och i övergångar mellan kalksten och lagrad mörgel och mörgelsten. De stora kalkstensområdena på Gotland är som mest ca 60 m

tjocka och underlagras av berggrund som i huvudsak består av relativt tät mörgel och mörgelsten. Sannolikt utgör underliggande mörgel och mörgelsten någon form av hydraulisk gräns vilket gör att grundvatten som kommer ner genom kalkstenens sprickor länkas av utmed gränslagren. Lagringen i mörgel och mörgelstenen är också mer lateralt uthållig vilket gör att gränslagren har en regional betydelse som vattenförande struktur. Även djupare liggande enskilda lager inom mörgel och mörgelstensavsnittet kan ge mycket vatten och ha en stor lateral utbredning.

Utmed flankerna av kalkstensområdena och slutningarna ner mot de lägre liggande mörgel- och mörgelstensområdena är det också vanligt med ökad vattenföring som bedöms vara kopplad till en ökad förekomst av dragsprickor men även förekomst av grova, porösa kalciruditer (fragmentkalkstenar).

Inom de lösare och mer lättvittrade mörgel- och mörgelstensområdena är jorddjupen generellt sett större. Jordlagren ger tillsammans med den lerigare och tätare berggrunden ett bättre skydd av grundvattnet i dessa områden. Grundvattentillgångarna kan lokalt vara stora i vissa nivåer inom områden med mörgel och mörgelsten men eftersom områdena dominerar lågt liggande terräng förekommer ofta problem med salt grundvatten, speciellt i kustnära områden. Inom mörgelområdena sker grundvattenströmningen framför allt utmed enskilda lagringsplan. Sprickor i lagerserien är ofta läkta och täta på grund av förekomsten av mjuk mörgel. Utmed lagringsplan och i anslutning till enskilda uppspruckna kalkstenslager i mörgelsekvenserna kan vattenföringen vara god. Påverkansområdena är till följd av den laterala uthålligare lagringen också mer likformiga inom mörgelområdena.

URAN OCH RADON

På Gotland påträffas små områden i berggrunden som uppvisar förhöjda halter av uran jämfört med omgivningen (se geofysikavsnittet). Halterna är anmärkningsvärda då det inte förväntades förekomma uran

i den gotländska berggrunden. Förekomsten bedöms vara knuten till speciella typer av kalksten som t.ex. mer homogena kalkstenkroppar tillhörande Slitegruppen och Klintebergformationen och förekomsten av pyrit (svavelkis FeS_2), petroleumresidual och kalciumfosfatiska mineral, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4\text{CO}_3)_3(\text{F,OH,Cl})$. Sannolikt är förekomsten av uran knuten till förekomsten av bitumen och oljerester i kalkstenen. Redan i början av 1900-talet registrerades förhöjd radioaktivitet (Hedström 1928) på bitumen i kalksten från Klintbrovik (66E 4i) på Fårö. En teori är att gas och lösningar med bitumen och lösliga metaller inklusive urandöttrar (radium) migrerat upp genom lagerföljden från djupare liggande oljeförekomster i de ordoviciska reven. Oljan i de ordoviciska reven härrör från mörka skiffrar i södra Östersjön (Sivhed m.fl. 2004) som är likartade med alunskiffern i uppbyggnad och som innehåller bl.a. uran. I den siluriska berggrunden fastnar radium i vissa typer av kalkstenar (t.ex. fosfatrika, porösa, stylolytiska).

Till skillnad från kalkstensområdena har de flyggeofysiska mätningarna inte påvisat några urananomalier inom områden som domineras av märgel.

Som ett led i uranets sönderfallskedja till bly produceras radium som i sin tur bildar radon som biprodukt. Radium har en benägenhet att absorberas på ytan av korn i lösa avlagringar (t.ex. i sand) eller på sprickytor i uppsprucken berggrund. Här spelar förekomsten av järn- och manganhydroxider ofta en betydande roll eftersom dessa föreningar har en stor benägenhet att absorbera radium. Även uran förekommer sannolikt i dessa sammanhang. Uran är i jämförelse med radium förhållandevis lättlösligt i vatten. Järnhydroxider förekommer ofta i nära anslutning till fria grundvattenytor t.ex. i karstvittrade grottsystem. En källa till järnet är sannolikt förekomsten av mineralet pyrit som är relativt vanligt i kalkstenen på Gotland. Förekomsten av uppsprucken karstvittrad berggrund, närvaron av järnutfällningar och grundvatten kan således ha en betydelse för förekomsten av uran, radium och radon.

Det är väl dokumenterat att karstvittrad kalkstensberggrund har en benägenhet att orsaka förhöjda radonhalter i bostäder. I bl.a. USA, Frankrike, Schweiz, Ungern och på närmare håll i våra grannländer Estland, Lettland och Litauen finns dokumentation som visar på sambandet mellan förhöjda radonvärden i hus och underliggande karstvittrad berggrund (se Ruthven & Currens 2002, Monnin m.fl. 1994, Phapill m.fl. 2003). I dessa fall finns oftast högre halter av uran och radium jämfört med berggrunden på Gotland men kopplingen mellan karst och risken för radon i bostäder anlagda på karst är tydlig. I dessa stora hålrum, grottor och sprickor som bildats genom karstvittringen är luften mycket lätt rörlig och reagerar lätt på variationer i lufttryck och temperatur. Radonhalten behöver inte vara hög i "karstluften" utan det är de stora tillgängliga luftmängderna som orsakar problem med förhöjda radonhalter inomhus, om huset är otätt mot marken.

BERGKVALITET

På Gotland används kalksten som krossbergsprodukt i många sammanhang trots att den inte alls har samma motståndskraft mot vittring, nötning och belastning som urbergsmaterial. Finkristallin lagrad kalcilutit och kalkarenit uppvisar den bästa hållfastheten medan kalciruditer och revkalkstenar vanligtvis ger ett alldeles för stort sönderfall vid krossning. Förekomsten av mikrosparit och mikrit (karbonatslam) ökar hållfastheten medan förekomsten av stora sparitkristaller mellan kornen har motsatt verkan. Speciellt kalciruditer faller lätt sönder på grund av deras innehåll av ytvittrade fragment och stora sparitkristaller. Kulkvarnsvärdena på gotländsk kalksten varierar kraftigt. De tätaste och hårdaste varianterna uppvisar värden kring 40. Krossbergsmaterial av urberg har vanligtvis ett kulkvarnsvärde under 15.

Summary

The bedrock map of Gotland gives a comprehensive picture of the occurring rock types. The map is based on approximately 1,300 outcrop observations, aerogeophysical data, older maps and a large number of geoscientific publications and reports. The Silurian of Gotland is of great interest to geologists since it displays a unique carbonate platform setting, which provides valuable information on the Silurian palaeontological environment. However, most publications deal mainly with the fossil fauna and not the composition and distribution of the various bedrock types. However, recent sedimentological studies, summarised in a guide by Eriksson & Calner (2005), provide valuable information on the lithological succession.

The Silurian of Gotland comprises strata from the early Wenlock to the late Ludlow, i.e. a period of approximately 10 Ma (428–418 Ma). Older Silurian strata as well as Ordovician and Cambrian are found as subcrops. The Palaeozoic sequence dips gently to the south-south-east, and is around 250 m thick in the north and around 700 m in the south. It overlies a weathered crystalline granitic–gneissic basement.

