# Resultat från kärnborrning vid Grönhögen Litologisk och geokemisk karaktärisering av berggrundsavsnitt på södra Öland

Mikael Erlström

september 2016

SGU-rapport 2016:15





Omslagsbild: Kärnborrning vid Grönhögen, maj 2015. Foto: Mikael Erlström.

Sveriges geologiska undersökning Box 670, 751 28 Uppsala tel: 018-17 90 00 fax: 018-17 92 10 e-post: sgu@sgu.se www.sgu.se

# INNEHÅLL

Sammanfattning	
English summary	
Inledning och bakgrund	
Tidigare arbeten	
Ölands sedimentära berggrund	
File Haidarformationen	
Borgholmformationen	11
Alunskifferformationen	11
Djupvikformationen	11
Köpingsklintformationen	11
Under- och mellanordoviciska kalkstensformationer	
Kärnborrning vid Grönhögen	
Borrkärnebeskrivning	
Lagerföljden i Segerstads Fyr	
Geofysisk borrhålsloggning	
Resultat från borrhålsloggningen	
Borrkärneskanning med XRF	
Resultat från XRF-skanningen	
Kemisk analys av bulkprov från borrkärnan Grönhögen-2015	
Jämförelse av ICP- och XRF-resultaten	
Sammanfattande kommentarer	
Referenser	28
Bilaga 1	
Kärnfoton, Grönhögen-2015	
Bilaga 2	
Analysprotokoll – bulkkemi, ICP	

#### SAMMANFATTNING

Under våren 2015 utfördes en kärnborrning, Grönhögen-2015, i anslutning till Mörbylånga kommuns vattentäkt i Grönhögen på södra Öland. Borrningen genomfördes som ett samarbete mellan SGU, Mörbylånga kommun och Lunds Universitet. Syftet var förutom kunskapsuppbyggnad att få fram nytt provmaterial för en kemisk karaktärisering av berggrunden. Arbetet har utöver borrning omfattat geofysisk borrhålsundersökning och XRF-skanning av borrkärnan. XRF-resultaten visar på en tydlig variation i förekomsten av olika grundämnen som kan relateras till både stratigrafiska intervall och bergarter. Lagerföljden i det 50,6 m djupa borrhålet består från toppen av 0-7,40 m kalksten (ordoviciska kalkstensformationer), 7,40-9,40 m glaukonitisk kalksten och skiffer (Djupvik och Köpingsklintformationerna), 9,40–32,15 m alunskiffer med orsten och kalksten (Alunskifferformationen). Från 32,15 m ner till totaldjupet på 50,6 m består berggrunden av alternerande lager med siltsten och lersten (Borgholmsformationen). Både lagerföljdens uppbyggnad och den kemiska signaturen i Grönhögenkärnan kan korreleras med resultaten från motsvarande XRF-skanning av SGU-borrkärnan från Segerstads Fyr. Resultaten från den litologiska, geofysiska och kemiska karaktäriseringen av Grönhögen och Segerstadskärnorna bidrar till ökad kunskap av berggrundens uppbyggnad och dess koppling till grundvattenkvaliteten i den öländska berggrunden. Rapporten är en redovisning av uppnådda resultat inom ramen för ett internt FoU-projekt. Eventuella ytterligare studier av borrkärnan från Grönhögen kommer att göras i samverkan med Geologiska institutionen vid Lunds universitet.

### **ENGLISH SUMMARY**

In the spring of 2015 a core drilling, Grönhögen-2015, was performed adjacent to Mörbylånga municipality's groundwater wells at Grönhögen. The well was drilled in cooperation between the Geological Survey of Sweden, Mörbylånga municipality and Lund University. The purpose, in addition to increase the overall knowledge about the subsurface bedrock geology, was to collect new sample material for a chemical characterization of the bedrock. The work has in addition to the core drilling included geophysical borehole logging and a detailed XRF-scanning of the core. The XRF results show a clear variation in the prevalence of various chemical elements that can be linked to both stratigraphic intervals and different rock types. The Grönhögen core consists of the following main stratigrapic intervals: 0–7.40 m Ordovician limestone formations, 7.40–9.40 m glauconitic limestone and shale (Djupvik and Köpingsklint formations), 9.40–32.15 m alum shale with interbeds of anthraconite and limestone (Alum Shale Formation) and 32.15–50.6 m alternating layers of siltstone and claystone (Borgholm Formation). The investigation of the Grönhögen core can be correlated with the results of a corresponding XRF investigation of the core from Segerstads Fyr. The lithological, geophysical and chemical characterization is a first step in building knowledge and data on the subsurface bedrock units in relation to the groundwater situation on Öland. This report presents a summary of the results obtained from an R&D project performed by SGU. Any further studies on the core will be performed in collaboration with the Geological Department at Lund University.

#### **INLEDNING OCH BAKGRUND**

Tillgången på grundvatten i de öländska jordlagren är begränsad till ett fåtal områden där jorddjupen är tillräckligt stora och där det finns isälvsavlagringar eller svallade sandavlagringar med förutsättningar för magasinering av grundvatten. Särskilt för södra Öland är tillgången på grundvatten i jordlagren mycket begränsad. Grundvattenförekomsterna i berggrunden har därför en stor betydelse för Ölands vattenförsörjning, både nu och i framtiden. Merparten av grundvattnet som tas ur berggrunden kommer från den övre delen av den mellankambriska Borgholmformationen (siltstens- och lerstensdominerad berggrund). Vatten tas även från överlagrande överkambrisk–underordovicisk berggrund som består av alunskiffer och kalksten. Kvaliteten på grundvattnet från de olika berggrundsavsnitten varierar beroende på vilka mineral som förekommer naturligt i berggrunden. Speciellt alunskiffern har i vissa intervall höga halter av bl.a. svavel och tungmetaller vilket kan påverka vattenkvaliteten.

Grundvattnet i den öländska berggrunden förekommer främst i brantstående och flacka sprickor, sprick- eller krosszoner samt utmed lagringsplan. Detta skapar komplexa hydrogeologiska förhållanden som gör det svårt att för en enskild brunn förutsäga kapacitet, vattenkvalitet och från vilka djupnivåer (berggrundsavsnitt) vattnet kommer. Ökad kunskap om berggrundens strukturella uppbyggnad (sprickbild, krosszoner, förkastningar, lagring, m.m.) och dess kemiska uppbyggnad krävs för att bättre kunna bedöma grundvattnets förekomst, kvalitet och sårbarhet. Framför allt har kunskap om alunskifferformationens kemiska uppbyggnad och hydrogeologiska egenskaper stor betydelse för en karaktärisering av grundvattenförekomsterna i berggrunden. Eftersom skiffern är industriellt intressant är denna kunskap även viktig för att bedöma effekter på grundvattnet vid eventuell exploatering.

Som ett led i att bygga upp kunskapen kring berggrundens kemiska och fysikaliska uppbyggnad med fokus på grundvattenproblematiken och alunskiffern på södra Öland, har SGU under 2014 och 2015 genomfört ett internt FoU-projekt. Projektet har främst omfattat planering, genomförande och analys av en 50,6 m djup kärnborrning. Borrningen utfördes i anslutning till Mörbylånga kommuns vattentäkt i Grönhögen för att bl.a. kunna jämföra och utvärdera undersökningsresultaten med det kommunala grundvattenuttaget i området (fig. 1). Målet var att få fram färskt kärnmaterial för olika analyser, främst därför att det inte är möjligt att ta ytterligare prover från bevarade borrkärnor från Öland. Ett färskt kärnmaterial ger bättre förutsättningar för beskrivning, provtagning och analys av lagerföljden innan kärnan torkat eller påverkats av oxidering samt sekundära utfällningar, t.ex. av gips.

Den här rapporten sammanfattar resultaten från kärnbeskrivning, geofysisk borrhålsloggning och XRF-skanning av kärnan. I rapporten redovisas även information från en XRF-skanning av SGU-kärnan från Segerstads Fyr. Rapporten ger också en kort beskrivning av tidigare arbeten samt rekommendationer för fortsatta undersökningar.

#### **TIDIGARE ARBETEN**

En första kartläggning av jordlager och berggrund gjordes av SGU i början av 1900-talet (Munthe 1902a, 1902b, Munthe & Hedström 1904, Svedmark 1904). De första undersökningarna av de djupgeologiska förhållandena inkluderade en 100 m djup kärnborrning i Borgholm med syfte att undersöka om berggrunden kunde försörja staden med vatten (Westergård 1929).

Berggrunden på Öland har under lång tid brutits och använts för olika industriella ändamål. Främst har det varit kalksten som brutits för byggnadsändamål och för att framställa bränd kalk. Tillverkning av alun och brytning av alunskiffer på södra Öland var under 1700och 1800-talen en betydande industriell verksamhet. Redan 1723 anlades ett alunbruk i Södra Möckleby och i början av 1800-talet startade Ölands Alunbruk sin verksamhet vid Degerhamn. Här var driften igång till slutet av 1800-talet då bruket alltmer övergick i framställning av bränd kalk.

Från slutet av 1930-talet till slutet av 1970-talet genomfördes ett antal borrningar med fokus på att undersöka alunskifferförekomsterna på ön. Detta gjordes på grund av skifferns höga halt av organiskt material, svavel och uran. Framför allt under 1940-talet var intresset stort för eventuell framställning av skifferolja. I samband med dessa undersökningar utförde SGU fyra kärnborrningar, Ottenby Gård, Gammalsby, Degerhamn och Skärlöv (Westergård 1944, 1947), se figur 1. Förutom dessa borrningar utförde Uppsala universitet sommaren 1948 en kärnborrning



Figur 1. Översiktlig karta som visar placering av de äldre undersökningsborrhålen och de undersökta borrhålen Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr.

genom hela den sedimentära berggrunden ner till underliggande prekambriskt urberg i Böda Hamn (Waern 1952, Hessland 1955). Merparten av kärnorna från dessa borrningar finns arkiverade hos SGU, men är i de flesta fall inte kompletta.

