

Alunskiffern i Östergötland – utbredning, mäktigheter, stratigrafi och egenskaper

Fredrik Svantesson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 372
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Alunskiffern i Östergötland – utbredning, mäktigheter, stratigrafi och egenskaper

Kandidatarbete
Fredrik Svantesson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Innehåll

1. Introduktion	5
2. Syfte.....	6
3. Fysikaliska och kemiska egenskaper	6
3.1 Petrologi och geokemi	6
3.2 Petroleum och gas	7
3.3 Uran	7
3.4 Övriga element.....	8
4. Användningsområden och historik	8
5. Gasutvinning	9
6. Alunskiffer i Östergötland.....	9
6.1 Utbredning och mäktigheter.....	9
6.2 Stratigrafi	10
6.3 Fysikaliska och kemiska egenskaper	13
6.4 Potential för gasutvinning	13
7. Diskussion	13
8. Slutsats	14
9. Tack.....	14
Referenser	14

Omslagsbild: Kambrisk alunskiffer vid Gudhem i Västergötland. Foto Per Ahlberg.

Alunskiffern i Östergötland – utbredning, mäktigheter, stratigrafi och egenskaper

FREDRIK SVANTESSON

Svantesson, F., 2013: Alunskiffern i Östergötland – utbredning, mäktigheter, stratigrafi och egenskaper. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 372, 15 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Alunskiffern har i århundraden varit av ekonomiskt intresse och var en viktig naturresurs i Sveriges tidiga industriella utveckling genom framställningen av alun – ett kaliumaluminiumsulfat. Dessutom har alunskiffern varit intressant som källa och reservoar för olja och gas. Förutom de kemiska egenskaperna har även en del av de kemiska processerna i frågan om uppkomsten av petroleum, gas och uran tagits upp. Alunskiffern i Östergötland och dess egenskaper har kartlagts och beskrivits. Arbetet baseras på studier av publikationer, rapporter, kartmaterial och borrhningar. Alunskifferområdet i Östergötland är idag intressant på grund av sin biogena gas som man sedan länge känt till migrerat upp ur marken och försvunnit ut i atmosfären. Intresset för gasen har ökat de senaste åren och just nu bedrivs prospektering i alunskifferområdet. Den här studien har därför haft som mål att beskriva alunskifferns utbredning, kemiska och fysikaliska egenskaper samt utreda förutsättningarna för gasutvinning. Även en skildring av alunskifferns användningshistorik samt paleogeografiska historia har ingått i arbetet. Östergötlands alunskiffer är jämfört med andra alunskifferområden i Sverige bristfälligt undersökt, de flesta analyser och borrhningar är gjorda på 1930- och 40-talen. Överlag är alunskifferns mäktighet blygsam, ca 15 – 20 meter, och representerar tre distinkta enheter där de två yngre från överkambrium och ordovicium är de ekonomiskt mest intressanta. Alunskiffern bedöms ha hyfsat goda förutsättningar för utvinning av okonventionell skifferolja. Den biogena gasen bedöms som intressant men svår att utvinna. Förutom uran samt möjligen vanadin och molybden har inga andra ekonomiska spårämnen värda att utvinna påträffats. Det saknas kemiska analyser för ett flertal andra ämnen som skulle kunna förekomma och som är av intresse idag, t ex sällsynta jordartsmetaller.

Nyckelord: Alunskiffer, kambrium, ordovicium, stratigrafi, petrologi, geokemi, uran, petroleum, biogen gas, Östergötland.

Handledare: Mikael Erlström och Per Ahlberg

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

Fredrik Svantesson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.

E-post: daedalife@gmail.com

The alum shale in Östergötland – distribution, thicknesses, stratigraphy and properties

FREDRIK SVANTESSON

Svantesson, F., 2013: The alum shale in Östergötland – distribution, thicknesses, stratigraphy and properties. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 372, 15 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The alum shale has for centuries been of interest and was an important resource in Sweden's early industrial history through the manufacturing of alum – a potassium aluminium sulfate. In addition to describing the chemical properties this paper also include a brief description of some of the chemical processes that are responsible for the enrichment of oil, gas and uranium. The alum shale in the Swedish province of Östergötland has been described with respect to its distribution and physical and chemical properties by studying publications, maps and borings. The alum shale in Östergötland is a source of biogenic gas which have long been known to migrate up through the surface and has in recent years spiked an interest in gas extraction and is currently being explored by private companies. This paper has therefore had the objective to describe and give an idea of what conditions there are for gas extraction in the area. Furthermore, a short description of the alum shales history of use and paleogeography is also present in this paper. The alum shale of Östergötland is, compared to other alum shale areas in Sweden, poorly researched, and many analyzes and drillings are made in the 1930's and 40's. Overall, the thicknesses is about 15 to 20 meters, and represents three units where the two younger from upper Cambrian and lower Ordovician are the most economically interesting. The alum shale has decent potential for the extraction of unconventional shale oil. The amount of biogenic gas present within the shale area looks promising but the gas is difficult to extract. Besides uranium and possibly vanadium and molybdenum, no other trace elements are deemed to be economically viable for extraction. It should be noted that there are several trace elements and metals for which no chemical analysis has been conducted that could occur and which are of interest today, such as rare earth elements.

Keywords: Alum shale, Cambrian, Ordovician, stratigraphy, petrology, geochemistry, uranium, petroleum, biogenic gas, Östergötland.

*Fredrik Svantesson, department of Geology, Lund university, Sölvesgatan 12, SE-22362 Lund, Sweden.
E-mail: daedalife@gmail.com*

1 Introduktion

Alunskiffer är en sedimentär bergart rik på organiskt kol och kan närmare beskrivas som en mörk finkornig lerskiffer, bildad under syrefria förhållanden i en marin miljö under den yngre delen av kambrium och äldre delen av ordovicium (ca 510 – 470 miljoner år sedan). Avsättningen anses ha skett i ett lugnt inlandshav som täckte en stor del av Skandinavien som vid den här tiden låg på ungefär samma breddgrader som idag fast på södra halvklotet. Alunskiffern tros ha haft en utbredningsarea på ca 1,6 miljoner km² och täckte större delen av vad som idag är Sverige och Norge samt stora delar av Östersjön och Danmark (Thickpenny & Leggett, 1987). Det mesta har sedan dess eroderat bort. Alunskiffern är ekonomiskt intressant då det är möjligt att utvinna olja ur den och för att den potentiellt kan vara en reservoar för skiffergas samt innehålla en stor mängd kemiska spårämnen, exempelvis uran. Alunskiffern i Sverige har därför brutits på flera platser av olika anledningar. Den är en av Sveriges största urankällor och är även också en av våra största oljetillgångar, sk. skifferolja. På senare tid har intresse för gasutvinning varit stort. Bland annat har Shell haft en undersökningskoncession i Skåne. Provboringar har dock inte kunnat påvisa några exploaterbara mängder. Prospektering av biogen gas pågår just nu i bland annat Östergötland av Gripen Gas AB (Gripen Gas, 2011).