The existing Silurian stratigraphy of Gotland largely follows the division proposed by Hede (1960). His division into thirteen topostratigraphic units has recently been revised by Jeppsson et al. (2006) among others. The units are defined by a combination of lithostratigraphy, biostratigraphy and event stratigraphy. This results in a division that does not always mirror distinct lithological differences. Hence, the units are often difficult to map on the basis of their field characteristics alone.

The new SGU bedrock map aims to simplify the municipal planning process by showing the distribution of rock types regardless of their stratigraphic affinity. The map is therefore slightly different from those describing the distribution of stratigraphic units.

Three large areas predominantly comprise dense limestone lithologies. One area trends north-east from Visby to the island of Fårö, a second covers much of cen-

tral Gotland, and a third is found in the far south. These areas coincide with topographic highs, thin Quaternary cover and frequent karstification. Reefs, talus deposits (calcirudite) and lagoonal carbonates are frequent. Lateral variations are common, due to a complex and laterally shifting carbonate platform environment.

Between these predominantly limestone areas are low lying areas consisting of marl and marlstone with frequent intercalations and alternation of limestone (calcarenite and calcilutite). These layers generally have a more homogeneous composition and lateral continuity. The Quaternary cover is thicker and the bedrock is mainly exposed in quarries, temporary trenches and ditches.

In addition to these main lithologies, there are two areas with sandstone and siltstone in the Silurian succession on Gotland. These reflect periods when climatic factors resulted in regression of the sea, allowing more proximal siliciclastic environments to dominate the setting. One area with siltstone belonging to the Fröjel Formation is located in a north-east trending zone east of Klintehamn. The most extensive siliciclastic deposit is the Burgsvik Sandstone in southern Gotland, which is up to 40 m thick. This sandstone has been quarried for various purposes since medieval times, mainly for use as ornamental building stone.

The areas with predominantly limestone and marl create quite different geological conditions for groundwater, radon and industrial use of the limestone. Most groundwater originates in the predominantly limestone highs. However, karstification and the thin Quaternary cover render these areas vulnerable to surface pollution. The groundwater is better protected in the marly areas, due to thicker Quaternary cover and less permeable marly lithologies. Quarrying for production of lime is concentrated in the north of Gotland in areas of dense, high carbonate limestone, whereas cement quarrying in marl is now confined to one quarry on the east coast at Slite.

Referenser

- Ahlberg, P., 1989: Cambrian stratigraphy of the När 1 deep well, Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 111, 137–148.
- Aldridge, R.J., Jeppsson, L. & Dörning, K.J., 1993: Early Silurian oceanic episodes and events. *Journal of the Geological Society, London* 150, 501–513.
- Baarli, B.G., Johnson, M.E. & Antoshkina, A.I., 2003: Silurian stratigraphy and palaeogeography of Baltica. I E. Landing, M.E. Johnson (red.): Silurian Lands and Seas: Paleogeography outside of Laurentia. *New York State Museum Bulletin* 493, 3–34.
- Basset, M.G., 1985: Silurian stratigraphy and facies development in Scandinavia. I D.G. Gee & B.A. Stuart (red.): *The Caledonide Orogen—Scandinavia and Related Areas*. John Wiley & Sons. 283–292.
- Basset, M.G., Kaljo, D. & Teller, L., 1989: The Baltic region. I C.H. Holland & M.G. Basset (red.): A global standard for the Silurian System. *National Museum of Wales, Geological Series* 9, 158–170.
- Bastani, M., 2001: EnviroMT – a new controlled source/radio magnetotelluric system. *Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala Dissertations from the faculty of Science and Technology* 32.
- Batchelor, R.A. & Jeppsson, L., 1994: Late Llandovery bentonites from Gotland, Sweden, as chemostratigraphic markers. *Journal of the Geological Society, London* 151, 741–746.
- Batchelor, R.A. & Jeppsson, L., 1999: Wenlock metabentonites from Gotland, Sweden: geochemistry, sources and potential as chemostratigraphic markers. *Geological Magazine* 136, 661–669.
- Bergman, C.F., 1979: Ripple marks in the Silurian of Gotland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 101, 217–222.
- Bergman, C.F., 1980: Macrofossils of the Wenlockian Slite Siltstone of Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 102, 13–25.
- Bergström, J. & Gee, D.G., 1985: The Cambrian in Scandinavia. I D.G. Gee & B.A. Stuart (red.): *The Caledonide Orogen—Scandinavia and Related areas*. Chichester, John Wiley & Sons, 247–271.
- Bjerkéus, M. & Eriksson, M., 2001: Late Silurian reef development in the Baltic Sea. *GFF* 123, 169–179.
- Brunton, F.R., Smith, L., Dixon, O.A., Copper, P., Nestor, H. & Kershaw, S., 1998: Silurian reef episodes, changing seascapes, and paleogeography. I E. Landing & M.E. Johnson (red.): Silurian cycles: Linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic and tectonic changes. James Hall Centennial Volume. *New York State Museum Bulletin* 491, 265–282.
- Calner, M., 1999: Stratigraphy, facies development, and depositional dynamics of the Late Wenlock Fröjel Formation, Gotland, Sweden. *GFF* 121, 13–24.
- Calner, M., 2002: A lowstand epikarstic intertidal flat from the middle Silurian of Gotland, Sweden. *Sedimentary Geology* 148, 389–403.
- Calner, M. & Eriksson, M.J., 2006: Evidence for rapid environmental changes in low latitudes during the Late Silurian Lau Event: the Burgen-1 drillcore, Gotland, Sweden. *Geological Magazine* 143, 15–24.
- Calner, M. & Säll, E., 1999: Transgressive oolites overlapping a Silurian rocky shoreline unconformity, Gotland, Sweden. *GFF* 121, 91–100.
- Calner, M. & Jeppsson, L., 2003: Carbonate platform evolution and conodont stratigraphy during the middle Silurian Mulde Event, Gotland, Sweden. *Geological Magazine* 140, 173–203.
- Calner, M., Eriksson, M.E., Clarkson, E.N.K. & Jeppsson, L., 2008: An atypical intra-platform environment and biota from the Silurian of Gotland, Sweden. *GFF* 130, 79–86.
- Calner, M., Jeppsson, L. & Munnecke, A., 2004: The Silurian of Gotland—Part I: Review of the stratigraphic framework, event stratigraphy, and stable carbon and oxygen isotope development. I A. Munnecke, T. Servais & C. Schulbert (red.): Early Palaeozoic palaeogeography and palaeoclimate (IGCP 503). Abstracts and Field Guides. *Erlanger geologische Abhandlungen, Sonderband* 5, 113–131.
- Cherns, L., 1982: Paleokarst, tidal erosion surfaces and stromatolites in the Silurian Eke Formation of Gotland, Sweden. *Sedimentology* 29, 819–833.
- Cherns, L., 1983: The Hemse–Eke boundary. Facies relationships in the Ludlow series of Gotland, Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C* 800, 45 s.
- Dahlin, T., 1996: 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. *First Break* 14, 275–283.
- Danielsson, I. (red.), 2007: Kunskapsunderlag för planer över framtida markanvändning på norra Gotland. *Rapport Länsstyrelsen Gotland Dnr* 100-609-06.
- Dunham, R.J., 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. I W.E. Ham (red.): *Classification of Carbonate Rocks. American Association of Petroleum Geologists memoirs* 1, 108–121.
- Embry, A.F. & Klovan J.E., 1971: A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geologists* 19, 730–781.
- Engh, L., 1980: Lummelundagrottan med tillhörande