Inför ett planerat kalkstens- och skifferbrott vid Grönhögen genomförde Ytong AB 1957 ett femtontal kärnborrningar genom alunskiffern. De exakta lägena för dessa borrningar är dock osäkra. Information om lagerföljder och vissa kemiska data finns i opublicerade rapporter från Ytonglaboratoriet 1958. Ytong AB gjorde även 1966 ett 99,5 m djupt borrhål i Grönhögen (Bh 101). I SGUs kärnarkiv finns material bevarat från Bh 101.

I början av 1960-talet utreddes möjligheterna till en fast förbindelse mellan St. Rör på Öland och Skäggenäs på fastlandet. I samband med förundersökningar gjordes en 104 m djup kärnborrning vid stranden, ca en kilometer norr om St. Rör. Med hjälp av bidrag från Naturvetenskapliga forskningsrådet kunde borrningen fördjupas ner till 126,5 m djup där det prekambriska kristallina urberget påträffades (Bruun m.fl. 1997). Förutom borrningen vid St. Rör borrades ytterligare ett ca 35 m djupt kärnborrhål vid Ispe Udde strax söder om St. Rör (fig. 1). Endast kärnor från den fördjupade delen av borrningen vid St. Rör finns arkiverade hos SGU. Senare, i samband med projekteringen av Kalmarsundsbron, utfördes i slutet av 1960-talet ett okänt antal, uppemot 30 m djupa kärnborrningar utmed brolinjen i den mellankambriska Borgholmsformationen. Åtta av dessa finns bevarade i SGUs arkiv.

Ölands berggrund har också varit av intresse i samband med oljeprospektering. Redan 1933 utförde AB Elektrisk Malmletning (ABEM) undersökningar och borrningar. Den första borrningen, till 58,75 m djup, borrades på en domliknande struktur vid Mossberga (Westergård 1936), se figur 1. Ytterligare en 111 m djup stötborrning gjordes vid Borgehage söder om Borgholm. I samband med SGUs avslutande oljegeologiska arbeten i Sverige 1969 utförde SGU en 258 m djup kärnborrning genom hela den ordoviciska och kambriska lagerföljden ner till urberget vid Segerstads Fyr. SGU utförde samma år ytterligare åtta grunda kärnborrhål, Horns Udde, Äleklinta, Övre Vannborga, Borgholm, Algotsrum, Vickelby, Bårby och Kastlösa, (fig. 1) med en mindre kärnborrmaskin. Borrdjupen var mellan 7 och 35 m och kärndimensionen 22 eller 44 mm. Kärnmaterial från Segerstads Fyr och de åtta mindre kärnborrhålen finns i SGUs kärnarkiv. Däremot saknas material från ABEMs undersökningar.

Oljeprospekteringsbolagets (OPABs) undersökningar 1972 inkluderade sex djupa borrhål, Löttorp-1, Persnäs-1, Valsnäs-1, Kvinnsgröta-1, Vipetorp-1 och Mossberga-2, (fig. 1). Samtliga slutade i den underliggande prekambriska berggrunden och ger viktig information om den sedimentära berggrundens totala mäktighet under Öland. Borrkärnor från Mossberga-2 och Valsnäs-1 finns i SGUs arkiv. De övriga OPAB-borrhålen är utförda som rotationsborrningar utan kärnprovtagning.

På senare år har Geologiska institutionen vid Lunds universitet utfört en kärnborrning (Tingskullen) till 62 m djup vid Källa Hamn på den nordöstra delen av Öland (Dahlqvist m.fl. 2013).

En sammanställning av de undersökningsborrhål där det antingen finns någon form av geologisk beskrivning (rapport eller publikation) eller bevarat kärnmaterial redovisas i tabell 1. Borrhålslägena visas i figur 1.

Eftersom Sveriges alunskifferförekomster sedan länge varit av stort industriellt intresse finns beskrivningar och undersökningar redovisade i en mängd rapporter och publikationer (t.ex. Dahlman & Eklund 1953, Dahlman 1977). En av de mest omfattande beskrivningarna av alunskiffern finns i Statens industriverks rapportserie (Hessland & Armands 1978). I en serie rapporter redovisas här i detalj alunskifferns förekomst, uppbyggnad, egenskaper och användningsområden med en historisk tillbakablick. Andersson m.fl. (1985) och Buchardt m.fl. (1997) redovisar kompletterade uppgifter om bl.a. alunskifferns mogenhet och kemiska uppbyggnad. Under senare år har framför allt danska geologer gjort uppföljningar av dessa studier (bl.a. Schovsbo 2001, 2002, 2003, Nielsen & Schovsbo 2007).

Borrhål	År	Djup, m	Utförd av	Referens	Bevarat				
					kärnmaterial				
Borgholm	1900	100	SGU	Westergård (1929)					
Mossberga-1	1933	106,2	ABEM	Westergård (1936)					
Borgehage	1933	111	ABEM	Westergård (1936)					
Ottenby Gård	1943	26	SGU	Westergård (1944)	SGU				
Gammalsby	1943	54,5	SGU	Westergård (1944)	SGU				
Degerhamn	1943	12,2	SGU	Westergård (1944)	SGU				
Skärlöv	1946	60	SGU	Westergård (1947)	SGU				
Böda hamn	1948	164	Uppsala Universitet	Hessland (1955)	SGU				
Grönhögen (15 st)	1957	19–32	Uppsala Universitet	Hessland (1955)					
Grönhögen Bh 101	1966	99,5	Ytong	Ytong lab. (1958) (opubl. rapport)	SGU				
St. Rör	1966	127,6	Väg och Vatten- byggarna	Dahlman (1963) (opubl. rapport)	SGU				
Ispe Udde	1966	35	Väg och Vatten- byggarna	Dahlman (1963) (opubl. rapport)					
Kalmarsundsbron	1967	8–28	Skånska Cement	okänt	SGU bh 1, 13, 17–20				
Bårby-1	1968	9,15	Skånska Cement	okänt	SGU bh 1, 13, 17–20				
Kastlösa	1968	11,63	Skånska Cement	okänt	SGU bh 1, 13, 17–20				
Borgholm	1968	25,97	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Horns Udde	1968	14,28	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Äleklinta	1968	24,35	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Övre Vannborga	1968	23,83	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Algutsrum	1969	34,21	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Vickleby	1969	9,2	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Bårby-2	1969	7,9	Skånska Cement	Dahlman (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Segerstads Fyr	1969	258	SGU	Dahlman & Skoglund (1969) (opubl. rapport)	SGU				
Mossberga-2	1972	92,1	OPAB	Grossi (1973)	SGU				
Kvinnsgröta-1	1972	274,8	OPAB	Grossi (1973)					
Persnäs-1	1972	186,2	OPAB	Grossi (1973)					
Löttorp-1	1972	169,2	OPAB	Grossi (1973)					
Valsnäs-1	1972	201,5	OPAB	Grossi (1973)	SGU				
Vipetorp-1	1972	119,5	OPAB	Grossi (1973)					
Tingskullen	2010	62	Lunds Universitet	Dahlqvist m.fl. (2013)	Lunds Universitet				
Grönhögen-2015	2015	50,6	SGU	Den här rapporten	SGU				

Tabell 1. Översiktlig sammanställning av djupa undersökningsborrningar på Öland.

Förutom ovan nämnda arbeten finns information om Ölands berggrund i beskrivningen till den provisoriska översiktliga berggrundskartan över Kalmar (Bruun m.fl. 1997) och den regionala berggrundskartan över Kalmar Län (Wik m.fl. 2005). Information finns även i exkursionsguider (Jaanusson & Mutvei 1982, Stouge 2004), i ett examensarbete (Brådenmark 2013) och i stort antal paleontologiska och sedimentologiska arbeten (t.ex. Tjernvik 1956, Grahn 1980, Nordlund 1989, Nielsen 1995, Löfgren 2000) samt i Stephansson (1971) som beskriver en del berggrundstektonik på Öland.

Ölands grundvattenförhållanden har, förutom i ett femtontal lokala grundvattenutredningar utförda av konsulter (senast Norconsult 2015), beskrivits av SGU i Serie C (Pousette 1974, Pousette & Möller 1971). En hydrogeologisk karta över Ölands Berggrund finns även redovisad som en specialkarta i SGUs Serie Ah 1 (Pousette m.fl. 1981).

#### ÖLANDS SEDIMENTÄRA BERGGRUND

Den paleozoiska sedimentära berggrunden består underst av underkambrisk sandsten (File Haidarformationen), mellankambrisk siltsten och lerskiffer (Borgholmsformationen). Dessa överlagras av Alunskifferformationen av överkambrisk (furongian)–underordovicisk ålder, Djupvik- och Köpingsklintformationerna. Överst finns en under–mellanordovicisk sekvens med ett tiotal kalkstensformationer (fig. 2). Den paleozoiska berggrunden överlagrar det prekambriska urberget och det subkambriska peneplanet med lokala "inselberg" eller restberg som t.ex. Blå Jungfrun och Mossbergadomen.