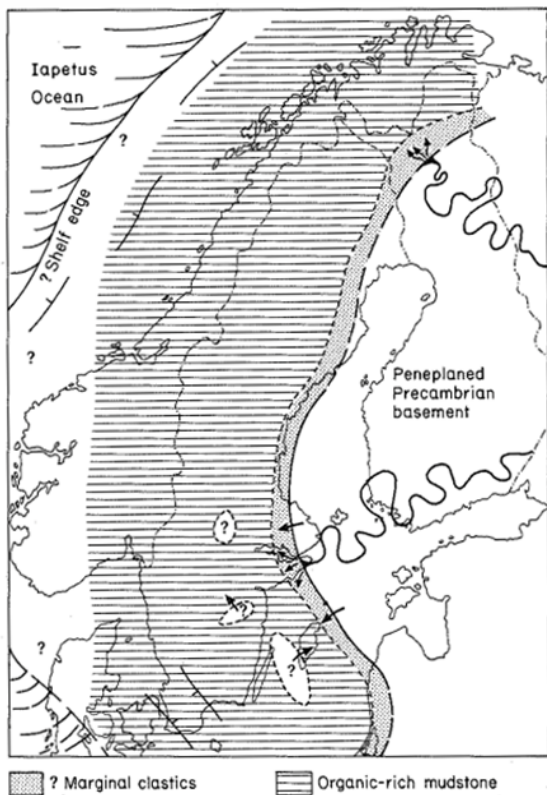


Fig. 1. Alunskifferhavets osäkra utbredning i överkambrium (från Thickpenny 1987).

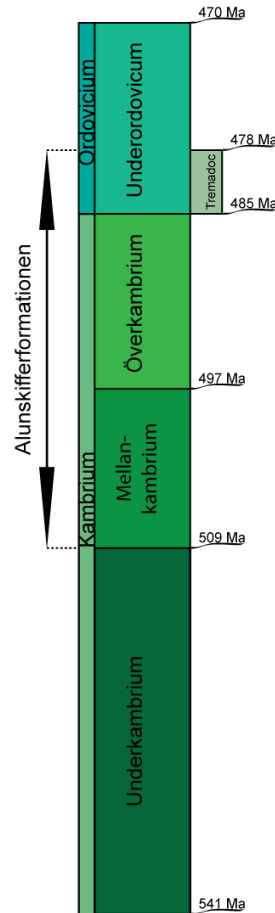


Fig. 2. Alunskifferformationens stratigrafiska utbredning. Baserad på (ICC v. 2013/01).

Det epikontinentala hav som alunskiffermaterialet sedimenterades i var i början på mellankambrium relativt fattigt på organiskt innehåll. Miljön var dysoxisk (syrefattig) och starkt reducerande med en tämligen låg sedimentationshastighet. Sedimenteringen skedde under vågbasen med låg eller ingen omrörning och havsdjupet var troligen inte mer än 200 m. Bottenmiljön var stundtals fri från organismer eftersom bioturbation i lagerföljden är mycket sparsam. Havsmiljön saknar recenta motsvarigheter men Svarta havet anses vara snarlik. Forskning har visat att halten svavelväte (H₂S) i havet var mycket hög. Detta har i sin tur bidragit till de mycket höga halterna av svavel och

sulfidmineral i form av pyrit. Tillskottet av terrigent siliklastiskt material har varit jämnt men sjönk något i yngre kambrium. Istället ökade sedimentationen av organiskt material och vissa spårämnen har i samband med detta anrikats. En bit in i ordovicium (slutet av tremadoc) förändrades miljön. Havsytan sjönk vilket ledde till att syrehalten steg i de grundare områdena. I de grunda områdena dominerade karbonatsedimentation vilket resulterade i bildningen av kalkstenar som idag överlagrar alunskiffern (Andersson et al., 1985).

I Sverige förekommer idag alunskiffern sporadiskt i exempelvis Skåne, Öland, Östergötland, Närke, Västergötland, utmed fjällkedjeranden och i Östersjön (Andersson et al., 1985). Den förekommer även på olika platser i Oslofältet i Norge. Skifferformationen är överlag ca 20 m mäktig men kan regionalt vara betydligt mäktigare. De största mäktigheterna på upp emot 100 m har observerats i Skåne. Mäktigheten är generellt som störst i de södra delarna av Skandinavien. Lagerserien tunnare ut åt nordost och under Gotland är den som mest bara ett par meter mäktig (Ahlberg, 1989). I flera områden är lagerserien ofullständigt representerad på grund av erosion vilket gör att formationen troligtvis har varit betydligt mäktigare i vissa områden. Alunskiffern är inte homogen genom hela formationen utan den skiljer sig åt vad gäller kemisk sammansättning och egenskaper beroende på avlagringsplats och ålder. Äldre alunskiffer är vanligtvis fattigare på organiskt material. I Sverige finns alunskiffern bäst bevarad i området kring norra Götal-



Fig. 3. Områden med kambrisk berggrund (svarta partier) i Skandinavien (från Ahlberg et al., 2009)

and och södra Svealand (Västergötland, Närke, Östergötland). I samband med den kaledoniska orogenesen under silur och devon blev alunskiffern i fjällkedjan utsatt för deformation vilket har påverkat alunskifferns oljeförande egenskaper negativt, liksom i Sveriges södra delar (Skåne) som vid den här tiden blev utsatt för kraftig subsidens på 3 – 4 km (Schovsbo, 2002) och begravdes under yngre material av signifikanta mäktigheter samtidigt som tektonisk aktivitet (förkastningar och intrusioner) i samband med Torngvistzonen präglade området vid flera tillfällen under paleozoikum och mesozoikum (Andersson et al., 1985).

2 Syfte

Syftet med arbetet är att kartlägga och beskriva Östergötlands alunskiffer gällande dess utbredning, stratigrafi, mäktigheter och kemiska egenskaper. I arbetet ingår även en kort historik om alunskifferns betydelse och användning i Sverige.

Gällande alunskifferns geoeconomiska intresse har arbetet fokuserat på olja, gas och uran där även en redogörelse för vilka förutsättningarna för gasutvinning som finns. Som grund för arbetet ligger en inventering och studie av litteratur med tillhörande kartmaterial och borrhålsbeskrivningar.