- karstområde. *Svenska grottor 3, Sveriges speleologförbund*, 290 s.
- Eriksson, C.-O. & Laufeld, S., 1978: Philip structures in the submarine Silurian of northwest Gotland. *Sveriges geologiska undersökning C 736*, 30 s.
- Eriksson, M.E. & Calner, M., (red.), 2005: The Dynamic Silurian Earth. Subcommision on Silurian Stratigraphy Field Meeting 2005. *Field guide and abstracts. Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 121*, 99 s.
- Eriksson, M.J., 2004: Formation and significance of a middle Silurian ravinement surface on Gotland, Sweden. *Sedimentary Geology 170*, 163–175.
- Eriksson, M.J., 2007: Silurian carbonate platforms of Gotland, Sweden – archives of local, regional and global environmental changes. *Litholund thesis 13*, 19 s.
- Eriksson, M.J. & Calner, M., 2007: A sequence stratigraphical model for the late Ludfordian (Silurian) of Gotland, Sweden: implications for timing between changes in sea level, palaeoecology, and the global carbon cycle. *Facies 54*, 253–276.
- Flodén, T., 1980: Seismic stratigraphy and bedrock geology of the central Baltic. *Stockholm Contributions in Geology 35*, 240 s.
- Flodén, T., Bjerkeus, M., Tuuling, I. & Eriksson, M., 2001: A Silurian reefal succession in the Gotland area, Baltic Sea. *GFF 123*, 137–152.
- Folk, R.L., 1959: Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin 43*, 1–38.
- Frykman, P., 1985: Subaerial exposure and cement stratigraphy of a Silurian bioherm in the Klinteberg Beds, Gotland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 107*, 77–88.
- Frykman, P., 1989: Carbonate ramp facies of the Klinteberg formation, Wenlock–Ludlow transition on Gotland, Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 820*, 79 s.
- Groves, J.R. & Calner, M., 2004: Lower Triassic oolites in Tethys: a sedimentologic response to the end-Permian mass extinction. *Geological Society of America, annual meeting, Denver, 7–10 Nov. 2004, Abstracts with Programs 36*, 336.
- Gyllencreutz, R., 1998: A ground magnetometric survey on south-central Gotland, Sweden. *Master Thesis, Department of Geology and Geochemistry, Stockholm University, Sweden*.
- Hadding, A., 1941: The pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden–VI Reef limestones. *Lunds Universitets Årsskrift. N. F. Avd. 2*, 37, 137 s.
- Hadding, A., 1959: Silurian algal limestones of Gotland. *Lunds Universitets Årsskrift 56*, 26 s.
- Hagenfeldt, S.E., 1994: The Cambrian Fife Haidar and Borgholm Formations in the Central Baltic and south central Sweden. *Stockholm Contributions in Geology 43*, 69–110.
- Hede, A., 1917: Faunan i kalksandstenens märkliga bottnenlager söder om Klintehamn på Gotland. *Sveriges geologiska undersökning C 281*, 32 s.
- Hede, J.E., 1919: Djupborrningen vid Burgsvik på Gotland 1915. Paleontologisk-stratigrafiska resultat. *Sveriges geologiska undersökning C 298*, 59 s.
- Hede, J.E., 1921: Gotlands Silurstratigrafi. *Sveriges geologiska undersökning C 305*, 100 s.
- Hede, J.E., 1925a: Beskrivning av Gotlands silurlager. I H. Munthe, J.E. Hede & L. von Post (red.): Gotlands geologi. En översikt, *Sveriges geologiska undersökning C 331*, 13–30.
- Hede, J.E., 1925b: Berggrunden (Silursystemet). I H. Munthe, J.E. Hede & L. von Post (red.): Beskrivning till kartbladet Ronehamn, *Sveriges geologiska undersökning Aa 156*, 14–51.
- Hede, J.E., 1927: Berggrunden (Silursystemet). I H. Munthe, J.E. Hede & L. von Post (red.): Beskrivning till kartbladet Hemse. *Sveriges geologiska undersökning Aa 164*, 15–56.
- Hede, J.E., 1928: Berggrunden (Silursystemet). I H. Munthe, J.E. Hede & G. Lundqvist (red.): Beskrivning till kartbladet Slite. *Sveriges geologiska undersökning Aa 169*, 13–65.
- Hede, J.E., 1929: Berggrunden (Silursystemet). I H. Munthe, J.E. Hede & G. Lundqvist (red.): Beskrivning till kartbladet Katthammarvik. *Sveriges geologiska undersökning Aa 170*, 14–57.
- Hede, J.E., 1936: Berggrunden. I J.E. Munthe, J.E. Hede & G. Lundqvist (red.): Beskrivning till kartbladet Fårö. *Sveriges geologiska undersökning Aa 180*, 11–42.
- Hede, J.E., 1940: Berggrunden. I G. Lundqvist, J.E. Hede & N. Sundius (red.): Beskrivning till kartbladen Visby & Lummelunda. *Sveriges geologiska undersökning Aa 183*, 1–68.
- Hede, J.E., 1942: On the correlation of the Silurian of Gotland. *Lunds geologiska fältklubb 1892–1942*, 205–229.
- Hede, J.E., 1956: Suède–Sweden–Sverige. I N.H. Magnusson (red.): *Lexique Stratigraphique International, Volume 1 Europe, Fascicule 2c, Congrès Géologique International – Commission de stratigraphie*.
- Hede, J.E., 1960: The Silurian of Gotland. I G. Regnéll & J.E. Hede (red.): The Lower Palaeozoic of Scania. The Silurian of Gotland. *International Geological Congress XXI. Session Norden. Guidebook Sweden d*. Stockholm. 89 s.
- Hedström, H., 1910: Sveriges produktion och konsumtion af kalksten, kalk, krita och dolomit. Försök till