Som ytberggrund förekommer idag underkambrisk sandsten i ett smalt stråk längs Smålandskusten angränsande till Kalmarsund. Eftersom lagerföljden stupar regionalt 0,2–0,3 grader åt öst och sydöst tilltar den totala mäktigheten samt representationen av successivt yngre lager i samma riktning. På Öland består berggrundsytan i de mer låglänta delarna av ön, väster om den västra landborgens höjdrygg som sammanfaller med den ordoviciska kalkstenens utgående i väster, av mellankambriska lager med siltsten (Borgholmformationen). I landborgens sluttningar västerut påträffas, t.ex. vid Äleklinta och söder om Degerhamn ner mot Ottenby, lager med alunskiffer (Alunskifferformationen) och glaukonitisk kalksten, sandsten och skiffer (Djupvikformationen och Köpingsklintformationen). Sammanlagt är den sedimentära berggrunden som mest ca 250 m mäktig på den sydöstligaste delen av ön. I norr är mäktigheten ca 160 m. I Mossbergadomen påträffas urberget som består av prekambrisk kvartsit redan på ca 70 m djup.

#### **File Haidarformationen**

Den underkambriska lagerföljden är bäst dokumenterad i kärnborrningarna Segerstads Fyr, St. Rör och Böda Hamn (Hessland 1955, Bruun m.fl. 1997, Nielsen & Schovsbo 2011). Formationen inleds i väster (Kalmarsundsområdet) med ett bottenkonglomerat. Österut, på Öland, inleds den av en ca 20 m mäktig hård, gråvit kaolin- och karbonathaltig, kvartssandsten med enstaka tunna lerskikt. Denna följs av en ca 25 m mäktig sekvens med kraftigt omlagrad (bioturberad) lerig sandsten följt av ca 20 m med grå kvartssandsten med lerskikt vars antal och andel ökar uppåt i intervallet. File Haidarformationen indelas av Nielsen & Schovsbo (2011) i Viklausandsten, Närskiffer och Närsandsten (fig. 2). Totalt är underkambrium 109 m respektive 78 m mäktigt i Segerstads Fyr och i Böda Hamn (Bruun m.fl. 1997, Nielsen & Schovsbo 2011).



Figur 2. Schematisk sammanställning av Ölands sedimentära berggrund, stratigrafi, mäktighet och dominerande litologi, exemplifierat av lagerföljden i SGU-borrningen vid Segerstads Fyr. Figuren är delvis baserad på information från Nielsen & Schovsbo (2007).

#### Borgholmformationen

Den mellankambriska Borgholmformationen avgränsas neråt mot underliggande File Haidarformationen av ett par decimeter mäktigt konglomerat med bollar av fosforit och med ett glaukonitiskt matrix. Formationen kan delas in en undre del som består av siltig lerskiffer och lerig siltsten (Grötlingbo och Mossbergaleden, Nielsen & Schovsbo 2011), och en övre del som domineras av ljusgrå finsandig siltsten växellagrad med gröngrå siltig lera (Bårstad och Äleklintaleden, Nielsen & Schovsbo 2007), se figur 2. Siltstensavsnitten är i den övre delen karbonatcementerade. Totalt är Borgholmformationen 106 respektive 50 m mäktig i borrningarna Segerstads Fyr och Böda Hamn.

#### Alunskifferformationen

Alunskifferformationen sträcker sig stratigrafiskt från mellankambriums allra yngsta delar (*Pa-radoxides forschammeri*-etagen) till övre delen av tremadoc i underordovicium. Lagerföljden är inte stratigrafiskt komplett på grund av ett antal stratigrafiska luckor (fig. 2). Speciellt på norra Öland, norrut från Borgholm, är Alunskifferformationen ofullständigt representerad och endast ett fåtal meter mäktig (fig. 1). Oftast består formationen här endast av ett orstenskonglomerat eller tunna skifferlager som representerar en kraftigt kondenserad lagerföljd. Information från brunnsborrningar visar även att formationen lokalt sannolikt saknas på norra Öland. Alunskifferformationen tilltar successivt i mäktighet söderut och är drygt 20 m mäktig i borrningar arna Ottenby Gård och Grönhögen-2015.

Alunskifferformationen avgränsas mot det underliggande Äleklintaledet av ett par decimeter mäktigt fosforitrikt orstenskonglomerat och kalksten representerade *P. forschammeri*-etagen. Westergård (1944) beskriver även att ett halvmeter mäktigt lager med alunskiffer i kärnborrningen vid Ottenby Gård tillhör denna etage. Förutom den rudimentärt utbildade delen som tillhör *P. forschammeri*-etagen består formationen av en överkambrisk (furongian) del, s.k. olenidskiffer, som består av sex biostratigrafiska zoner varav den understa zonen som kännetecknas av trilobiten *Agnostus pisiformis*, utgör en tredjedel av den uppemot 13 m mäktiga kambriska delen av Alunskifferformationen på södra Öland. Den kambriska delen av alunskifferformationen inkluderar förutom avsnitt med svart bituminös skiffer även lager med orsten och bituminös kalksten. Detta är speciellt påtagligt i de övre trilobitzonerna.

Den undre delen av den underordoviciska alunskiffern (dictyonemaskiffern) avskiljs från underliggande olenidskiffer av ett uthålligt orstenslager. Den ordoviciska delen av alunskiffern karaktäriseras av svartbrun skiffer. Den övre delen av den ordoviciska alunskiffersekvensen benämndes tidigare ceratopygeskiffer, men eftersom den inte kan avskiljas litologiskt från underliggande alunskifferlager förs denna del numera till alunskifferformationen. Som mest är den ordoviciska alunskiffersekvensen omkring 10 m mäktig på södra Öland.

#### Djupvikformationen

Alunskifferformationen avgränsas uppåt av Djupvikformationen som karaktäriseras av glaukonitisk sandsten, siltsten och kalksten (Stouge 2004). Lokalt påträffas även decimetertjocka lager med mörkbrun och svart skiffer. Formationen består av decimetertjocka lager åtskiljda av undulerande lagringsplan som skär ner i underliggande lager. Djupvikformationen är cirka 1,5 m mäktig på norra Öland medan den i söder endast är några decimeter mäktig. Formationen har i äldre arbeten stratigrafiskt definierats som en del av ceratopygeskiffern.

#### Köpingsklintformationen

Litologiskt skiljer sig formationen från den underliggande Djupvikformationen genom att den består av finkristallin kalksten med hög halt av pyrit och glaukonit. Kalkstenslagren är ofta om-

kristalliserade och innehåller då centimeterstora kalcitkristaller. Förutom kalksten finns skikt och lager med glaukonitisk sand. Det tydliga inslaget av glaukonit i formationens bergarter särskiljer den även från det överlagrande kalkstenslagret som tillhör Bruddestaformationen. Formationen är 0,85 m i typsektionen vid Köpingsklint (van Wamel 1974). På södra Öland är den, bl.a. i borrningen vid Ottenby Gård, 2 m mäktig (Tjernvik 1956, Stouge 2004). Formationen är ekvivalent med Bjørkåsformationen i Osloregionen och förs till undre delen av Latorpetagen.

#### Under- och mellanordoviciska kalkstensformationer

Indelningen av den ordoviciska kalkstenen på Öland baseras på variationer i färg, kornstorlek och ålder utifrån fossilinnehållet. Typiskt för kalkstenen är att den innehåller fossil av ortocertiter och trilobiter. En riklig förekomst av undulerande skiktytor (diskontinuitetsytor) som indikerar avbrott i sedimentationen eller kemisk upplösning av kalkstenen är också kännetecknande för de ordoviciska kalkstenslagren på Öland. Kalkstenen är som mest ca 20 m mäktig i sydost och 30 m i nordost, där även de yngsta ordoviciska kalkstensenheterna påträffas. I området kring Grönhögen finns 6–7 m underordovicisk kalksten som överlagrar Köpingsklintformationen. Arbeten med att stratigrafiskt och litologiskt indela kalkstenssekvensen i Grönhögenkärnan pågår. Sannolikt är den likartad med den undre delen av kalkstenssekvensen i Degerhamnsborrningen (Stouge 2004, fig. 2)

#### KÄRNBORRNING VID GRÖNHÖGEN

Grönhögens kommunala vattentäkt ligger i anslutning till Grönhögens stenbrott. Stenbrottet är till största delen vattenfyllt. Ytong avslutade brytningen 1971, men en brytning av kalkstenen i mindre skala av en lokal entreprenör pågår i den östra delen. Den kommunala vattentäktens brunnar är placerade i den västra delen. Samtliga brunnar går ner till ca 50 m djup under markytan. I samråd med Mörbylånga kommun placerades den nya borrningen i den nordnordöstra delen av kommunens fastighet, öster om befintliga grundvattenbrunnar och norr om stenbrottet (fig. 3). I samråd med kommunen beslutades att borrningen inte skulle bli djupare än befintliga brunnar i området för att minimera risken att nå ner i salt grundvatten.

Borrningen finansierades av SGU, Geologiska institutionen vid Lunds universitet och Mörbylånga kommun. Borrningen utfördes med den s.k. Riksriggen, av fabrikatet Atlas Copco CT20C (fig. 4). Riggen är finansierad med stöd från Vetenskapsrådet och används för kärnborrning vid geovetenskapliga undersökningar. Driften av riggen sköts av Avdelningen för teknisk geologi vid Lunds Tekniska Högskola.

Borrningen startade med kärnborrdimension P, vilket är den största kärnborrdimensionen som Riksriggen kan hantera, med så kallad *"triple tube"*-teknik. Man får då en håldiameter på ca 123 mm och en kärna på 83 mm. P-dimensionen användes ner till 15 m. Avsnittet från markytan ner till 15 m djup infodrades sedan med HWT-casing (101 mm ID) och borrningen fortsatte därefter med kärnborrdimension H, som ger en håldiameter på 96 mm och en kärndiameter på ca 61 mm (tabell 2). Totaldjupet för borrningen är 50,6 m, dvs. ungefär samma djup som befintliga grundvattenbrunnar inom Grönhögens kommunala vattentäkt. Den grövre foderrörsklädda övre delen av brunnen möjliggör montering av en tre tums sänkpump vilket gör att den kan ingå som en uttagsbrunn i den kommunala brunnsparken i Grönhögen.