3 Fysikaliska och kemiska egenskaper

3.1 Petrologi och geokemi

Alunskiffern består av mycket finkornigt klastiskt material som i huvudsak utgörs av olika typer av silikatmineral, främst kvarts, muskovit (Dahlman & Eklund, 1953) och kalifältspat (Armands, 1972). Finkornigheten och den höga halten av organiskt material försvårar kartläggningen av alunskifferns mineralogi, men Armands utförliga analys av alunskiffern från Billingen, Västergötland, redovisas i tabell 1. Merparten av silikaterna har sitt ursprung från urbergsprovinser runt alunskifferhavets avsättningsområde. Beroende på avstånd från den gamla kustlinjen varierar sammansättning och kornstorlek från plats till plats. Förutom silikatmineral och organiskt material innehåller alunskiffern betydande mängder sulfidmineral, främst pyrit. En stor del av det svavel och järn som finns i alunskiffern är bundet till pyriten. Sulfidmineral bildas genom anaerob nedbrytning av mikrober som reducerar svavel (sulfat). Mikrober reducerar sulfat till svavelväte som binder sig lätt med många typer av metalljoner. Järnsulfiden pyrit är en av de vanligaste. Pyriten har skapats både syngenetiskt samt under diagenetiska stadier (Thickpenny & Leggett, 1987). Anrikningen av metaller har skett på flera sätt; exempelvis adsorption och jonbyten som gynnas av det höga innehållet av lerpartiklar. Det finns också en stark koppling mellan metallanrikning och organiskt material (Hessland & Armands, 1978).

Alunskiffer som påträffas ytligt har vanligtvis en tydlig tunnskifferighet och en dålig hållfasthet. Avsnitt med mer karbonat är mer hållfast och inte lika tydligt skifferig. På större djup är skiffern avsevärt mer konsoliderad på grund av trycket från överlagrande berggrund. Densiteten har uppmätts till 2500 kg/m³ och alunskiffern har ofta mycket god ledningsförmåga på < 100 Ωm (Johansson & Olsson, 1979).

Orsten är en karbonatrik elliptisk bergart som förekommer i vissa lager i alunskiffern. Ofta uppträder den i linsform men kan också bilda sammanhängande lager. Den är vanligen rik på fossil och förekommer periodvis i lagerföljden och kopplas därför ibland till olika klimatpåverkningar vid sedimentationen. Orsten

är fattig på uran (Dahlman & Eklund, 1953). Vissa delar i alunskifferformationen innehåller stora mängder orsten, bl. a. Stora orstensbanken i övre kambrium (Nielsen & Schovsbo, 2007).

Ett annat vanligt förekommande inslag i alunskiffern är kolm. Kolm är linsformade strukturer i alunskiffern som till stor del består av muskovit och organiskt material. Koncentrationerna av uran kan vara tio gånger högre än i alunskiffern i övrigt. Kolmförande alunskiffer kan därför vara av ekonomiskt intresse. Även mycket höga halter av pyrit förekommer i kolm. Anledningen till kolmens höga uranhalter antas ha att göra med det höga innehållet av humuskerogen (typ III) som attraherar metaller (Hessland & Armands, 1978).

3.2 Petroleum och gas

Alunskiffern innehåller ingen råolja men utgör en okonventionell källa till petroleum och gas. Olja och gas bildas ur en organisk substans kallad kerogen. Organiskt material bryts normalt ned via mikrober och oxidation men under anoxiska förhållanden bryts det inte ner fullständigt och bildar istället ett organogent slam. Under diagenesen drivs flyktiga ämnen som vatten och koldioxid ut ur slammet och kerogen bildas. Kerogen har ingen specifik sammansättning utan definieras som en olöslig vaxliknande substans bestående av organiskt material (Hessland & Armands, 1978). Dess sammansättning bestäms av det ursprungliga organiska material som sedimenterade och består till stor del av komplexa kedjor av kol (C) och väte (H). Kvoten mellan väte och kol (H/C) ligger till grund för vilka naturresurser som potentiellt kan erhållas ur kerogenet. Om kvoten är hög är potentialen för högkvalitativ olja (lättflytande) stor. Vid lägre kvoter kan resultat bli kol. Om kvoten är alltför låg till följd av oxidation, kan inget av intresse erhållas och benämns "dead carbon". Kerogen kan därför delas in i olika typer. Typ I och II bildas av fetter och proteiner från organismer som plankton och alger. Typ III kommer från landväxter och består främst av kolhydrater från lignin och cellulosa. Från Typ I bildas princip bara flytande kolväten (olja). Ur Typ III (humuskerogen) bildas mest gas och kol. Typ II kan ses som ett mellanting som ger både olja och gas (Robb, 2005). Humuskerogen av (typ III) borde inte förekomma i alunskiffern eftersom inga landväxter hade etablerat sig vid tiden då alunskiffersedimentet avsattes. Det förekommer trots det humuskerogen i alunskiffern. Kolm består till största del av humuskerogen. Det är tänkbart att lägre stående landväxter som mossor kan ha bidragit med en del humusämnen (Hessland & Armands, 1978).

Konventionellt bildas råolja ur en kerogenrik bergart som begravs tillräckligt djupt där tryck och värme leder till att katagenesen startar. Under katagenesen bryts de långa kolvätekedjorna ner till lättare kedjor, och olja och gas bildas. Detta sker inom ett temperaturintervall på mellan 100 och 200 °C (något högre för gas) och betecknas som "oljefönstret". Olja

och gas migrerar sedan uppåt i lagerföljden där de antingen stängs in i en porös reservoarbergart med omliggande tät bergart eller så migrerar det upp till jordytan där det snabbt bryts ned och förstörs (Robb, 2005). En kerogenrik bergart som inte påverkats av katagenesiska förhållanden betecknas som termiskt omogen. Termiskt omogna bergarter klassas som okonventionella petroleumkällor. Merparten av alunskiffern i Skandinavien har inte begravs tillräckligt djupt för att ha kunnat generera några större mängder olja eller gas. I Skåne har däremot djupet varit mer än tillräckligt stort och här är skiffern termiskt övermogen och oljan och gasen har drivits ut. För att olja och gas skall kunna framställas ur alunskiffern krävs det att den är termiskt omogen med högt energivärde (värmvärde), dvs. den energimängd som frigörs vid förbränning, så att olja kan framställas okonventionellt genom att det hettas upp kontrollerat i pyrolysugnar (Speight, 2011).

Gas (naturgas) kan även genereras vid låga temperaturer under diagenesen från mikrobers nedbrytning av kerogen (Rice & Claypool, 1981). Gas som producerats på detta vis kallas biogen gas och är en process som pågår i alunskiffern än idag. Gasen bevaras i skiffers porsystem och genom att borra hål i skiffern kan gasen lätt migrera upp. Detta kräver att skiffern är porös, vilket ofta är fallet i de ytliga förekomsterna, och det finns således inget behov av hydraulisk spräckning (fracking) för att utvinna gasen som så ofta görs vid utvinning av skiffergas på betydligt större djup (Gripen Gas, 2011). En annan fördel med utvinning av biogen gas är att ingen energikrävande pyrolys är nödvändig vilket ofta är en stor nackdel med utvinning av okonventionell olja och gas (Speight, 2011).