- en statistik för åren 1906 och 1907. *Sveriges geologiska undersökning C 231*, 99 s.
- Hedström, H., 1923: Remarks on some fossils from the diamond boring at the Visby cement factory. *Sveriges geologiska undersökning C 314*, 27 s.
- Hedström, H., 1928: Om asfaltit och några andra mineral från Gotlands silurlager. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 50, 443–448.
- Jaanusson, V., 1976: Faunal dynamics in the Middle Ordovician (Viruan) of Balto-Scandia. I M.G. Basset (red.): *The Ordovician System: Proceedings of a Palaeontological Association Symposium*. University of Wales Press, Cardiff, 301–326.
- Jaanusson, V., 1979: Stratigraphical and environmental background. I V. Jaanusson, S. Laufeld & R. Skoglund (red.): Lower Wenlock faunal and floral dynamics – Vattenfallet section, Gotland, 11–38. *Sveriges geologiska undersökning C 762*, 294 s.
- Jeppsson, L., 1983: Silurian conodont faunas from Gotland. *Fossils and Strata* 15, 121–144.
- Jeppsson, L., 1993: Silurian events: the theory and the conodonts. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology* 42, 23–27.
- Jeppsson, L., 1997: Recognition of a probable secundo-primo event in the Early Silurian. *Lethaia* 29, 311–315.
- Jeppsson, L., 1998: Silurian oceanic events: Summary of general characteristics. I E. Landing & M.E. Johnson (red.): Silurian cycles: Linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic, and tectonic changes. *New York State Museum Bulletin* 491, 239–257.
- Jeppsson, L., 2005: A revision of the Early Wenlock stratigraphy of Gotland. *SGU-rapport 2005:7*, 20–21.
- Jeppsson, L., 2008: The Lower Wenlock Hangvar Formation – a sequence previously split between the Högklint and Slite beds (Silurian, Gotland, Sweden). *GFF* 130, 31–40.
- Jeppsson, L. & Aldridge, R.J., 2000: Ludlow (late Silurian) oceanic episodes and events. *Journal of the Geological Society, London* 157, 1137–1148.
- Jeppsson, L. & Calner, M., 2003: The Silurian Mulde Event and a scenario for secundo-secundo events. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences* 93, 135–154.
- Jeppsson, L., Viira, V. & Männik, P., 1994: Silurian conodont-based correlations between Gotland (Sweden) and Saaremaa (Estonia). *Geological Magazine* 131, 201–218.
- Jeppsson, L., Aldridge, R.J. & Dörning, K.J., 1995: Wenlock (Silurian) oceanic episodes and events. *Journal of the Geological Society, London* 152, 487–498.
- Jeppsson, L., Eriksson, M.E. & Calner, M., 2006: A latest Llandovery to latest Ludlow high-resolution biostratigraphy based on the Silurian of Gotland – a summary. *GFF* 128, 109–114.
- Kano, A., 1989: Deposition and palaeoecology of an Upper Silurian stromatoporoid reef on southernmost Gotland, Sweden. *Geological Journal* 24, 295–315.
- Kano, A., 1990: Deposition, palaeoecology, and diagenesis of the Silurian reef-like limestones on Gotland. *Meddelanden från Stockholms Universitets Institution för Geologi och Geokemi* 280, 4–15.
- Karlquist, L., Fogdestam, B. & Enquist, P., 1982: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Gotlands Län. *Sveriges geologiska undersökning A 3*, 60 s.
- Karlsson, C., 2005: Provenance of storm generated siliciclastic strata of the Upper Silurian Burgsvik Formation, southern Gotland, Sweden. *GFF* 127, 49–50.
- Kershaw, S., 1997: Palaeoenvironmental change in the Silurian stromatoporoid reefs, Gotland, Sweden. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)* 91, 329–342.
- Kershaw, S. & Keeling, M., 1994: Factors controlling the growth of stromatoporoid biostromes in the Ludlow of Gotland, Sweden. *Sedimentary Geology* 89, 325–335.
- Larsson, K., 1979: Clastic dykes from the Burgsvik Beds of Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 97, 125–134.
- Laufeld, S., 1974a: Silurian Chitinozoa from Gotland. *Fossils and Strata* 5, 130 s.
- Laufeld, S., 1974b: Reference localities for palaeontology and geology in the Silurian of Gotland. *Sveriges geologiska undersökning C 705*, 172 s.
- Laufeld, S. & Basset, M.G., 1981: Gotland. The anatomy of a Silurian carbonate platform. *Episodes* 2, 23–27.
- Linde, N. & Pedersen, L.B., 2004: Evidence of electrical anisotropy in limestone formations using the RMT technique. *Geophysics* 69, 909–916.
- Loke, M.H., 2004: *Rapid 2-D resistivity & IP inversion using the least-squares method*. Manual for Res2dinv, version 3.54, p 53, (available at www.geoelectrical.com).
- Long, D.G.F., 1993: The Burgsvik Beds, and Upper Silurian storm generated sand ridge complex in southern Gotland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 115, 299–309.
- Löfvendahl, R., Andersson, T., Åberg, G. & Lundberg, B.A., 1994: *Svensk byggnadssten & Skadebild*. Natursten i byggnader Riksantikvarieämbetet, Statens historiska museer, Institutionen för konservering.
- Manten, A.A., 1971: Silurian reefs of Gotland. *Developments in Sedimentology* 13, 537.

- Martinsson, A., 1962: Ostracodes of the family *Beyrichiidae* from the Silurian of Gotland. *Publication from the Palaeontological Institution of the University of Uppsala* 41, 369 s.
- Monnin, M., Morin J.P., Pane, M.B. & Seidel, J.L., 1994: Radon-222 measurements in a fractured karst aquifer. I: Basic and applied hydrogeologic research in French karstic areas, *Proc. of the Montpellier-Millau workshop, May 5–8, European Commission, DC Science, Research and Development, Brussels*, 89–91.
- Munnecke, A. & Samtleben, C., 1996: The formation of micritic limestones and the development of limestone-marl alternations in the Silurian of Gotland. *Facies* 34, 159–176.
- Munthe, H., 1910: On the sequence of strata within southern Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 32, 1397–1453.
- Munthe, H., 1921: Beskrivning till kartbladet Burgsvik jämte Hoburgen och Ytterholmen. *Sveriges geologiska undersökning Aa* 152, 172 s.
- Munthe, H., Way-Matthiesen, L. & Hansson, H., 1945: Om kalkindustrin på Gotland. *Med hammare och fackla Årsbok XIII*. 1–154.
- Nield, E.W., 1982: The earliest Gotland reefs: Two bioherms from the Lower Visby Beds (Upper Llandovery). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 39, 149–164.
- 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.
- Pedersen, L.B. & Engels, M., 2005: Routine 2D inversion of magnetotelluric data using the determinant of the impedance tensor. *Geophysics* 70, G33–G41.
- Phapill, L., Rulkov, A., Rajamäe, R. & Åkerblom, G., 2003: Radon in Estonian dwellings. Results from a National Radon Survey. *SSI Report 2003:16*, 1–25.
- Riding, R., 1981: Composition, structure and environmental setting of Silurian bioherms and biostromes in northern Europe. I.D.F. Toomey (red.): *European Fossil Reef Models. SEPM special publications* 30, 41–83.
- Riding, R. & Watts, N.R., 1991: The lower Wenlock reef sequence of Gotland: facies and lithostratigraphy. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 113, 343–372.
- Ruthven, C.L. & Currens, J.C., 2002: Karst landscape—astonishing beauty and hidden hazards: *Kentucky Geological Survey, In Focus*. April 2002.
- Samtleben, C., Munnecke, A. & Bickert, T., 1996: The Silurian of Gotland (Sweden): facies interpretation based on stable isotopes in brachiopod shells. *Geologische Rundschau* 85, 278–292.
- Samtleben, C., Munnecke, A. & Bickert, T., 2000: Development of facies and C/O-Isotopes in transects through the Ludlow of Gotland: evidence for Global and local influences on a shallow-marine environment. *Facies* 43, 1–38.
- Sandström, O., 2000: Reef biostromes and related facies from the Middle Silurian of Gotland, Sweden. *Lund Publications in Geology* 148, 16s.
- Sandström, O. & Kershaw, S., 2002: Ludlow (Silurian) stromatoporoids biostromes from Gotland, Sweden: facies, depositional models and modern analogues. *Sedimentology* 49, 379–395.
- Sandström, O. & Kershaw, S., 2008: Palaeobiology, ecology, and distribution of stromatoporeid faunas in biostromes of the mid Ludlow of Gotland, Sweden. *Acta Palaeontologica Polonica* 53, 293–302.
- Schmidt, F., 1890: Bemerkungen über die Schichtenfolge des Silur auf Gotland. *Neues Jahrbuch für Mineralogie und Geologie*. 249–266.
- Shaikh, N.A., Bruun, Å., Karis, L., Kjellström, G., Sivhed, U., Sundberg, A. & Wik, N.-G., 1990: Kalksten och dolomit i Sverige. Del 3. Södra Sverige. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 56, 296 s.
- Siripunvaraporn, W. & Egbert, G., 2000: An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data. *Geophysics* 65, 791–803.
- Sivhed, U., 1976: Sedimentological studies of the Wenlockian Slite Siltstone on Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 98, 59–64.
- Sivhed, U., Erlström, M., Bojesen-Koefoed, J.A. & Löfgren, A., 2004: Upper Ordovician carbonate mounds on Gotland, central Baltic Sea: distribution, composition and reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Geology* 27, 115–140.
- Snäll, S., 1977: Silurian and Ordovician bentonites of Gotland (Sweden). *Stockholm Contributions in Geology* 31, 92 s.
- Stel, J.H. & de Coö, J.C.M., 1977: The Silurian upper Burgsvik and lower Hamra-Sundre Beds, Gotland. *Scripta Geologica* 44, 1–43.
- Thorslund, P. & Westergård, A.H., 1938: Deep boring through the Cambro-Silurian at File Haidar, Gotland. Preliminary report. *Sveriges geologiska undersökning C* 415, 48 s.
- Watts, N.R. & Riding, R., 2000: Growth of rigid high-relief patch reefs, Mid-Silurian, Gotland, Sweden. *Sedimentology* 47, 979–994.
- Wik, N.-G., Bergström, U., Bruun, Å., Claeson, D., Jelinek, C., Juhojuntti, N., Kero, L., Lundqvist, L., Stephens, M.B., Sukutjo, S. & Wikman, H., 2005: Beskrivning till regional berggrundskarta över Kalmar län, *Sveriges geologiska undersökning Ba* 66, 50 s.