Borrningen resulterade i en stort sett komplett kärna för hela det borrade avsnittet. Kärnförlusterna var endast några få procent.



• Kommunala brunnar i vattentäkten

Figur 3. Översiktlig karta som visar placeringen av kärnborrningen (Grönhögen-2015) i förhållande till befintliga grundvattenbrunnar och Grönhögens bergtäkt.



Figur 4. Borriggen vid borrplatsen i Grönhögen, maj 2015. Foto: Mikael Erlström.

Koordinater, WGS 84, decimal	Lat: 56,272932 Long: 16,412024
Beställare	SGU
Utförare	LTH, Teknisk Geologi
Djup, m under markytan	50,6 m
Dimensioner (borrhål/kärna)	0–15 m: 123/83 mm
	15–50,6 m: 96/61 mm
Foderrör, djup/dimension	15 m/101 mm ID
Geofysisk borrhålsloggning	0–50,45 m: Naturlig gamma, Temperatur
	15–50,45 m: Naturlig gamma, Resistivitet,
	SP, Temperatur, Acoustic Televiewer
Utförare av borrhålsloggning	P.G. Alm LTH, Teknisk geologi

Tabell 2. Sammanställning av borruppgifter för borrningen i Grönhögen.

# Borrkärnebeskrivning

Nedan följer en översiktlig bergartsbeskrivning av borrkärnan. Arbeten som innefattar mer detaljerade sedimentologiska, biostratigrafiska och mineralogiska studier pågår. Dessa utförs i samverkan med Geologiska institutionen vid Lunds universitet. Fotografier på borrkärnan redovisas i bilaga 1.

0–7,40 m	Ortocerkalksten, grå, röd, brokigt färgad, tät, finkristallin kalksten, innehåller
	rikligt med diskontinuitetsytor (upplösningsytor) med 5–20 cm intervall, fossil-
	rik (ortoceratiter).
7,40–9,4 m	Brun–grå kalksten med glaukonit och pyrit följt av oregelbundna lager med glau-
	konitisk karbonathaltig sandsten och siltsten, lerig ljusgrå kalksten och brunsvart
	lerskiffer. Gradvis ökat innehåll av glaukonit neråt.
9,4–15,4 m	Brunsvart alunskiffer, förekomst av en till fem centimeter stora oregelbundet
	formade pyritnoduler. Mellan 13,0 och 13,7 m förekommer ett avsnitt med grov-
	kristallin, gråsvart, bituminös kalksten/orsten.
15,4–17,6 m	Tunnskiffrig alunskiffer, gråsvart, inslag av finsandig brunaktig skiffer
	(15,6–15,8 m och 17,1–17,6 m). Svart bituminös och tunnskiffrig alunskiffer
	mellan 16,0 och 17,1 m.
17,6–19,9 m	Mörkgrå–svart alunskiffer.
19,9–25,6 m	Avsnitt som domineras av bituminös kalksten och orsten, mellanlagrade av svart
	alunskiffer. Orstensnivåerna innehåller lokalt centimeterstora ljusgrå–vita kalcit-
	kristaller och kalcitfyllda undulerande, dendritiska, upp till centimeterbreda
	sprickor. Rikligt med pyrit.
25,6–30,0 m	Svart homogen alunskiffer med enstaka decimetertjocka mörkgrå kalkstenslager.
	Rikligt med pyrit.
30,0–31,9 m	Mörkgrå, siltig och karbonathaltig skiffer och grå kalksten.
31,9–32,2 m	Grå konglomeratisk kalksten (Exporrectakonglomeratet).
32,2–50,6 m	Växellagrat intervall med 2–5 cm tjocka, undulerande lager med mörkgrå–brun–
	ljusgrå karbonathaltig siltsten/finkornig sandsten och brun–mörkgrön–mörkgrå
	lersten eller lerskiffer. Siltstens- och sandstensavsnitten är ofta svagt korsskiktade.
	Förekomst av enstaka centimeterstora pyritnoduler i övre delen av intervallet där
	karbonathalten är som högst. Horisontella och undulerande grävspår förekom-
	mer frekvent, liksom decimetertjocka lager av kraftigt omlagrad (bioturberad)
	slamsten.

#### LAGERFÖLJDEN I SEGERSTADS FYR

Borrkärnan från Segerstads Fyr är tidigare endast översiktligt beskriven i en opublicerad SGUrapport av Dahlman & Skoglund (1969). I den här studien har beskrivningen av intervallet, som innefattar alunskifferformationen, uppdaterats i samband med XRF-skanningen. Borrningen ligger strax nordost om Grönhögen på Ölands östra sida. Alunskifferformationen påträffas här på något större djup och är också något tunnare, ca 17 m, jämfört med ca 22 m i Grönhögen-2015. Det är främst den kambriska delen av formationen som är tunnare. Djupvik- och Köpingsklintformationerna är också något tunnare i Segerstadsborrningen. Lagerföljden är förutom viss skillnad i mäktighet likartad med den i Grönhögen-2015. Det finns dock skillnader i antalet orstens- och kalkstenslager i de båda borrningarna. En översiktlig jämförelse och korrelation av lagerföljderna i Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr illustreras i figur 5.

# GEOFYSISK BORRHÅLSLOGGNING

Direkt efter att borrningen av Grönhögen-2015 avslutats genomfördes en geofysisk borrhålsloggning. Den omfattade mätning av naturlig gammastrålning, självpotential (SP), resistivitet och temperatur. Dessutom utfördes en undersökning av borrhålsväggen med en *Acoustic Televiewer*. Eftersom borrhålet var klätt med foderrör till 15 m djup har endast mätning av den naturliga gammastrålningen utförts i intervallet 0–15 m. Gammastrålningen dämpas något av foderröret, men sonden kan fortfarande registrera avvikelser i den bakomliggande berggrunden. I intervallet 15–50,45 m har mätningarna omfattat samtliga metoder.

Den naturliga gammastrålningen i berggrunden beror på förekomsten av kalium, torium och uran. I sedimentär berggrund förekommer dessa grundämnen huvudsakligen i olika lermineral och fältspater. Kalksten och kvartssandsten uppvisar därför vanligtvis låga gammastrålningsnivåer medan lersten och skiffer ger relativt högre naturliga nivåer. Alunskiffer som innehåller uran ger följaktligen generellt mycket höga strålningsnivåer. Resultaten från gammaloggningen används därför allmänt för att identifiera variationer i lerhalt kopplat till en bedömning av förekommande bergarter, lagergränser och formationsavgränsningar.

De elektriska loggarna (SP och resistivitet) kan i motsvarande grad som gammaloggen ge information om lagergränser. Framför allt ger loggarna information om vattenförande permeabla zoner och formationsvätskans sammansättning, t.ex. saltvattenförekomst. Resistiviteten redovisas som två kurvor som motsvarar olika djup i formationen, sedda horisontellt ut från borrväggen.

Mätning med *Acoustic Televiewer*, *Robertson Geologging Ltd.*, ger en kontinuerlig orienterad akustisk bild av borrhålsväggen. Sonden har en fast akustisk omvandlare och använder en roterande spegel för att skanna borrhålsväggen med hjälp av en ultraljudsstråle. Ultraljudspulserna reflekteras från borrhålsväggen och den reflekterade energin registreras avseende amplitud och responstid. Amplituden för den återvändande pulsen är en funktion av borrhålsväggens reflexionsförmåga, dvs. indirekt hårdhet eller homogenitet. Amplitud och responstid kan redovisas som 3D-rasterbilder av borrhålsväggen. Resultaten ger information om in situ förhållanden i borrhålväggen som t.ex. lagring, sprickzoner och hårdhet.

#### Resultat från borrhålsloggningen

På Öland har uranhalter på uppemot 100 ppm påvisats i alunskiffern (Dahlman 1977). Mätresultat från Grönhögen visar att alunskifferavsnittet allmänt genererar mycket höga strålningsnivåer. Haltvariationer kan kopplas till skillnader i avsättningsmiljön, organiskt halt och förekomsten av orstens- och kalkstenslager (Hessland & Armands 1978, Schovsbo 2002). Kalkstens- och orstensnivåerna uppvisar generellt lägre strålningsnivåer. De högsta värdena på den naturliga gammastrålningen uppmättes i den övre delen av den kambriska alunskiffern, på ca 21 m och 24 m djup.





Figur 6. Loggpanel med kurvor för naturlig gamma, SP och temperatur (vänstra diagramkolumnen) samt kurvor för tre resistivitetsloggar med olika mätområde från borrhålväggen.

De överliggande ordoviciska kalkstensformationerna och den underliggande mellankambriska Borgholmformationen uppvisar generellt mycket låga strålningsnivåer (fig. 6 och 7).

Mätningarna ger allmänt en relativt hög resistivitet för alunskiffern. Från ca 30 m djup faller kurvan tydligt mot lägre värden vilket troligen inte enbart beror på en förändring från skifferdominerad till siltstensdominerad berggrund, utan sannolikt också beror på ökat vatteninnehåll i formationen. Resistiviteten minskar sedan successivt svagt neråt i borrhålet, eventuellt till följd av ökande salthalt. Någon uppgift om kloridhalterna i vattnet finns dock inte eftersom några vattenanalyser ännu inte gjorts.

Resultaten från mätningarna med *Acoustic Televiewer* visar en mycket detaljerad bild av lagerföljden i borrhålsväggen och förekomsten av spruckna partier. Resultaten visar var det kan finnas hydrauliskt konduktiva sprickor i borrhålsväggen. Speciellt i övergången mellan alunskiffern och den underliggande Borgholmformationen framträder en större sprickzon (fig. 7). Det framträder även ett antal tydligt uppspruckna partier i anslutning till kalksten och orstenslagren mellan 21 och 28 m djup. Rasterbilden från *Acoustic Televiewer* har också använts för en exakt



Figur 7. Översikt av berggrundens uppbyggnad, tillsammans med kurvan för den naturliga gammastrålningen och resultatet från mätningar med *Acoustic Televiewer*. Längst till höger illustreras en tolkning av förmodat vattenförande lagringsplan och sprickzoner.