I skiffer råder ett samband mellan den totala mängden organiskt kol (TOC) och kerogen, dvs. ju mer organiskt kol desto högre halter kerogen. Alunskiffern är rik på organiskt kol som kan utgöra upp emot 30 viktprocent (Hessland & Armands, 1978). Enligt Buchardt et. al. 1994 krävs ca 2 procent TOC i en bergart för att petroleum och gas skall kunna utvinnas. Beroende på dess termiska mognad, varierar detta kraftigt mellan olika områden. I alunskifferformationens äldre delar (mellankambrium) är halten kerogen relativt låg, ca 5 – 10 procent. I övre kambrium ökar halterna dock påtagligt och det är här som de största mängderna i regel finns (Dahlman & Eklund, 1953). Kerogentypen i alunskiffern är av både av typen sapropelisk kerogen och humuskerogen. Sapropelisk ger främst flytande kolväten; olja, medan humuskerogen främst ger gas (och kol) (Hessland & Armands, 1978). Hur kerogenet av typ III hamnat i alunskiffern är något av ett mysterium.

3.3 Uran

Uran är ett mycket viktigt energielement. Den radioaktiva metallen bidrar till mer än en tredjedel av Sveriges elproduktion. Idag importeras all uran till Sverige men alunskiffern utgör en av Sveriges stora urankällor. Koncentrationerna varierar i alunskiffersekvensen där de högsta koncentrationerna finns i *P. scarabaeoides*

Tabell. 1. Alunskiffers mineralogiska uppbyggnad i Västergötland (från Armands, 1972)

Mineral	Viktprocent
Kvarts	25
Muskovit	30
Kalifältspat	12,5
Pyrit	12,5
Organiskt kol (TOC)	14
Karbonater	2

zonen i övre kambrium med halter på 100 – 300 ppm, men i kolmförande lager kan koncentrationen av uran vara betydligt högre. Kolm kan innehålla tio gånger mer uran än i alunskiffen i övrigt och kan därför vara intressant för utvinning av uran (Schovsbo, 2002). Kolmförande alunskiffer har endast påträffats i Sverige och då i Västergötland och Närke (Dahlman & Eklund, 1953). Uran förekommer i högre koncentration i alunskiffer som har sitt ursprung i grundare marina miljöer än de som bildats ur sediment avsatta på djupare vatten. Anledningen beror delvis på att källan till uran är urberg som vittrat och spolats ut i havet, vilket medför att det förekommer mer uran vid kustnära områden men det beror även på den bottenomrörning som sker i dessa delar (stormvågbasen). Bottenomrörningen plockar bort lerpartiklar och för dem ut på djupare vatten vilket leder till en anrikning av större/tyngre element. Bevis på detta är exempelvis den kalksten som överlagrar stora delar alunskiffen i Sverige men i området i och runt Skåne saknas detta samtidigt som uranhalten i Skåne är betydligt lägre än på andra håll. Även organismer kan ackumulera påtagliga halter uran under sin livstid och när deras livscykel förbrukats faller de till botten och sedimenterar med förhöjda uranhalter som följd. Mycket tyder på att urantillförseln har varit relativt konstant men att uranet har koncentrerats i alunskiffen vid olika gynnsamma händelser under bildningen (Schovsbo, 2002), exempelvis i samband med den periodiska kolmbildningen.

Det är inte helt säkerställt hur urananrikningen i alunskiffen geokemiskt gått till men en av många förklaringar är att de syrefria förhållandenas produktion av svavelväte (H_2S) reducerar, den i vatten lösliga, uranjonen uranyl (U^{6+}) till den olösliga jonen U^{4+} varvid det faller ut (Swanson, 1961). Uranet är bundet till alunskiffens kisdell och troligen i mineral som pechblände (Dahlman & Eklund, 1953) men det är oklart då inga bevis för det sistnämnda har hittats (Armands, 1972). Det finns bevis för att uran har en starkt positiv korrelation med kalifältspater. Mängden kalifältspat kan räknas ut från kvoten av $(K_2O + Na_2O)$ och Al_2O_3 . Det innebär att när delar av alunskiffen är rik på kalifältspater så är det samtidigt troligt att uranhalterna ökar medan Al_2O_3 minskar (Armands, 1972).

3.4 Övriga element

Fosfor och kväve är viktiga och rikligt förekommande beståndsdelar i organismer och alunskiffen har därmed även anrikats på dessa element (Hessland 1978). Vidare förekommer höga halter av svavel från sulfidmineral, främst pyrit. Uran har påvisats ha positiva korrelationer med ett flertal spårelement som rubidium, vanadin, molybden och nickel samt till viss del även organiskt kol (Armands, 1972). Dessa metaller är troligen bundna som accessoriska element i olika sulfidmineral i alunskiffen, exempelvis patronit (Dahlman & Eklund, 1953).

Orstenarna innehåller ansevärliga mängder karbonat (kalcit) och därmed ämnena kalcium och mangan (mangannoduler). Det är också troligt att sulfatmineral som baryt och gips förekommer i samband med karbonat. Alunskiffer innehåller en varierande mängd lermineral som ofta innehåller väsentliga halter av aluminium och eventuellt även titan. Vanliga lermineral som förekommer är illit, klorit och kaolin (Hessland & Armands, 1978).

4. Användningsområden och historik

Alunskiffen hade en stor betydelse i Sveriges tidiga industriella historia genom framställningen av alun (kaliumaluminiumsulfat). Så tidigt som 1637 började alunbruket i Andrarum i Skåne att framställa alun. Alunskiffen bröts och brändes varefter alun sedan kunde fällas ut. Alun var en viktig komponent för exempelvis garvning av läder samt för papperstillverkning och som betmedel inom textilindustrin (Andersson et al., 1985). Sverige exporterade alun till ett flertal länder runt Östersjön och alunframställningen expanderade och ett flertal alunbruk uppfördes i Sverige, bl.a. på Öland, i Närke och Västergötland. Industrin expanderade även utanför Sveriges gränser bl.a. genom att ett alunbruk i Oslo upprättades (Hessland & Armands, 1978).

Vid början av 1900-talet avvecklades alunbruket men alunskiffens ekonomiska intresse fortsatte nu genom energiframställning, främst genom utvinning av petroleum men även som en stor källa för uran. Oljeproduktionen förekom i Västergötland och i Närke där även signifikanta mängder av svavel och kväve producerades från alunskiffen. I Kinne-Kleva i Västergötland bröts alunskiffer både i dagbrott och i gruvor under jord. Från alunskiffen framställdes olja i pyrolysugnar som låg i nära anslutning till brotten. Produktionen, som inleddes på 1920-talet, låg till en början på 500 ton olja/år. Under andra världskriget, då importen av olja var kraftigt begränsad, ökades produktionen av olja tillfälligt genom nybyggnation vid verket i Kinne-Kleva. På 1940-talet producerades här 20 ton olja per dag. 1939 byggdes även ett nytt verk i Kvarntorp, Närke. Efter kriget blev petroleumutvinningen från alunskiffen inte längre lönsam. Produktionen upphörde i Kinne-Kleva år 1950 och man började experimentera med utvinning av metaller och

andra värdefulla ämnen vid Kvarntorp, bl.a. utvanns tiotusentals ton svavel om året (Hessland & Armands, 1978). Som ett led i den så kallade "Svenska linjen", som gick ut på att Sverige skulle bli självförsörjande på kärnenergi och uranproduktion, anlades Ranstadsverket på 1960-talet. Både Ranstadverket och verket vid Kvarntorp lyckades inte uppnå tillräcklig lönsamhet på grund av låga världsmarknadspriser samt låg inhemsk efterfrågan (Andersson et al., 1985), vilket resulterade i att verksamheten vid de båda verken lades ner i slutet på 1960-talet och alunskifferbrytningen upphörde helt (Hessland & Armands, 1978). De senaste åren har alunskiffern varit intressant för utvinning av biogen gas och just nu förekommer prospektering i Östergötland efter biogen gas (Anon., 2011).