Appendix 1. Stratigrafisk beskrivning

Nedan ges en sammanfattande beskrivning av den stratigrafiska indelningen av Gotlands siluriska berggrund. Indelningen baseras på framför allt arbeten av Hede (1960), Riding & Watts (1991) och Jeppsson m.fl. (2006). Några informella enheter (t.ex. Fleringe-, Broskog-, Eskelhem-, Länna- och Levideformationerna) som presenteras i den stratigrafiska sammanställningen av Jeppsson m.fl. (2006) tas inte upp i denna stratigrafiska beskrivning, eftersom de är ofullständigt definierade. En översikt av den stratigrafiska indelningen som presenteras här visas i figur 38. För mer detaljerade uppgifter angående de lokaler som nämns i texten hänvisas till Laufeld (1974a).

ÅLDER Age		Grupp, formation Group, formation		Led Member	
SILUR	LUDLOW	ludfordian	Sudreigruppen	Sundreformationen	
				Hamraformationen	
				Burgsvikformationen	
				Ekeformationen	
		Hemsegruppern	Närformationen	-----	

			Etelhemformationen*		
			Petesformationen*		
			Levideformationen*		
		gorstian	Klintebergformationen		
	Hallaformationen				
	WENLOCK	homerian	Slitegruppen	Fröjelfformationen	
				Lännaformationen*	Ryssnåskalksten
				Eskelhemformationen*	Slite mägerlsten
				Broskogsformationen*	Kalbbergakalksten
				Fleringeformationen*	Katrinelundkalksten
		sheinwoodian	Hangvarformationen		
			Kopparsvikformationen		
Höglkintformationen					
Visbyformationen					
LANDO- VERY	Tely- chian				

Fig. 38. Förenklat stratigrafisk schema med de enheter som beskrivs här (jfr fig. 2) över Gotlands siluriska berggrund (baserad på information från Riding & Watts 1991, Jeppsson m.fl. 2006, 2008).

Simplified stratigraphic scheme with the units described here (compare fig. 2) of the Silurian of Gotland (based on information from Riding & Watts 1991, Jeppsson et al. 2006, 2008).

VISBYFORMATIONEN

Typområde

Visbyformationen har sitt typområde utmed kusten sydväst om Höglint (66A 7 i). Typlokal för de två leden är Rövar Liljas håla 1 (66A 7 i).

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Visbyformationen delas in i två led (Riding & Watts 1991) och avsattes under yngre llandovery och äldre wenlock. Gränsen mellan det undre Ygneledet och det övre Rövar LiljaleDET är gradvis och utgör oftast 1 till 2 m av lagerföljden. Visbyformationen överlagrar vad som har kallats det "Röda lagret", som bara finns observerat i borrhål. Kontakten mot den överlagrande Höglintformationen är antingen gradvis eller väl markerad, beroende på vilket led inom Höglintformationen som Visbyformationen avgränsas mot.

Synonymer

Visbyformationen inkluderar de topostratigrafiska enheterna Undre Visbyformationen (sensu Jeppsson m.fl. 2006) och Övre Visbyformationen (sensu Jeppsson m.fl. 2006). För ytterligare synonymer, se Riding & Watts (1991).

Huvudsaklig litologi

Ygneledet domineras av lersten medan den dominerande litologin inom Rövar LiljaleDET är kalksten.

Utbredning och tjocklek

De blottade delarna av Visbyformationen är begränsade till den undre delen av klintarna på västra och nordvästra Gotland och utgör den översta delen av en sekvens som är 136 m tjock. Till största delen är denna sekvens enbart känd från kärnbörningar (Hedström 1923, Thorslund & Westergård 1938). Den maximala tjockleken av den delen av Ygneledet som är exponerad ovanför havsnivån är 12 m. Rövar LiljaleDET:s tjocklek har uppmätts till 6,5 m vid typlokalen. Enligt Jeppsson m.fl. (2006) är tjockleken av Övre Visbyformationen och Undre Visbyformationen tillsammans ca 35 m.

Övrigt

Termen Visbyformationen används inte i den stratigrafiska indelningen i t.ex. Jeppsson m.fl. (2006), utan där hänvisar man till de topostratigrafiska enheterna Övre Visbyformationen och Undre Visbyformationen. Ygneledet och Rövar LiljaleDET är inte synonymer med dessa begrepp, eftersom de två leden inom Visbyfor-

mationen är litologiskt åtskilda. Gränsen mellan de topostratigrafiska Visbyformationerna är enbart baserad på förändringar i den fossila faunan (se t.ex. Laufeld 1974a, Jaanusson 1979).

HÖGKLINTFORMATIONEN

Typområde

Kustskärningarna vid Högklint (66A 7 i, Riding & Watts 1991).

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Högklintformationen avsattes under tidig wenlock i mellersta silur och delas in i åtta olika led beroende på litologi: Korpklintsledet, Ireviksledet, Millingsklintsledet, Brissundsledet, Hallshuksledet, Domkyrkaledet, Kappelshamnsviksledet och Högklintreven. Högklintformationen överlagrar Visbyformationen och gränsar stratigrafiskt uppåt mot Kopparsvikformationen.

Synonymer

Högklintformationen, enligt definition av Riding & Watts (1991), motsvarar del a, b och c av Högklintgruppen i Hedes (1960) indelning.

Huvudsaklig litologi

Högklintformationen domineras av stora revkroppar med mellanliggande lagrad kalksten. Den lagrade kalkstenen blir grövre uppåt i lagerserien och i anslutning till revkropparna.

Utbredning och tjocklek

Högklintformationen förekommer i en kustparallell zon på den västra och nordvästra delen av Gotland. Högklintformationen är som mest ca 35 m tjock när den domineras av revkalksten. Mellan reven tunnlar lagren ut och enheten når en mäktighet av ca 20 m.