Figur 8. Jämförelse mellan bilden från Acoustic Televiewer och sammanfogade kärnfoton av den upptagna kärnan.

djupkorrelation av den upptagna kärnan. I figur 8 illustreras hur väl resultaten från mätningarna med *Acoustic Televiewer* överensstämmer med kärnans utseende. Partier med kärnförluster kan vid en jämförelse lokaliseras och kvantifieras så att det går att bestämma exakta djup för t.ex. kalksten- och orstenslagren. Detta är en fördel eftersom det kan vara svårt att göra det på borrkärnan då denna oftast är fragmenterad och påverkad av förluster.

#### BORRKÄRNESKANNING MED XRF

Fördelningen av ett trettiotal grundämnen i alunskiffersekvensen har analyserats med hjälp av röntgenfluorescens (XRF). För ändamålet har en borrkärneskanner, *Itrax corescanner – Cox Analytical*, använts. Analysen har utförts av ALS Minerals i Malå. Analyserna har vidare utvärderats i samverkan med Cox Analytical i Mölndal och Geologiska institutionen i Lund. Borrkärnor från alunskiffersekvensen i Segerstads Fyr och Grönhögen-2015 borrningarna har undersökts. I Grönhögenborrningen kunde dock inte det övre borrkärneintervallet till 15 m djup undersökas eftersom kärnan har för stor diameter för att kunna monteras i Itrax-skannern.

*Itrax corescanner* är ett analysinstrument för vetenskaplig skanning av borrkärnor. Framför allt har metoden använts på urbergskärnor och kvartära sediment. Sedimentär berggrund har i mycket liten omfattning hittills analyserats i Sverige. Metoden kombinerar XRF och optisk avbildning och ger en detaljerad geokemisk karaktärisering av borrkärnan. Upp till 1,75 m långa prover kan skannas längs hela sin längd. Analysen görs stegvis med ett stegavstånd från någon centimeter ner till 0,1 mm. Med en pulsfrekvens på upp till 300 000 pulser per sekund krävs mindre än 10 s registreringstid för varje steg.

Samtidigt med XRF-skanningen fotograferas kärnan med en RGB-kamera. Detta ger en översikt över provytan med hög upplösning. *Itrax corescanner* gör det möjligt att analysera nästan alla grundämnen kostnadseffektivt. Grundämmen som är tyngre än aluminium kan bestämmas kvantitativt. Vid skanningen av Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr analyserades över 30 olika grundämnen, inkluderande Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, P, Cl, S, Mn, Rb, Sr, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Br, Y, Zr, Mo, Nb, Ba, Pb, Th och U.

Skanningen kan dock endast utföras på sammanhängande och relativt homogena kärnintervall. Proceduren vid skanning är att borrkärnan från respektive kärnlådefack förs över till en stålränna som monteras i XRF-skannern. Partier med kraftigt fragmenterade kärnor och dåligt konsoliderat kärnmaterial tas inte med. Optimalt är kärnan i ett borrkärnefack 1 m lång, men när kärnan är i dåligt skick kan den del som kan skannas vara betydligt kortare. För Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr har det medfört att det sällan varit kompletta enmetersintervall som skannats. XRF-resultaten redovisas för respektive borrkärnefack med foto och kvantitativa analysdata i Excel-format för varje stegintervall från 0,0 till optimalt 100,0 cm. För att kunna knyta ihop delresultaten från varje fack till en sammanhängande sekvens för hela borrhålet med korrekt djup (fig. 9–11), där även hänsyn tas till kärnförluster, har en djupkorrelation gjorts med stöd av borrkärnefoton, borrkärnekartering, borrhålsgeofysik och litologiska referensnivåer, t.ex. kalkstenlager och orstensnivåer. För Grönhögen-2015 har resultatet från *Acoustic Televiewer* visat sig vara mycket användbart för djupkorrigering av XRF-resultaten.

Normalt sett redovisas kvantitativa medelvärden för varje borrkärnefack, dvs. beräknat på resultaten av XRF-skanning av optimalt 1 m kärna. När man skannar en lagrad sedimentär berggrund med lagertjocklekar som är mindre än 1 m ger en kvantifiering på meterskala ofta en felaktig bild av de geokemiska förhållandena för respektive lager. Det medför att den önskade karaktäriseringen av den kemiska förändringen för en växellagrad eller alternerande lagersekvens ofta inte framträder med ett medelvärdesintervall på 1 m. I den här undersökningen har därför en kvantifiering i stället gjorts för varje mätsteg, dvs. varje centimeter. Enligt Cox Analytical blir kvantifieringen då kvalitativt sämre eftersom mätresultaten från enskilda punkter kan vara felaktiga p.g.a. kärnans kondition m.m. Fördelen med en kvantifiering för varje mätsteg är att det lättare går att identifiera tunnare lager och intervall med likartad eller avvikande kemiska signatur. Även om kvantifieringen per steg inte är lika exakt som en medelvärdesberäkning på ett större intervall ger den vid en grafisk presentation ändå förutsättningar för en kemostratigrafisk indelning av den sedimentära lagerföljden i Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr.

#### Resultat från XRF-skanningen

Sammanställningen av XRF-resultaten från borrkärnorna från Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr (fig. 9–11) visar på tydliga kemiska haltförändringar av flertalet grundämnen som kan kopplas till variationer i lagerföljdens uppbyggnad. Den kemiska signaturen av det undersökta intervallet är likartad i båda borrningarna och indikerar att förändringarna är knutna till stratigrafiskt avgränsade berggrundsavsnitt med samma uppbyggnad.

Sekvensen från den understa delen av den ordoviciska kalkstenssekvensen till den översta delen av den mellankambriska Borgholmformationen kan delas in i sex kemostratigrafiska zoner (A–F). I tabell 3 redovisas medelvärden från XRF-analysen för de olika zonerna.

- Zon A: Ordovicisk kalksten: Relativt homogen karbonatrelaterad kemi med höga kalciumhalter och låga halter av kisel och aluminium samt låga halter av tungmetaller.
- Zon B: Glaukonitisk kalksten, siltsten och skiffer: Heterogen kemisk uppbyggnad med varierande halter av kalcium, aluminium och kisel. Generellt relativt höga halter av järn, som kan knytas till riklig förekomst av mineralet glaukonit.
- Zon C: Underordovicisk alunskiffer: Karaktäriseras av höga halter av lermineralrelaterade grundämnen som aluminium, kisel och kalium. Förekomst av pyrit återspeglas i höga halter av svavel och relativt höga järnhalter. Signifikant är att avsnittet uppvisar relativt höga halter vanadin, molybden, nickel, zink, arsenik och uran.
- Zon D: Bituminös kalksten, orsten, alunskiffer: Mycket varierande kemisk uppbyggnad med både karbonat och skifferrelaterade kemiska signaturer. Anmärkningsvärt är att avsnittet i jämförelse med zon C uppvisar mycket låga vanadin-, nickel-, krom- och zinkhalter. Gränsen mellan zon C och D sammanfaller sannolikt med gränsen mellan kambrium och ordovicium.
- Zon E: Alunskiffer med tunna kalkstenslager: Karaktäristiskt för zonen är höga svavel-, järnoch arsenikhalter i förhållande till övriga zoner. Svavelhalten varierar mellan 10 och 15 % och arsenikhalten är i vissa nivåer så hög som 200–250 ppm. Uranhalten är i denna zon lägre än i zon C och D.
- Zon F: Siltig skiffer, siltsten, lerskiffer: Den kemiska signaturen karaktäriseras av grundämnen relaterade till variationer i andelen kvarts och lermineral samt förekomsten av karbonatcement. Tungmetallhalterna är generellt lägre än i zonerna B–E (tabell 3).

Zon	Dominerande	SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	S	V	As	As U		Zn	Cr
	bergart	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A	Ortocer- kalksten	12,4	5,3	0,7	1,1	38,4	0,2	-	-	-	59,0	56,0	48,0
В	Glaukonitisk kalksten, skiffer och siltsten	27,7	7,3	1,9	7,0	32,1	0,6	127,0	2,0	-	56,0	69,0	125,0
С	Alunskiffer	37,0	10,4	3,7	3,5	0,9	3,1	1940,0	32,0	39,0	569,0	618,0	31,0
D	Bituminös kalksten, orsten och alunskiffer	16,9	6,8	2,8	5,9	32,8	7,2	572,0	146,0	72,0	159,0	76,0	99,0
E	Alunskiffer	36,7	9,73	4,2	12,4	2,3	11,9	346,0	177,0	27,0	128,0	163,0	94,0
F	Siltsten, lerskiffer	69,3	10,3	2,5	3,0	6,0	1,7	100,0	18,0	24,0	104,0	51,0	395,0

Tabell 3. Översikt av medelvärden för halterna av några grundämnen för de identifierade zonerna A–F. Medelhalterna är baserade på kvantifierade metersintervall från XRF-skanningen från Segerstads Fyr (zonerna A–C) och Grönhögen-2015 (zonerna D–F).



Figur 9. Sammanställning av XRF-resultat från borrkärneskanning av Segerstads Fyr (överst) och Grönhögen-2015 (nederst). För Grönhögen-2015 redovisas även en kurva för den naturliga gammastrålningen.





Figur 10. Sammanställning av XRF-resultat från borrkärneskanning av Segerstads Fyr (överst) och Grönhögen-2015 (nederst).