5 Gasutvinning

Gas (naturgas) består främst av metan (CH₄) som är det enklaste kolvätet men även längre kolkedjor som propan och butan förekommer i mindre mängd. Någon större gasutvinning från alunskifferområdena i Sverige har inte förekommit. Vid den idag nedlagda anläggningen vid Kvarntorp i Närke framställdes emellertid ansevära mängder. Det är främst Närke och Östergötland som har den största potentialen för gasutvinning i Sverige eftersom områdena inte utsatts för kraftig geologisk påverkan i form av tektonik, subsidens och magmatisk aktivitet så som fjällranden och Skåne har. Även delar av Västergötland och Öland har potential (Hessland & Armands, 1978).

Naturgas har fördelen gentemot övriga fossila bränslen som olja och kol att den är mer effektiv, dvs. att man får ut mer energi per koldioxidutsläpp jämfört mot olja och kol. Det bör också nämnas att användning av naturgas för energiförsörjning och uppvärmning generellt sett i Sverige har varit underordnad oljan vad gäller intresse och något omfattande nationellt gasnät existerar inte. I Sverige används naturgas främst inom industrin och ett och annat gaskraftverk finns, exempelvis Öresundsverket i Malmö. Globalt sätt är naturgas däremot en mycket vanlig och viktig energikälla, dels för elproduktion men även för hushållsanvändning (uppvärmning, gasspisar och dylikt).

6 Alunskiffer i Östergötland

6.1 Utbredning och mäktigheter

Geografiskt befinner sig Östergötlands alunskifferformation inom större delen av östgötaslätten. Berggrunden veckades i samband med en horstbildning i norr som har bildat en drygt 15 km lång synklinall från norr till söder där alunskiffern ligger djupast (ca 100 m under markytan) vid synklinallens axel som ligger ungefär i samma höjd som Motala. Från förkastningen i norr till synklinallaxeln stupar lagerföljden kraftigt. Söder om axeln går lagerföljden uppåt i en betydligt svagare sluttning (se figur 5). Alunskiffern går sedan upp och bildar berggrundsgeologins översta lager längs ett stråk i östnord-

Tabell. 2 - 4. Medelvärdet av ämnen i paradoxidesskiffern (överst), olenidskiffern (mitten) och dictyonemaskiffern (underst) från två borrhämnor utförda vid Tornby och Skåningstorp. Data från Hessland & Armands, (1978)

Ämne	Koncentration
Kerogen	6 %
Energivärde	5,9 MJ/kg
Svavel (S)	3,7 %
Aluminium (Al ₂ O ₃)	18 %
Järn (Fe)	4,7 %
Nickel (Ni)	85 ppm
Molybden (Mo)	45 ppm
Vanadin (V)	425 ppm
Uran (U)	100 ppm
Ämne	Koncentration
Kerogen	13 %
Energivärde	8,8 MJ/kg
Svavel (S)	8,5 %
Aluminium (Al ₂ O ₃)	14,5 %
Järn (Fe)	8,4 %
Nickel (Ni)	230 ppm
Molybden (Mo)	140 ppm
Vanadin (V)	550 ppm
Uran (U)	135 ppm
Ämne	Koncentration
Energivärde	8 MJ/kg
Kerogen	13 %
Svavel (S)	3,3 %
Aluminium (Al ₂ O ₃)	15 %
Järn (Fe)	4,9 %
Nickel (Ni)	195 ppm
Molybden (Mo)	125 ppm
Vanadium (V)	1050 ppm
Uran (U)	225 ppm

östlig riktning, från Omberg i väst till sjön Roxen i öst. Även mellan sjöarna Roxen och Boren blottas en mycket tunn del av alunskiffern, bortsett de kvartära avlagringarna. Tillsammans bildar stråken en båge och bildar en gräns inom formationens utbredning. Hela formationen begränsas till stor del i väster av Vättern men en mindre del sträcker sig ut i sjön. Totalt täcker formationen en yta på ca 500 km².

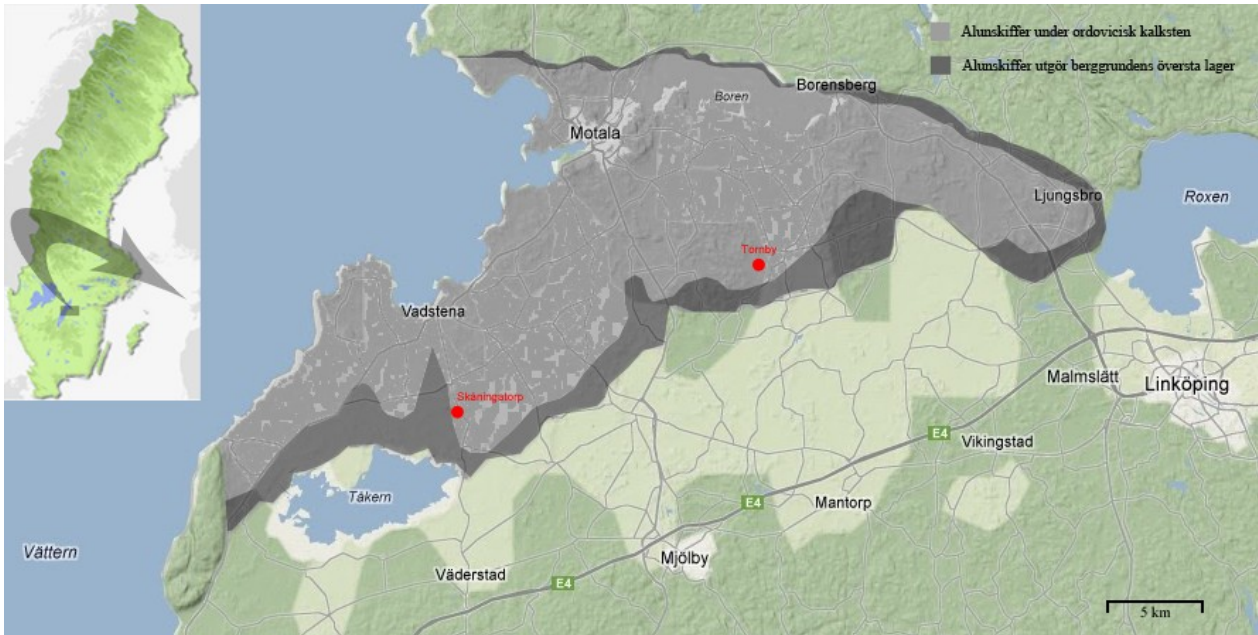


Fig. 4. Alunskifferformationens utbredning i Östergötland. Mörkare partier indikerar att alunskiffern utgör berggrundens översta lager. Två borrhål har markerats från vilka det mesta av datan i detta arbete är baserad på. (Baserad efter Westergård, 1940). (Kartmaterial från Lantmäteriet och Google maps, 2013).