Övrigt

Högklintformationen enligt Riding & Watts (1991) är ej synonymt med Högklintformationen enligt Jeppsson m.fl. (2006).

KOPPARSVIKFORMATIONEN

Typområde

Typområdet finns i södra Visby (66A 9 a), mellan Kopparsvik 2 och Käringen 1 (66A 8 j), samt Galgbacken 1 och Stajnkrogen 2 (66A 8 j).

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Kopparsvikformationen är av yngre mellersta wenlock-ålder och inkluderar de stratigrafiska leden Stajnkrogs-

ledet, Gutevägsledet, Plåganledet, Halsjärnsledet, Visborgsledet och Käringenledet (Riding & Watts 1991). Den undre gränsen mot Högklintformationen utgörs av en diskontinuitetsyta och enheten överlagras diskontinuerligt av Hangvarformationen.

Synonymer

Omfattar Högklint d och Toftaformationen (se Riding & Watts 1991). En diskussion angående namnbytet ges i Riding & Watts (1991). Termen Toftaformationen ersätts av Kopparsvikformationen.

Huvudsaklig litologi

Kopparsvikformationen är en kalksten som innehåller onkoider (algbollar) och flera erosionsytor, samt horisonter med stromatoporoidéer.

Utbredning och tjocklek

Kopparsvikformationen förekommer på den västra och nordvästra delen av Gotland. I området runt Visby når Kopparsvikformationen en maximal tjocklek på ca 7,5 m.

HANGVARFORMATIONEN

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Hangvarformationen avsattes under mellersta wenlock. Dess övre gräns sammanfaller med den övre gränsen för konodontzonen *O. s. rhenana* (*Ozarkodina sagitta rhenana*). Hangvarformationen avgränsas underifrån av Kopparsvikformationen och den övre delen gränsar mot Slitegruppen.

Synonymer

Slite a, b och delar av Slitemärgelsten (Jeppsson 2008).

Övrigt

Omnämns endast i Jeppsson m.fl. (2006). Finns ej definierad i litteraturen.

SLITEGRUPPEN

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

De bergarter som utgör Slitegruppen avsattes under yngre wenlock. Slitegruppen överlagrar Hangvarformationen som är en nyligen definierad formation. Denna inkluderar de övre delarna av Toftaformationen och undre delarna av Slitegruppen (Jeppsson 2008). Gränsen utgörs av en diskontinuitetsyta vilken speglar ett avbrott i sedimentation. Slitegruppens översta enhet, Fröjelfformationen, gränsar också diskontinuerligt mot den överliggande Hallaformationens bergarter. Slite-

gruppen har tidigare varit indelad i flera olika underenheter (Hede 1960, Martinsson 1962, Manten 1971, Jeppsson m.fl. 2006). Den stratigrafiska indelningen som används i denna beskrivning följer i stort Hede (1960) och hans indelning med underenheter a–g, med tillägg av Fröjelfformationen (Calner 1999).

I de fall där Slitegruppens underenheter har blivit namngivna har vi valt att ge en kort beskrivning av dessa. Det gäller i första hand Katrinelundkalksten (enhet c), Kalbjergakalksten (enhet e, Hede 1936), Ryssnäs-kalksten (del av enhet g, Hede 1936), Slite mägersten (Schmidt 1890) och Fröjelfformationen. De namngivna kalkstensenheter består i huvudsak av lagrad kalksten med lokal förekomst som är knuten till deras bildningsmiljö.

Huvudsaklig litologi

Slitegruppen består av tre olika huvudlitologier: 1) kalksten, 2) växellagrande kalksten och mägersten och 3) siltsten. Kalkstenarna dominerar i nordost och den växellagrande kalkstenen och mägerstenen (Slite mägersten) har ett större geografiskt utbredningsområde mot sydväst. Utbredningen av de klastiska inslagen (Fröjelfformationen) är koncentrerad till området sydost om Klintehamn på den sydvästra delen av Gotland (56C 2–3 i).

Utbredning och tjocklek

Slitegruppen är Gotlands mäktigaste stratigrafiska enhet, med en tjocklek på 100 m. Avgränsningen av Slitegruppens äldre bergarter mot Kopparsvikformationen sträcker sig från den nordöstliga delen av Fårö (66E 6b) ned mot Skansudd (56C 0h), söder om Tofta på den västra sidan av Gotland.

Slitegruppens yngsta delar gränsar mot Klintebergsformationen i en linje som sträcker sig från strax norr om Åminne (66B 8f) på den östra sidan av Gotland till Gannarveskär (56C 2i), söder om Klintehamn på den västra sidan av Gotland.

Övrigt

I Estland motsvarar Maasi- och Tagaverelagren delar av Slitegruppen. Korrelationer av dessa enheter har gjorts utifrån biostratigrafiska data (konodonter), se Jeppsson m.fl. (1994).

Katrinelundkalksten

Typlokal

Katrinelund 1 (66A 8a).

Synonymer

Slitegruppens enhet c (Hede 1960).

Huvudsaklig litologi

Hede (1960) beskrev Katrinelundkalkstenen som en kalksten vilken varierar i färg från blågrå till ljusgulbrun. Den är tunt till medeltjockt lagrad och ibland mellanlagrad av tunna lager med blågrå till mörkt grå mägersten.

Utbredning och tjocklek

Enheten är uppemot 8 m tjock men något tunnare på den norra och östra delen av ön (Shaikh m.fl. 1990).

Kalbjergakalksten

Typområde

Området runt Kalbjerga gård, Fårö (66E 6j, a, Hede 1936).

Synonymer

Slitegruppens enhet e (Hede 1960).

Huvudsaklig litologi

Hede (1936) beskrev Kalbjergakalkstenen som en hård, mycket finkristallin, ibland även oolitisk kalksten med ett flintartat brott. Den är övervägande tunnbankad och färgen varierar från ljusgrå till brunaktig (eller grönaktigt ljusgrå). Styloliter förekommer och den är rik på stromatoporoider.

Tjocklek

Hede (1936) anger en tjocklek på ca 5 m.

Slite mägersten

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Slite mägersten är likåldrig med de kalkstenar som finns bevarade i Slitegruppens nordöstliga utbredningsområde, men representerar en annan avsättningsmiljö.

Synonymer

Slite-Follingbomäger (Hede 1956).

Huvudsaklig litologi

Slite mägersten består av växellagrande kalksten och blå till grå mägersten. Hede (1928) beskriver kalkstenen som brun eller blågrå och tät till finkristallinisk och den uppträder som tunna bankar eller linser.

Ryssnäs-kalksten

Typområde

Sydligaste udden på Fårö (66E 6j, a, Hede 1936).

Stratigrafisk kontext

Ryssnåskalkstenen överlagrar Slite mårjelsten.

Synonymer

Ryssnåskalkstenen utgör den lagrade kalkstenen inom Slitegruppens e-enhet (Hede 1960).

Huvudsaklig litologi

Enligt Hede (1936) är Ryssnåskalkstenen i huvudsak en mårjlig tunnbankad "kristallinisk" kalksten där den färska ytan är ljusgrå, grå till något gråblå. Kalkstensbankarna är i sin tur mellanlagrade av tunna blå eller grönaktiga mårjelskikt. Enheten är mycket fossilrik och faunan består till största delen av sjölimjor (krinoidéer), mossdjur (bryozoa), stromatoporoidéer och koraller.