Figur 11. Sammanställning av XRF-resultat från borrkärneskanning av Segerstads Fyr (överst) och Grönhögen-2015 (nederst).

## KEMISK ANALYS AV BULKPROV FRÅN BORRKÄRNAN GRÖNHÖGEN-2015

Tio bulkprov på kärnmaterial från olika nivåer och zoner har analyserats med hjälp av ICP-MS och ICP-AES (*inductive coupled plasma mass spectrometry* och *atom emission spectrometry*). Proven som analyserats representerar 2–5 cm långa kärnbitar. Analysen har kombinerats med bestämning av svavel- och kolhalterna med hjälp av analys i en förbränningsugn (Leco). Analyserna har utförts av ALS Minerals. Analyspaketet omfattar de flesta grundämnen inklusive sällsynta jordartsmetaller. Syftet med analysen har varit att jämföra XRF-resultaten med en detaljerad analys med ICP-tekniken.

Resultaten redovisas i bilaga 2. En sammanställning av utvalda grundämnen redovisas i tabellerna 4 och 5.

Djup, m	Zon	Bergart	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe₂O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na₂O	K₂O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	С	S
7,66	В	Brun lerskiffer	58,1	16,5	5,5	4,1	2,1	0,3	4,4	0,9	0,3	1,0	0,9
8,22	В	Glaukonitisk kalksten	27,9	5,0	16,2	22,2	2,7	0,1	3,5	0,1	0,1	6,3	2,0
11,1	С	Brunsvart alunskiffer	56,1	15,8	5,2	0,8	1,8	0,3	4,6	0,9	0,3	8,5	2,1
15,7	С	Tunnskiffrig svart alun- skiffer	52,9	15,4	4,6	0,27	1,6	0,2	5,3	0,8	0,1	11,0	2,5
20,48	D	Bituminös kalksten/ orsten	4,8	1,9	1,4	50,1	0,4	0,2	0,8	0,1	0,1	12,1	1,0
23,34	D	Alunskiffer	45,3	13,9	13,0	0,4	1,0	0,1	4,6	0,7	0,1	10,3	9,8
25,5	D	Bituminös kalksten/ orsten	3,6	1,02	1,0	52,6	0,7	0,2	0,6	0,1	0,1	12,0	0,6
27,6	Е	Alunskiffer	43,7	12,5	13,2	0,8	1,2	0,2	4,1	0,7	0,1	10,3	11,3
29,96	Е	Alunskiffer	41,1	12,7	15,2	1,8	1,2	0,2	3,4	0,7	0,2	8,8	12,2
31,15	F	Lerskiffer/ siltsten	57,7	19,1	7,1	0,2	1,8	0,1	5,0	1,0	<0,1	1,3	2,8

Tabell 4. Sammanställning av resultat från ICP-MS/AES och spektrometeranalys av bulkprov från borrkärnan i Grönhögen-2015. Halterna är angivna i procent.

Tabell 5. Sammanställning av resultat från ICP-MS/AES analys av bulkprov från borrkärnan i Grönhögen-2015. Halterna är angivna i ppm.

Djup, m	Zon	Bergart	V	As	U	Zn	Cr	Со	Cu	Ni	Pb	Cd	Hg
7,66	В	Brun lerskiffer	129	4	8	45	90	12	33	29	7	0,6	0,01
8,22	В	Glaukonitisk kalksten	42	71	1	12	70	33	20	13	11	0,5	0,02
11,1	С	Brunsvart alunskiffer	1740	44	35	252	120	12	188	197	48	4,5	0,13
15,7	С	Tunnskiffrig svart alun- skiffer	3990	70	80	1640	120	14	214	394	58	38,1	0,23
20,48	D	Bituminös kalksten/ orsten	119	27	53	12	10	7	27	21	2	0,7	0,08
23,34	D	Alunskiffer	710	216	83	117	70	35	241	143	31	1,8	0,47
25,5	D	Bituminös kalksten/ orsten	38	10	11	15	10	5	11	2	<2	0,6	0,02
27,6	Е	Alunskiffer	358	>250	40	121	70	49	192	110	29	1,1	0,45
29,96	Е	Alunskiffer	300	228	36	235	60	47	195	96	27	0,8	0,37
31,15	F	Lerskiffer/ siltsten	232	26	5	73	100	25	36	46	65	<0,5	0,03

#### JÄMFÖRELSE AV ICP- OCH XRF-RESULTATEN

XRF-halterna, som i det här fallet representerar varje centimeter av kärnan, uppvisar ofta en större variation på grund av bergartens lagring, laminering, skiktning, konkretioner, större spridda mineralkorn samt mineraliseringar. ICP-analysen ger däremot ett värde som representerar ett medelvärde för en större kärnvolym på motsvarande avsnitt. Att XRF-analysen är utförd på kärnans yta kan också bidra till att halterna skiljer sig åt. För en mer precis utvärdering av ICP- och XRF-analyserna bör halterna härröra från en större kärnvolym respektive ett längre kärnintervall.

Halterna för ett antal grundämnen som analyserats med ICP samt förbränningsugn (svavel) jämförs med XRF-resultaten i tabell 6. XRF-halterna i tabellen representerar medelvärdestal för ett intervall med samma bergarter som motsvarar det parti där bulkprovet tagits från. Medel värdesberäkningen av XRF-data är gjord på minst 20 cm långa borrkärneintervall med en enhetlig litologisk uppbyggnad. Eftersom övre delen av Grönhögen-2015-kärnan inte XRFskannats är värdena från zonerna B och C jämförda med data från motsvarande zoner i kärnan från Segerstads Fyr. Resultaten från provet 7,66 m i Grönhögen-2015 med brun lerskiffer har inte kunnat jämföras med Segerstads Fyr eftersom motsvarande lager saknas. Eftersom värdena från XRF-skanningen baseras på medelvärden samt att data från lagerföljden i Segerstads Fyr använts, ger jämförelsen endast en grov bild av skillnaderna av halterna mellan de olika metoderna.

Jämförelsen indikerar att SiO<sub>2</sub>-halterna från XRF-analysen för de fem alunskifferproven från zonerna C, D och E ligger avsevärt lägre jämfört med ICP-värdena. Även halten av Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ligger generellt något lägre medan halterna för övriga element i stort sett överensstämmer. Orsaken till varför alunskiffern ger lägre värden är inte klarlagt. Eventuellt kan höga halter av organiskt material i alunskiffern påverka XRF-analysen.

Även om jämförelsen är översiktligt gjort visar den ändå att XRF-analysen, som är en passiv och snabb metod med mindre mätnoggrannhet, ger haltnivåer för flertalet grundämnen som i många fall väl överensstämmer med en högkvalitativ kemisk analys av bulkprov på bergarten.

Djup, m	Zon	Bergart	SiO <sub>2</sub>	XRF	$AI_2O_3$	XRF	$Fe_2O_3$	XRF	CaO	XRF	K <sub>2</sub> O	XRF	S	XRF
7,66	В	Brun lerskiffer	58,1	-	16,5	-	5,5	_	4,1	-	4,4	-	0,9	-
8,22	В	Glaukonitisk kalksten	27,9	30,0	5,0	7,8	16,2	7,3	22,2	28,9	3,5	2,5	2,0	0,9
11,1	С	Brunsvart alunskiffer	56,1	44,8	15,8	11,8	5,2	4,0	0,8	1,2	4,6	4,3	2,1	2,9
15,7	С	Tunnskiffrig svart alun- skiffer	52,9	44,6	15,4	14,7	4,6	4,5	0,3	0,5	5,3	4,5	2,5	2,7
20,48	D	Bituminös kalksten/ orsten	4,8	8,9	1,9	5,7	1,4	1,4	50,1	50,6	0,8	0,3	1,0	2,1
23,34	D	Alunskiffer	45,3	29,6	13,9	9,3	13,0	12,1	0,4	3,7	4,6	4,4	9,8	13,5
25,5	D	Bituminös kalksten/ orsten	3,6	7,2	1,0	5,7	0,95	0,9	52,6	52,2	0,6	<0,1	0,6	1,6
27,6	Е	Alunskiffer	43,7	23,5	12,5	8,6	13,2	15,5	0,8	4,4	4,1	3,6	11,3	16,3
29,96	E	Alunskiffer	41,1	28,1	12,7	10,1	15,2	14,7	1,8	4,9	3,4	3,4	12,2	15,1
31,15	F	Lerskiffer/ siltsten	57,7	54,6	19,1	15,2	7,1	7,2	0,2	0,5	5,0	4,7	2,8	5,0

Tabell 6. Sammanställning av jämförande analysdata från ICP- och XRF-metoderna. Svavelhalten i bulkprove
är analyserad med förbränningsugn (Leco). Halterna är angivna i procent.

Djup, m	Zon	Bergart	V	XRF	As	XRF	U	XRF	Ni	XRF	Zn	XRF	Cr	XRF
7,66	В	Brun ler- skiffer	129	-	4	-	8	-	29	-	45	-	90	-
8,22	В	Glaukonitisk kalksten	42	73	71	14	1	30	13	83	12	51	70	158
11,1	С	Brunsvart alunskiffer	1740	1492	44	30	35	29	197	342	252	628	120	110
15,7	С	Tunnskiffrig alunskiffer	3990	1917	70	31	80	58	394	612	1640	1058	120	94
20,48	D	Bituminös kalksten/ orsten	119	144	27	36	53	43	21	116	12	63	10	36
23,34	D	Alunskiffer	710	467	216	152	83	71	143	156	117	79	70	110
25,5	D	Bituminös kalksten/ orsten	38	56	10	8	11	18	2	58	15	72	10	23
27,6	Е	Alunskiffer	358	276	>250	207	40	41	110	112	121	169	70	95
29,96	E	Alunskiffer	300	281	228	177	36	25	96	103	235	165	60	107
31,15	F	Lerskiffer/ siltsten	232	104	26	40	5	12	46	84	73	95	100	145

Tabell 6 (forts.). Sammanställning av jämförande analysdata från ICP- och XRF-metoderna. Halterna är angivna i ppm.