Alunskiffern är ungefär lika mäktig (ca 15 – 20 m) över hela området, men något tunnare i de östra delarna. Störst mäktighet har uppmätts i ett borrhål utanför Vadstena. Här är alunskiffern ca 25 m mäktig. I norr avgränsas alunskifferformationen av en väst-östlig förkastningszon där urberget är upptryckt och bildar en horst. Även i de sydöstra delarna löper en mindre förkastningszon mellan Grankulla och Linköping som utgör en geologisk gräns för alunskiffrens utbredning. Lösa jordlager täcker hela utbredningsområdet med en mäktighet på 5 – 10 m. De är något tunnare vid förkastning-

en i norr.

6.2 Stratigrafi

Alunskifferformationen vilar på en grå lerskiffer med lågt organiskt innehåll. Under lerskiffern finns en kambrisk sandsten (File Haidar-formationen) som i sin tur vilar på pre-kambrisk kristallin berggrund (urberg) (Nielsen & Schovsbo, 2007). I sandstenen förekommer ofta skikt med gröngrå lerskiffer. Alunskiffern överlagras av en upp till 100 m mäktig ordovicisk kalksten med överliggande kvartära avlagringar (se figur 5). Då området är veckat och bildar en synklinal varierar djupet till

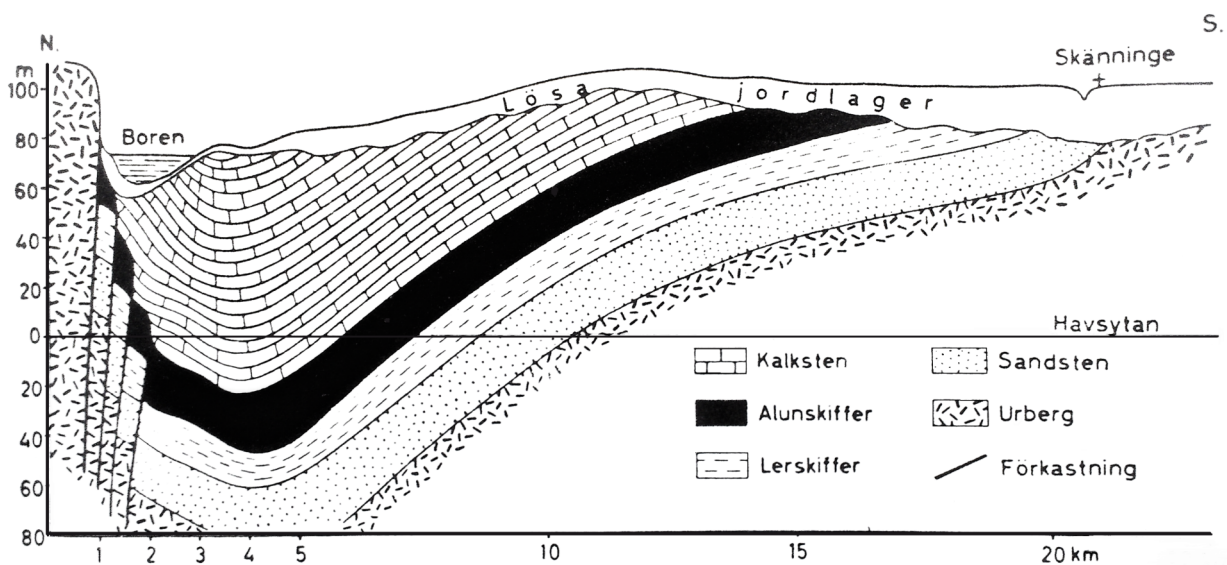


Fig. 5. Tvärsnitt över Östergötlands litologi. Modifierad från Hessland & Armands (1978).