FRÖJELFORMATIONEN

Typområde

Klintehamn (56C 2–3 i, Calner 1999).

Ålder och stratigrafisk sammanhang

Fröjelformationen avsattes under yngre wenlock och omfattar den undre delen av konodontbiozonen *Ozarkodina bohémica*, samt graptolitzonen *T. testis* (Jeppsson m.fl. 2006).

Fröjelformationen ligger stratigrafiskt sett mellan Slite mårjelsten (inom Slitegruppen) och Hallaformationen. Kontakten mot Slite mårjelsten är konform och övergången föregås av ett ökat inslag av mårjel. Den övre kontakten mot Hallaformationen utgörs i nordost av ett avbrott i sedimentationen och en yta med paleokarst som bildades redan under silur (Calner 2002).

Synonymer

Formationen delas in i Svarvareledet och Gannarveledet (Calner 1999). Svarvareledet har av Hede (1917) benämnts "kalksandstensens mårjliga bottenlager". Gannarveledet motsvarar det som Hede (bl.a. 1917, 1925a, b) kallar för "kalksandstenen". Gannarveledet är också synonymt med Slitesiltsten, en term som tidigare använts av Laufeld (1974a, b), Sivhed (1976), Bergman (1979, 1980), Laufeld & Bassett (1981), Bassett (1985) och Bassett m.fl. (1989). Motivering till namnbytet beskrivs i Calner (1999).

Huvudsaklig litologi

Formationen har inslag av både karbonatiska och siliciklastiska sedimentbergarter, dvs. en detritisk lersten och en kvartshaltig siltsten (med varierande andel biogent material) som i allmänhet består av ett CaCO₃-haltigt cement eller ett mikritiskt matrix (Calner 1999).

Utbredning och tjocklek

Fröjelformationen finns främst blottad på den västra sidan av Gotland i närheten av Klintehamn (56C 2–3 i) och är 9–11 m mårktig.

HALLAFORMATIONEN

Ålder och stratigrafisk sammanhang

Hallaformationen avsattes under yngre wenlock. Hallaformationens understa delar består av en oolitisk kalksten, Baraledet, vilken avsattes på en redan eroderad och karstifierad yta som markerar Slitegruppens översta gråns. Att Gotland under silur var en stenig kuststråcka (Calner 2002) kan man se extra tydligt vid Barabacke (66B 7 d) där ooliten, som är yngre än Slitegruppens rev, är avsatt topografiskt nedanför de senare. Hallaformationens övre gråns mot Klintebergformationen är definierad utifrån biostratigrafiska förhållanden och utgör grånsen mellan biozonerna *Kockelella ortus absidata* och *Ctenognathodus murchisoni*. Den undre grånsen av *Ctenognathodus murchisoni*-zonen definieras av den första förekomsten av konodonten *Ctenognathodus murchisoni* (Jeppsson & Calner 2003). Termen Hallaformationen reviderades av Calner och Jeppsson (2003), och omfattar bland annat de topostratigrafiska leden Baraledet (Calner & Sål 1999), Muldeledet (Calner & Jeppsson 2003) och Djupviksledet (Calner & Jeppsson 2003). Den östliga delen av formationen har inte blivit formellt indelad i led.

Synonymer

Hallaformationen har tidigare benämnts Hallakalksten (Hede 1925b) och Mulde mårjel (Hede 1960). Dessa enheter slogs samman till samma formation, med tillhörande led, efter att de visat sig vara likåldriga (Calner & Jeppsson 2003).

Huvudsaklig litologi

Hallaformationen har, i likhet med de flesta andra enheter på Gotland, en östlig och en västlig facies som skiljer sig åt i avsättningsmiljö och litologi. Enbart den oolitiska kalkstenen (Baraledet) har en utbredning vilken stråcker sig från öster till väster (Calner & Jeppsson 2003, s. 183). Hallaformationen på östra Gotland utgörs av kalksten som i sin övre del har inslag av biohermer. Den översta delen är en nodulärt lagrad kalksten med onkoider. Formationens västliga facies består av växellagrad mårjel och kalksten.

Utbredning och tjocklek

Hallaformationen påträffas i ett smalt stråck som stråcker sig från strax norr om Åminne (66B 8 f) på den östra sidan ned mot Klintehamn (56C 2–3 i) på den västra sidan av Gotland. Dess tjocklek bedöms till knappt 30 m.

Övrigt

Hede (1928) definierade Hallakalkstenens (Hallaformationens) övre gräns mot Klintebergformationen som en diskontinuitetsyta som följer på en ”grå finkristallinisk, mindre mörk kalksten”. Calner & Jeppsson (2003) menar att denna yta endast har en lokal utbredning och därför inte kan användas till att definiera formationsgränsen. Istället tillämpas en biostratigrafisk definition utifrån förekomsten av mikrofossil, där gränsen mot Klintebergformationen inte kan urskiljas med hjälp av litologiska skillnader.

KLINTEBERGFORMATIONEN

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Klintebergformationen (Frykman 1989) avsattes under den äldre delen av ludlow. Gränsen mot den underliggande Hallaformationen är biostratigrafiskt definierad och kan inte skiljas ut i fält. På grund av dålig blottningsgrad är den övre gränsen mot Hemsegruppens bergarter enbart känd från Hedes dokumenterade blottningar. Hede (1929) definierade gränsen mot Hemsegruppens bergarter med ett kalkstenslager som innehåller musslan *Megalomus gotlandicus*.

Synonymer

Tidigare har termerna Klinteberggruppen (Hede 1960) och Klintebergslagen (bl.a. Laufeld 1974a, Jeppsson 1983) använts.

Huvudsaklig litologi

Liksom i andra stratigrafiska enheter på Gotland består den nordöstra delen av Klintebergformationen av lagrad kalksten, medan den sydvästliga utgörs av växelagrande mörk och kalksten.

Utbredning och tjocklek

Klintebergformationen sträcker sig över mellersta Gotland i ett 10–15 km brett band som är bredast mot den östra sidan av ön och blir smalare längre åt sydväst. Formationens tjocklek är cirka 70 m.

HEMSEGRUPPEN

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Hemsegruppen avsattes under ludlow (yngre silur) och överlagrar Klintebergformationen.

Cherns (1983) har beskrivit övergången mellan Hemsegruppen och den överlagrande Ekeformationen.

På östra Gotland utgörs Hemsegruppens övre avgränsningen mot Ekeformationen av ett tunt limonitrikt lager som ställvis övergår i ett järnhaltigt tunt lager med fosforit, glaukonit och pyrit. Den övre gränsen utgörs

på andra ställen av flera tätt liggande mineraliserade nivåer som där tillsammans utgör Hemsegruppens 10–15 översta centimetrar. På västra Gotland är övergången mot Ekeformationen gradvis och utgörs främst av ökande inslag av algkalksten i onkolitfacies (Cherns 1983).

Shaikh m.fl. (1990) delade in Hemsegruppen i underenheterna a–e, Hemsemörk i nordvästfacies, Hemsemörk i sydostfacies samt Hemselagens översta del efter Hedes beskrivningar.

Jeppsson (2005) delade in Hemsegruppen i tre olika enheter, undre mörk, kalksten och övre mörk, där den senare ingår i Närformationen (Jeppsson 2005).

Huvudsaklig litologi

Hemsegruppen uppvisar samma öst–västliga faciesförändring som man kan se på övriga Gotland, med lagrad kalksten innehållande små biohermer i öster och växelagrande kalksten och mörk i väster. Den understa kalkstenen är finkornig, tunnlagrad och ljus grå till brungrå till färgen (Hede 1960).