I många fall ger XRF-resultaten haltnivåer som överensstämmer med ICP-resultaten, men ändå bedöms metoden, för den här typen av berggrund, vara mest lämpad för kemostratigrafiska karaktäriseringar. I samband med sådana karaktäriseringar är de relativa förändringarna mer intressanta än de exakta halterna.

#### SAMMANFATTANDE KOMMENTARER

Undersökningarna av kärnborrningarna Grönhögen-2015 och Segerstads Fyr har resulterat i kompletterande information om framför allt alunskifferformationens uppbyggnad på södra Öland. XRF-skanningen av borrkärnorna har för första gången gett en detaljerad bild av berggrundens kemiska uppbyggnad på djupet. Den kemiska signaturen för olika lager skiljer sig markant åt. Kraftigt förhöjda halter av tungmetaller som t.ex. arsenik, zink, nickel och krom kan korreleras till specifika lager och stratigrafiska nivåer inom alunskifferformationen. Även avsnitt med kraftigt förhöjda halter av svavel och uran har påvisats. Jämförelser visar att zonerna med likartad kemisk signatur kan korreleras mellan de undersökta borrkärnorna. Variationen av den kemiska signaturen kan även korreleras till olika stratigrafiska avsnitt. Med utgångspunkt från detta finns det förutsättningar att förutsäga djupnivåer med risk för sämre grundvattenkvalitet och att förebygga eventuella problem genom t.ex. anpassad borrhålsdesign för grundvattenbrunnar.

Studien har fokuserat på att få nytt kärnmaterial och testa XRF-skanning för en kemostratigrafisk karaktärisering av alunskifferformationens uppbyggnad. Speciellt har halterna av tungmetaller, järn, svavel och uran i alunskiffern undersökts eftersom dessa bedöms kunna påverka grundvattnets kvalitet negativt. Studien har ännu inte omfattat analys av det organiska materialet, ett material som också inverkar på förekomsten av tungmetaller och grundvattenkvaliteten.

SGU har tidigare inventerat drygt 600 brunnsborrningar med uppgifter om djupnivåer för alunskifferformationen. Med stöd av dessa uppgifter har en första 3D-modell av alunskifferformationens utbredning tagits fram (Thulin Olander 2013, fig. 12). En sammanställning av befintliga kemidata från grundvattenanalyser från dessa brunnar, som kan finnas hos de



Figur 12. 3D-modell över alunskifferformationens förekomst i brunns- och undersökningsborrningar på Öland.

kommunala förvaltningarna, skulle sannolikt ge värdefull kunskap. Kunskapen rör vattenkemiska variationer kopplade till djup och berggrundens sammansättning, speciellt med hänsyn till alunskifferformationen och dess kemiska signatur.

Dessutom finns sannolikt även hydrauliska data från pumptester i de kommunala grundvattentäkterna som kan ge kompletterande information för bedömning av kapaciteten i de olika berggrundsavsnitten.

Fortsatta studier av kärnan från Grönhögen-2015 ska närmast innefatta mineralogiska, sedimentologiska och stratigrafiska studier samt analys av det organiska materialet. Dessa studier görs i samverkan med Lunds universitet. Mörbylånga kommun, som har övertagit borrhålet, avser också att utföra pumptester och vattenanalyser av grundvattentillgång och grundvattnets kvalitet i borrhålet.

#### REFERENSER

Andersson, A., Dahlman, B., Gee, D.G. & Snäll, S., 1985: The Scandinavian Alum shales. *Sveriges geologiska undersökning Ca 56*, 50 s.

- Bruun, Å., Kornfält, K.-A. & Wikman, H., 1997: Beskrivning till provisoriska berggrundskartan över Kalmar. *Sveriges geologiska undersökning Ba 46*, 33 s.
- Brådenmark, N., 2013: Alunskiffer på Öland stratigrafi, utbredning, mäktigheter samt kemiska och fysikaliska egenskaper. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet, examensarbete nr 348*, 13 s.
- Buchardt, B., Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.H., 1997: Alun Skiferen I Skandinavien. *Geologisk Tidsskrift 1997:3*, 30 s.
- Dahlqvist, P., Calner, M., Lehnert, O. & Ahlberg, P., 2013: A complete record of the 'Lower' Cambrian–Middle Ordovician succession of Öland, southern Sweden, based on the Tingskullen core. *In* A. Lindskog & K. Mehlqvist (eds.) Proceedings of the 3rd IGCP 591 Annual Meeting, Lund, Sweden, 9–19 June 2013, 74–76.

- Grahn, Y., 1980: Early Ordovician Chitinozoa from Öland. Sveriges geologiska undersökning *C 792*, 42 pp.
- Grossi, B., 1973: Öland drilling 1972. OPAB report, 10 pp + 2 tables and 11 figs.
- Hessland, I., 1955: Studies in the lithogenesis of the Cambrian and Basal Ordovician of the Böda Hamn sequence of strata. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala 35*, 35–109.
- Hessland, I. & Armands, G., 1978: Alunskiffer, Underlagsmaterial Geologi. *Utredning från Statens Industriverk (SIND) PM 1978:3*, 146 s + tabeller och bilagor.
- Jaanusson, V. & Mutvei, H., 1982: Ordovician of Öland. IV International Symposium on the Ordovician System, *Guide to excursion 3. Section of Palaeozoology, Swedish Museum of Natural History, Stockholm,* 23 pp.
- Löfgren, A., 2000: Early to early Middle Ordovician conodont biostratigraphy of the Gillberga quarry, northern Öland, Sweden. *GFF 122*, 331–338.
- Munthe, H., 1902a: Beskrifning till kartbladet Kalmar. Sveriges geologiska undersökning Ac 6, 119 s.
- Munthe, H., 1902b: Beskrifning till kartbladet Ottenby. Sveriges geologiska undersökning Ac 7, 68 s.
- Munthe, H. & Hedström, H., 1904: Beskrifning till kartbladet Mönsterås med Hedby. *Sveriges geologiska undersökning Ac 8*, 132 s.
- Nielsen, A.T., 1995: Trilobite biostratigraphy, palaeoecology and systematic of the Komstad Limestone and Huk Formations (Lower Ordovician), southern Scandinavia. *Fossils and Strata 38*, 374 pp.
- Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.H., 2007: Cambrian to basal Ordovician lithostratigraphy in southern Scandinavia. *Bulletin of the Geological Society of Denmark 53*, 47–92.
- Nielsen, A.T. & Schovsbo, N.H., 2011: The Lower Cambrian of Scandinavia: Depositional environment, sequence stratigraphy and palaeoeography. *Earth Science Reviews 107*, 207–310.
- Norconsult, 2015: Ölands vattenförsörjning. En sammanställning av Ölands samlade dricksvattenproduktion i kommunala anläggningar samt Ölands grundvattenresurser och deras potential för nuvarande och framtida dricksvattenproduktion. Rapport, 51 s, 28 planscher och 6 bilagor.
- Nordlund, U., 1989: Lithostratigraphy and sedimentology of a Lower Ordovician at Hälludden, Öland, Sweden. *Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar 111*, 65–94.
- Pousette, J., 1974: Fortsatta grundvattenundersökningar på Öland. *Sveriges geologiska undersökning C 702*, 72 s.
- Pousette, J., Müllern, C.-F., Engqvist, P. & Knutsson, G., 1981: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Kalmar. *Sveriges geologiska undersökning Ah 1*, 111 s.
- Pousette, J. & Möller, Å., 1971: Ölands hydrogeologi en Översikt. Sveriges geologiska undersökning C 670, 63 s.
- Schovsbo, N.H., 2001: Why barren intervals? A taphonomic case study of the Scandinavian Alum Shale and its faunas. *Lethaia 34*, 271–285.
- Schovsbo, N.H., 2002: Uranium enrichment shorewards in black shales: A case study from the Scandinavian Alum Shale. *GFF 124*, 107–115.
- Schovsbo, N.H., 2003: The geochemistry of Lower Palaeozoic sediments deposited on the margins of Baltica. *Bulletin of the Geological Society of Denmark 50*, 11–27.
- Stephansson, O., 1971: Gravity tectonics on Öland. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala, new series 3,* 37–78.
- Stouge, S., 2004: Ordovician siliciclastics of Öland, Sweden. *Erlanger geologische Abhandlungen Sonderband 5*, 91–111.
- Svedmark, E., 1904: Beskrifning till kartbladet Oskarshamn. *Sveriges geologiska undersökning Ac 5*, 85 s.

- Tjernvik, T.E., 1956: On the Early Ordovician of Sweden stratigraphy and fauna. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala 36*, 107–284.
- Wamel, W.A., van, 1974: Conodont biostratigraphy of the Upper Cambrian and Lower Ordovician of north-western Öland, south-eastern Sweden. *Utrecht Micropaleontological Bulletins 10*, 126 pp.
- Wærn, B., 1952: Palaeontology and Stratigraphy of the Cambrian and Lowermost Ordovician of the Bödahamn Core. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala 34*, 223–250.
- Westergård, A.H., 1929: A deep boring through Middle and Lower Cambrian strata at Borgholm. *Sveriges geologiska undersökning C 355*, 19 s.
- Westergård, A.H., 1936: Paradoxides oelandicus beds of Öland. *Sveriges geologiska undersökning C 394*, 66 s.
- Westergård, A.H., 1944: Borrningar genom alunskifferlagret på Öland och i Östergötland. *Sveriges geologiska undersökning C 463*, 22 s.
- Westergård, A.H., 1947: Nye data rörene alunskifferlagret på Öland. *Sveriges geologiska undersökning C 483*, 12 s.
- Wik, N.G., Bergström, U., Bruun, Å., Claeson, D., Jelinek, C., Juhojuntti, N., Kero, L., Lundqvist, L., Stephens, M.B., Sukotjo, S. & Wikman, H., 2005: Beskrivning till regional berggrundskarta över Kalmar län. Sveriges geologiska undersökning Ba 66, 50 s.