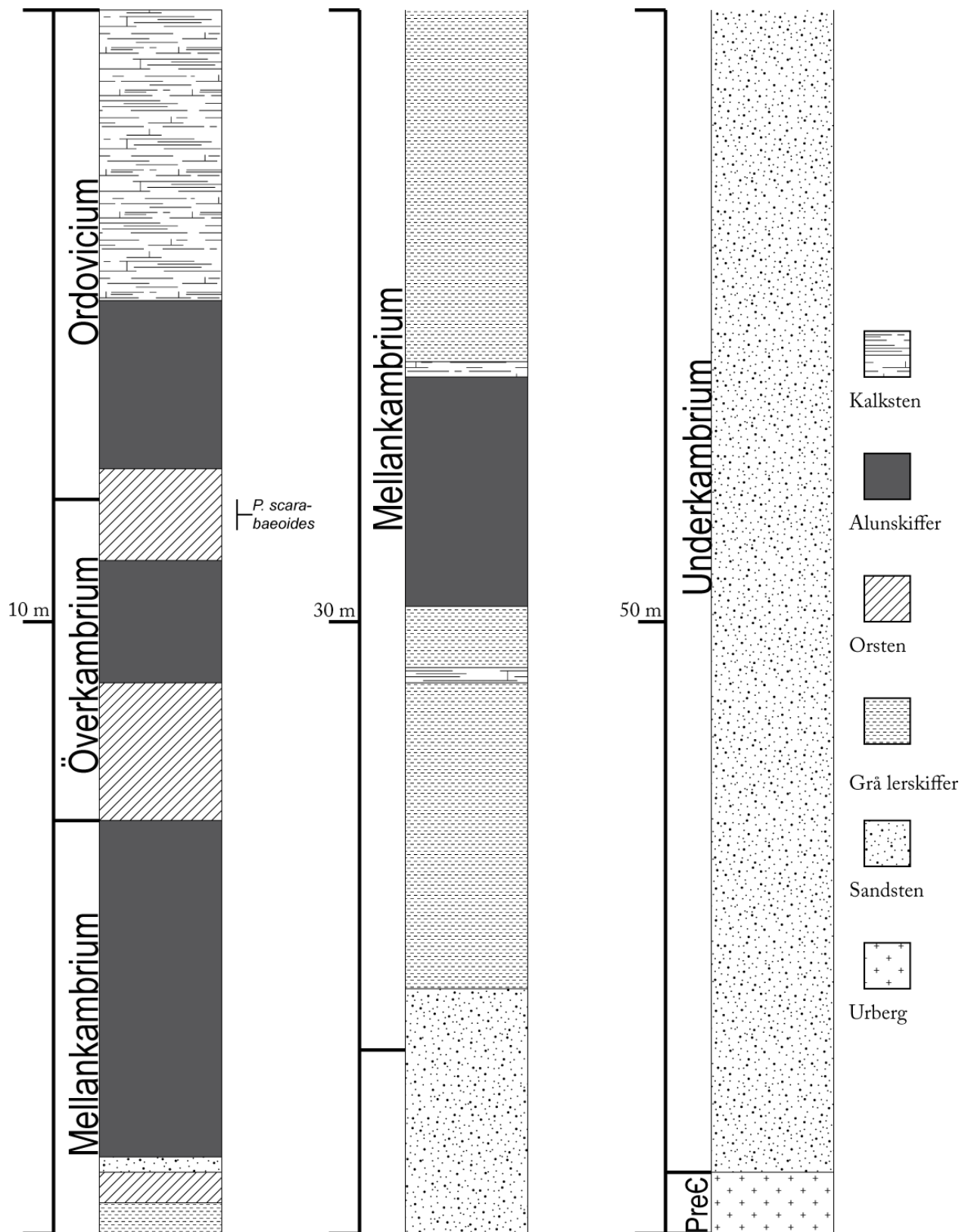


Fig. 6. Borrhål från Tornby. Alunskiffer förekommer även i lagrena med orsten. I sandstenen förekommer ofta inslag av lera och urberget är till en början vittråd. Baserad på (Westergård, A.H., 1940)

alunskifferformationen och mäktigheten på den överlig- området östra delar.
 gande kalkstenssekvensen väsentligt (se figur 5). Synkli- Alunskifferformationen i Östergötland spänner över
 nalaxeln stupar i en västlig riktning vilket medför att tre epoker; mellankambrium, överkambrium och undre
 alunskifferformationen generellt är ytligare belägen i delen av ordovicium (tremadoc). Rikliga mängder orsten

Tabell 5. Tabellen visar *P. scarabaeoides*-zonen (från Hessland & Armands, 1978)

Borrhålslokal	Mäktighet (m)	Energivärde (MJ/kg)	Olja (%)	Svavel (%)	Vanadin (ppm)	Uran (ppm)
Ekön	0,9	9,1	3,6	7,8	800	230
Västana	1,4	8,8	3,9	6,6	500	179
Grankulla	1,2	8,5	3,6	7,1	1000	177
Knivinge	1,6	8,8	5,3	6,3	-	-
Borghamn	1,0	8,6	4,6	7,9	-	170

och även sandsten förekommer i alunskiffern. Både insprängd i alunskiffern men även som hela lager. Orsten finns främst i över kambrium där den ofta bildar konglomeratiska lager och utgör uppskattningsvis ca 25 procent av alunskiffern (Hessland & Armands, 1978).

Alunskiffern kan delas in i tre delar, från melankambrium till under ordovicium. I äldre litteratur benämns dessa som Paradoxidesskiffern, Olenidskiffern och Dictyonemaskiffern. Formationen kan vidare delas in i mindre biostratigrafiska zoner. I undre ordovicium, direkt ovanför kambrium, återfinns på flera håll en utbredd, ca 1 m mäktig, sandsten. Under sandstenen förekommer rikliga mängder orsten (Hessland & Armands, 1978). Östergötland har genomgått en stabilare geologisk utveckling till skillnad från exempelvis Skåne. Resultat av detta är en termiskt omogen bergart med högt innehåll av kerogen/TOC (Andersson et al., 1985).

- **Paradoxidesskiffern (M. kambrium)**

Ekonomiskt sett är detta den minst intressanta delen. Halten kerogen och uran ligger på mycket låga nivåer men alunskiffern i den här zonen är tämligen rik på aluminium (se tabell 2). Dessutom förekommer det stora luckor i lagerföljden där formationen växlar mellan alunskiffer och en grå-grön lerskiffer (se figur 6). Även tunna sandstenslager uppträder på flera nivåer. Största mäktigheterna finns strax sydväst om Ljungsbro, där mäktigheten uppgår till ca 6 meter. Inslag av sandsten förekommer rikligt.

- **Olenidskiffern (Ö. kambrium)**

Olenidskiffern är som mäktigast, ca 10 m, i de västra delarna i trakterna kring Vadstena, Omberg och Motala. Den uppvisar höga halter av kerogen och måttligt högt energivärde på nästan 9 MJ/kg. De högsta halterna av svavel, nickel och molybden i Östergötlands alunskiffer finns här (se tabell 3). De allra högsta halterna finns i en zon i den översta/youngsta delen som biostratigrafiskt benämns *P. scarabaeoides*-zonen. I den zonen har de högsta halterna av uran påträffats med halter upp emot 300 ppm. Zonen är endast ca en halv meter mäktig och finns inte representerad över hela alunskifferområdet utan kan på flera platser (främst i de södra delarna) istället utgöras av konglomeratisk orsten. Vidare beräknas ca 400 miljoner ton olja kunna utvinnas enbart från Olenidskiffern (Hessland & Armands, 1978).

- **Dictyonemaskiffern (Tremadoc, Ordovicium)**

Dictyonemaskiffern från undre ordovicium utmärker sig genom dess låga orstenhalt samt sitt kvartssandlager. Uranhalten är förhållandevis hög och får ur uransynpunkt anses vara det viktigaste lagret i Östergötland. Inslag av sandsten alunskiffern förekommer i relativt rikliga mängder och ovanför gränsen mellan kambrium och ordovicium finns på flera platser ett upp till 2 meter mäktigt sandstenslager. Även vanadin har sina högsta halter i denna del (se tabell 4). De största mäktigheterna återfinns i trakterna kring Vadstena (ca 9 meter).

Tabell 6. Sammanställning av gasanalyser (i volymprocent) vid ett antal borrhningar från 1930-talet (från Westergård, 1940).

Borrhål	CH ₄	N ₂	CO ₂	CO	H ₂ S	Övriga kolväten	Energivärde	Gasflöde
Vadstena	93,0	5,6	0,1	0,2	-	0,2	-	-
Bonderlunda	87,2	10,4	0,6	0,4	-	0,5	-	-
Broby A	78,6	14,5	0,0	0,0	-	6,9	-	60 m ³ /dygn
Broby B	69,6	19,1	0,0	0,0	-	11,3	-	60 m ³ /dygn
Bårstad	76,1	23,1	0,0	0,0	-	0,0	28,2 MJ/m ³	-
Granlund	58,4	40,5	0,1	0,0	0,3	0,0	21,7 MJ/m ³	20 m ³ /dygn
Tornby	70,7	28,8	0,1	0,0	-	0,0	26,2 MJ/m ³	15 m ³ /dygn

6.3 Fysikaliska och kemiska egenskaper

Svavelhalterna är tämligen låga, främst i sediment från mellersta kambrium och ordovicium. Mängden utvinningsbar olja ligger genomgående på ca 3 – 4 procent men betydligt lägre i mellankambriska lagerföljder. På sina håll kan över 5 viktsprocent av alunskiffern framställas till olja, främst i *P. scarabaeoides*-zonen.