Tjocklek

Jeppsson (2005) anger att Hemsegruppen har en total tjocklek på 200–250 m.

NÄRFORMATIONEN

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Närformationen (Jeppsson 2005) utgör den översta delen av Hemsegruppen och avsattes under mellersta ludlow. Jeppsson (2005) delade in Närformationen i Millklintsledet och Botvideledet. Definitionen av Närformationens undre gräns är oklar; gällande den övre gränsen se under Hemsegruppen ovan.

Synonymer

Termerna Hemsemörk i sydostfacies och Millklintskalksten förekommer i olika publikationer (Jeppsson 2005).

Huvudsaklig litologi

Växelagrande mörk och lerig kalksten (Eriksson & Calner 2007).

Tjocklek

Jeppsson (2005) anger en tjocklek på ca 65 m.

SUDRETGRUPPEN

Eke-, Burgsvik-, Hamra- och Sundreformationerna ingår i Sudretgruppen. Termen presenterad av Jeppsson m.fl. (2006). Nedan ges en beskrivning av de ingående formationerna.

Ekeformationen

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Ekeformationen avsattes under yngre ludlow. Cherns (1983) definierar gränsen mot den underliggande Hemsegruppen till en mineraliserad diskontinuitetsyta. Enhetens övre del mot Burgsvikformationen är karstifierad och sammanfaller med en sekvensstratigrafisk gräns (Calner & Eriksson 2006). Jeppsson (2005) omdefinierade Ekeformationens under gräns mot Hemsegruppens bergarter, baserad på förändringar i den fossila faunan.

Synonymer

Hede (1956) anger flera synonymer, bl.a. termen Ekegruppen.

Huvudsaklig litologi

Algkalksten i onkolitfacies utgör en karaktäristisk bergart i Ekeformationen. Onkoiderna består ofta av skalfragment med en koncentrisk algpåväxt.

Utbredning och tjocklek

Ekeformationen är 15 m mäktig vid Burgen (56A 2 i, Eriksson & Calner 2007). Formationen förekommer i ett stråk som sträcker sig från strax norr om Närsolmen (56B 9 e) på östra sidan, mot Näsudden (56B 5–6 i–j) på den västra sidan av södra Gotland.

BURGSVIKFORMATIONEN

Typområde

Burgsvikformationen har sitt typområde inom Öja socken på södra Gotland (56B 5 a, Hede 1956).

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Burgsvikformationen avsattes under yngre ludlow och omfattar de två leden Burgsviksandstenen och Burgsvikooliten. De skiljs åt genom en översvämningssyta, som föregåtts av omfattande erosion (Eriksson & Calner 2007).

Synonymer

Termen Burgsviklager används av bl.a. Munthe (1910).

Huvudsaklig litologi

De två leden inom Burgsvikformationen, Burgsviksandstenen och Burgsvikooliten, är litologiskt skilda åt. Den undre Burgsviksandstenen är en tjockbankad, fin-kornig sandsten som är rik på sedimentära strukturer, t.ex. böljeslagsmärken, kuddstrukturer, Philipstrukturer, ”slumping”, ”load casts”, ”flame structures”. Lerinnehållet

är något större i de delar av sandstenen där t.ex. ”load casts” förekommer. En petrografisk analys (Long 1993) visar att sandstenen innehåller 56,5 % kvarts, 36,6 % fragment, bergarter och fossil och 6,9 % fältspat.

Burgsvikooliten är en skalförande, delvis oolitisk kalksten, med mellanlagringar av sandsten och rena kalkstenar.

Utbredning och tjocklek

Burgsvikformationen förekommer på södra delen av Gotland. Dess maximala tjocklek är ca 47 m, varav 40 m utgörs av Burgsviksandstenen. Burgsvikooliten är drygt 7 m mäktig. Formationen tunnare ut mot nordost (Eriksson & Calner 2007).

Övrigt

Eriksson & Calner (2008) har presenterat en nytolkning av Burgsviksandstenens avsättningsmiljö som bygger bland annat på förekomsten av kanalstrukturer och hummock-korsskiktning och som visar att sandstenen avsattes i den yttre delen av ett delta.

Strukturmätningar av sandstenen vid Hoburgen (56A 2–3 i–j) visar att den stupar in mot de centrala delarna under det ovanliggande revet som tillhör Hamraformationen. Detta är en Philipstruktur, dvs. ”en cirkulär eller ellipsoidal fördjupning under, och orsakat av, ett rev eller en bioherm” (Eriksson & Laufeld 1978). Dessa finns tidigare beskrivna från Höglintformationen.

Proveniensstudier (Karlsson 2005) visar att den troliga källan till sandstenen kan hittas i områden påverkade av de svekonorvegiska och kaledoniska orogenesiserna.

Hamraformationen

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Hamraformationen avsattes under yngre ludlow och utgör tillsammans med Sundreformationen bland annat det biohermkomplex som överlagrar Burgsvikformationen vid Hoburgen.

Hamraformationen delades in i tre olika enheter av Laufeld (1974): a (”Sphaerocodium”-kalksten, Munthe 1921), b och c.

Synonymer

Termerna Hamrakalk (Munthe 1921), Hamragruppen (Laufeld 1974b) och Hamralager (Shaikh m.fl. 1990) förekommer som synonymer.

Huvudsaklig litologi

Den understa delen av Hamraformationen, enhet a, består av en lagrad onkolitisk algkalksten (Stel & de Coe 1977). Denna överlagras av växellagrad lerig kalksten och mangelsten (enhet b).

Inom Hamraformationens enhet c förekommer en lateral förändring i facies, liknande den som dokumenterats i den äldre Hallaformationen. Den sydvästra delen av Sudret (56A 2–4j) utgörs av biohermer ("revkalksten") och lagrad krinodéekalksten mellan de olika biohermerna. Den nordostliga utgörs av lerig kalksten med inslag av mägersten, bituminös kalksten och stromatoporoidéekalksten.

Utbredning och tjocklek

Formationen är maximalt ca 40 m tjock. Eriksson & Calner (2007) har visat att Hamraformationen inte finns blottad på uteliggaren vid Burgen (56B 9b) och vid Närsholmen (56B 9e), utan att dess utbredning är begränsad till Sudret.

Sundreformationen

Ålder och stratigrafiskt sammanhang

Sundreformationen avsattes under ludlow och representerar den yngsta berggrunden på Gotland.

Synonymer

Termerna Sundrekalk (Munthe 1921) och Sundrekalksten (Laufeld 1974b) är synonyma med Sundreformationen.

Huvudsaklig litologi

Munthe (1921) delar in Sundreformationen i en "kristallinisk kalksten och revkalksten". Den förra består av en lagrad, mycket grovkornig, ofta rödaktig, krinodéekalksten, som informellt går under namnet "Hoburgsmarmor". Revkalkstenen är de stromatoporoidérika biohermerna som finns på sydvästra delen av Sudret (56A 2–4j).

Utbredning och tjocklek

Sundreformationen finns på Sudret (56A 2–4j) och är ca 10 m mäktig (Laufeld 1974a).



Sveriges geologiska undersökning

Box 670
751 28 Uppsala
Tel: 018-17 90 00
Fax: 018-17 93 70
www.sgu.se

Uppsala 2009
ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-957-6
Tryck: Lenanders Grafiska, 38025