BILAGA 1 Kärnfoton, Grönhögen-2015



Bilaga 1a. Kärnfoton av intervallet 0–8,50 m, Grönhögen-2015.



Bilaga 1b. Kärnfoton av intervallet 8,50–18,85 m, Grönhögen-2015.



Bilaga 1c. Kärnfoton av intervallet 18,85–34,60 m, Grönhögen-2015.



Bilaga 1d. Kärnfoton av intervallet 34,55–50,40 m, Grönhögen-2015.

OA-GRA05	Glödförlust	%	7,93	20	15	18,2	38,7	22,1	39,8	21,7	22	9,42	<b>ME-MS81</b>	Но	ppm	0,77	0,45	1,56	1,3	0,63	0,91	0,74	1,29	1,29	1,09
ME-ICP06	BaO	%	0,04	0,02	0,08	0,11	0,03	0,1	0,01	0,07	0,06	0,07	ME-MS81	Hf	ppm	4,3	Ч	4,4	4,4	0,8	3,4	0,3	3,4	3,3	5,6
ME-ICP06	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,31	0,14	0,32	0,12	0,08	0,1	0,08	0,1	0,17	0,04	<b>ME-MS81</b>	Cd	ppm	4,21	1,94	7,42	6,13	2,29	4,18	2,78	6,75	7,11	5,42
ME-ICP06	MnO	%	0,04	0,15	0,03	0,02	0,04	0,02	0,17	0,03	0,03	0,02	ME-MS81	Ga	ppm	15,7	10,6	17	18,4	3,9	16,8	3,9	17,9	17,5	24,2
ME-ICP06	rio <sub>2</sub>	%	0,88	0,1	0,93	0,83	0,1	0,65	0,06	0,71	0,73	0,97	ME-MS81	Eu	ppm	1,03	0,35	1,61	1,27	0,47	0,99	0,58	1,35	1,52	1,48
AE-ICP06	cr <sub>2</sub> 0 <sup>3</sup> .	~	0,01	0,01	0,02	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	<b>ME-MS81</b>	Er	ppm	2,18	1,03	4,06	3,82	1,84	2,5	1,94	3,39	3,73	3,8
AE-ICP06 /	0 2 0	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	1,41	3,52	1,64	5,34	),76	t,63	),57	t,14	3,43	5,01	ME-MS81	Dy	ppm	3,76	1,63	6,85	5,94	2,44	4,18	2,67	5,6	5,78	5,3
VE-ICP06 N	la <sub>2</sub> 0 k	•	,25 4	,08	,33 2	,16	,21 (	,1	,22 (	,15 4	,15	,08	ME-MS81	S	ppm	11,75	4,17	8,82	8,68	0,82	6,42	0,41	5,66	6,13	13,9
E-ICP06 N	go N	%	06 0	69 0	75 0	,63 0	42 0	95 0	,66 0	,15 0	,17 0	77 0	ME-MS81	ۍ	ppm	90	70	120	120	10	70	10	70	60	100
E-ICP06 M	N	%	,14 2	,2 2	,79 1	,27 1	,1 0	,36 0	,6 0	,82 1	,82 1	,2	ME-MS81	Ce	ppm	79,9	16,8	91,4	82,3	25,9	60	20,4	88,1	87,2	116,5
E-ICP06 M	°°°	%	5	,2 22	,17 0	,63 0	,43 50	,95 0	,95 52	,2 0	,2	1,100	ME-MS81	Ba	ppm	370	166	670	935	262	891	99,1	623	580	654
E-ICP06 M	o Fe	%	5,5	,99 16	8,	4 4	.,85 1	,9 12	.,02 C	,45 15	,65 15	,1 T,	S-IR08	S	%	0,85	1,99	2,07	2,45	1,04	9,83	0,63	11,3	12,2	2,84
E-ICP06 M	D <sub>2</sub> AI	%	1,1 16	9 4	,1 15	,9 15	,82 1	;3 13	,59 1	,7 12	,1 12	7,7 15	C-IR07	U	%	0,96	6,28	8,45	10,95	12,05	10,25	12,05	10,3	8,76	1,36
Metod M	Oxid Si	Djup, m %	7,66 58	8,22 27	11,1 56	16,7 52	20,48 4	23,34 45	25,5 3	27,6 43	29,96 41	31,15 57	Metod	Grundämne	Djup, m	7,66	8,22	11,1	16,7	20,48	23,34	25,5	27,6	29,96	31,15

	– bulkkemi, ICP
<b>BILAGA 2</b>	Analysprotokoll ·

Metod	<b>ME-MS81</b>	ME-MS81											
Grundämne	La	Lu	Nb	PN	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Тh	Tm
Djup, m	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
7,66	44,1	0,35	15,7	29,6	8,47	188	4,93	4	103,5	1,3	0,61	13,4	0,37
8,22	7	0,14	2	8,5	2,09	118,5	1,84	1	71,5	0,2	0,3	2,85	0,15
11,1	50,4	0,64	17,3	41,4	11,15	164	8,06	m	74,7	1,4	1,11	16,65	0,63
16,7	46,4	0,63	16,3	35,9	10,55	167,5	6,86	2	83,9	1,2	0,9	15,55	0,62
20,48	14,7	0,33	2,1	10,4	2,77	16,4	2,13	1	268	0,2	0,41	2,26	0,34
23,34	31,8	0,32	14,1	24,2	6,45	123	5	1	63,3	1,2	0,69	15,65	0,35
25,5	9,8	0,3	1,2	9,2	2,31	9,3	2,11	1	306	0,1	0,39	0,96	0,33
27,6	42,3	0,51	14,8	37,8	10,05	121,5	7,43	1	69,4	1,1	0,94	12,2	0,5
29,96	41,2	0,55	14,8	38	10,2	121	7,33	2	69,2	0,9	0,92	12,95	0,51
31,15	56,7	0,63	18,9	46,7	13,1	204	7,76	4	106,5	1,3	0,85	17	0,57

Metod	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS42	ME-MS42	ME-MS42	ME-MS42	ME-MS42	ME-MS42
Grundämne	D	>	N	7	Yb	Zr	As	Bi	Hg	Sb	Se	Te
Djup, m	bpm											
7,66	7,93	129	m	21	2,16	161	4,2	0,35	0,009	0,48	0,7	0,02
8,22	0,89	42	Ч	12,3	1,06	34	71,3	0,14	0,018	2,04	0,8	0,13
11,1	34,5	1740	2	38,2	4,17	169	43,7	0,35	0,127	4,55	5,3	0,26
16,7	79,9	3990	m	35,6	3,81	156	69,7	0,39	0,225	15,65	11,2	0,4
20,48	53,2	119	Ч	21,6	1,72	23	26,5	0,05	0,084	0,95	1,6	0,04
23,34	83,2	710	m	23,7	2,39	138	216	0,5	0,467	7,76	7	0,49
25,5	10,55	38	Ч	22,3	1,99	12	9,5	0,03	0,023	0,29	0,9	0,04
27,6	40,4	358	m	34	3,11	142	>250	0,47	0,449	5,77	9	0,4
29,96	36,3	300	4	35	3,06	140	228	0,43	0,366	5,35	5,7	0,37
31,15	5,19	232	m	30,3	3,71	201	26,2	0,32	0,027	0,63	0,7	0,05

Metod	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-4ACD81	ME-MS42
Grundämne	Ag	cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Sc	Zn		ТІ
Djup, m	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm	bpm
7,66	<0,5	0,6	12	33	с <del>і</del>	29	7	12	45	30	0,1
8,22	<0,5	0,5	33	20	1	13	11	7	12	20	0,22
11,1	2,4	4,5	12	188	65	197	48	16	252	50	0,23
16,7	D	38,1	14	214	191	394	58	15	1640	70	0,66
20,48	<0,5	0,7	7	27	63	21	2	ſ	12	10	0,66
23,34	1,3	1,8	35	241	173	143	31	12	117	50	0,86
25,5	<0,5	0,6	5	11	5	2	<2	2	15	10	0,03
27,6	1	1,1	49	192	152	110	29	13	121	50	0,34
29,96	1	0,8	47	195	139	96	27	15	235	60	0,94
31,15	<0,5	<0,5	25	36	ß	46	65	20	73	60	0,51

Grundämne     Ge       Djup, m     ppm       7,66     <5       8,22     <5       11,1     <5       16,7     <5       20,48     <5       20,48     <5       23,34     <5	-MS81	ME-MS42	ME-MS42	TOT-ICP06
Djup,m     ppm       7,66     <5       8,22     <5       11,1     <5       16,7     <5       20,48     <5       20,48     <5       23,34     <5		Ц	Re	Total
7,66 <5   8,22 <5   11,1 <5   16,7 <5   20,48 <5   23,34 <5	E	ppm	bpm	%
8,22 <5 11,1 <5 16,7 <5 20,48 <5 23,34 <5		0,02	0,001	100,17
11,1     <5		0,023	0,001	98
16,7 <5		0,051	0,094	100,96
20,48 <5 23,34 <5		0,044	0,142	99,63
23,34 <5		<0,005	0,014	98,56
		0,035	0,101	101,17
25,5 <5		0,008	0,002	99,75
27,6 <5		0,04	0,044	98,23
29,96 <5		0,044	0,038	98,52
31,15 <5		0,026	0,002	101,49