Uran, vanadin och molybden är överlag anrikade i alunskiffern med mer än 10 gånger högre halter mot vad jordskorpan innehåller i genomsnitt.

Vanligt förekommande huvudelement är Si, S, Al, Mg, Na, K och Fe. Flera är blygsamt anrikade i alunskiffern men är samtidigt mycket vanligt förekommande i jordskorpan och har därför inget större ekonomiskt intresse.

Totalt för hela formationen rör det sig om ca 35 miljarder ton (Hessland & Armands, 1978), varav ca 12 miljarder är alunskiffer (Andersson et al., 1985). Den ekonomiskt sett mest intressanta zonen är *P. scarabaeoides*-zonen i övre delen av överkambrium. Här kan uranhalterna ligga på en bra bit över 200 ppm. Koncentrationerna av bland annat olja och uran i denna zon redovisas i tabell 5. Zonen är dessvärre mycket tunn, endast ca en halv meter.

6.4 Potential för gasutvinning

Inom östgötaslätten strömmar gas upp ur marken genom sprickor och spricksystem, främst i dagbrott där grundvattnet inte längre fungerar som en barriär. Gasen är biogen och även om den ursprungliga källan är alunskiffern förefaller en stor del av gasen vara magasinerad i den underliggande sandstenen. Hur gasen ansamlats i sandstenen är osäkert men troligtvis har den under högt tryck hindrats från att migrera uppåt och istället migrerat ner i den porösa sandstenen (Westergård, 1940).

Ett flertal borrningar utfördes i området på 1930-talet. Ur ett av dem, borrar 1934 ett par km utanför Vadstena (Broby), kunde man erhålla 60 m³ gas per dygn (Westergård, 1940). Totalt över hela alunskifferområdet beräknas ansevärliga mängder gas sippra upp men svårigheten ligger i att få all gas att sippra upp på ett ställe. Även markant sjunkande gasutströmning efter relativt kort tid (månader) är ett problem som konstaterats vid ett flertal borrhål. Därtill innehåller gasen höga halter av kväve och, vid åtminstone en provborrning (Granlund), förekom dessutom ansevärliga mängder giftigt svavelväte (Westergård, 1940).

Enligt gasanalyser från 1930-talet består naturgasen till 70 – 80 procent av metangas, på sina håll över 90 procent (se tabell 6). Återstående del består av kväve. På sina håll kan mängden övriga kolväten komma upp i 10 procent (Hessland & Armands, 1978). De höga kvävehalterna kan vara ett miljöproblem då de vid förbränning bildar kväveoxider.

Enligt sammanställd data från Andersson et al. (1985) från en publicerad rapport framgår att alunskiffers energivärde för gas och koks är ca 42 000 miljarder MJ (11 670 TWh) från ett totalt energiinnehåll på ca 59 000 miljarder MJ. 11670 TWh är lika mycket elenergi

som Öresundsverket i Malmö vid full kapacitet (3 TWh) producerar på nästan 3 900 år.

7 Diskussion

Östergötland är troligen inte intressant för utvinning av vare sig olja eller spårämnen, dels för att fyndigheterna är tämligen blygsamma och dels för att merparten av formationen befinner sig på relativt stora djup. Det senare utgör inga större problem vid utvinning av biogen gas men för exempelvis utvinning av uran måste underjordiska gruvor upprättas. Därtill kommer de blygsamma mäktigheterna att omöjliggöra en långsiktig brytning, vilket får konsekvenser då de ekonomiska fördelarna inte överkommer det miljöpolitiska motståndet.

Uranhalterna är låggradiga (< 1000 ppm). I medeltal genom hela alunskifferformationen i Östergötland ligger uranhalten på ca 150 ppm men inom vissa snäva biostratigrafiska lager (*P. scarabaeoides*) kan uranhalten ligga på 300 ppm. Mängden kolm i Östergötlands alunskiffer har inte kunnat specificeras och slutsatsen blir att inga nämnvärda lager med kolm existerar. Den kan därför inte bidra till några avsevärda uranhalter. Alunskiffer som en ekonomisk lönsam urankälla (malm) är i dagsläget inte aktuellt. Med många länders miljömedvetenhet, allmänhetens rädsla för radioaktivitet och utfasning av kärnkraft, kan det innebära att marknadspriserna på uran hålls låga. Uranbrytning innebär också hälso- och miljörisker. Uran är ett radioaktivt grundämne som i sönderfallskedjan bland annat yttrar sig i bildningen av radon som är ett annat radioaktivt grundämne som vid normala förhållanden är i gasform och vid inandning är mycket cancerogent. Brytningen innebär också risker för miljö och grundvatten. När sulfidmineraler (pyrit) utsätts för en oxidativ miljö oxiderar mineralet och frigör de bundna tungmetallerna. Flera av dessa kan vara mycket giftiga, exempelvis bly, kvicksilver och arsenik som riskerar att förorena mark och vatten. Vidare frisätts svavel som blir till svavelsyra och orsakar försurning (lågt pH) vilket kan skada vattenorganismer. Försurningen kan i sin tur leda till att ännu fler tungmetaller fälls ut.

Gällande övriga ämnen är halterna av vanadin och molybden intressanta och kan vara av ekonomiskt intresse. Med vanadinhalter som överstiger 1000 ppm skulle de kunna bidra till att en eventuell uranbrytning blir lönsam. Analys för flertalet andra spårämnen med hög association med uran saknas.

Olja förekommer i måttliga mängder och överlag beräknas ca tre procent av alunskiffers massa kunna omvandlas till olja. Kvalitetstypen är dock okänd. Kero-gentypen består av sapropel (typ I) och humus (typ III) där den sistnämnda har den största potentialen för gasutvinning, både termogent och biogent. Det är oklart hur humuskerogenet ansamlats i alunskiffern då inga egentliga landväxter existerade när alunskiffersedimenten avsattes.

Gasfyndigheterna i Östergötland bedöms som relativt intressanta samtidigt som utvinning kan ske utan stora ingrepp i naturen och förhoppningsvis utan hydraulisk spräckning. Gasen (metan) är mycket potent växthusgas,

mer så än koldioxid vilket innebär att om gasen utnyttjas och förbränns kan det till viss del ses som miljövänligt. Gasen, som till stor del ter sig vara magasinerad i sandstenen som ligger under alun- och lerskiffern, visar sig vara svår att utvinna av flera anledningar. Gasen är inte infångad och kan därför inte utvinnas på ett enkelt sätt. Vid de borrhål som genomfördes på 30-talet sjönk gasflödet dessutom avsevärt inom loppet av bara några veckor. Gasen innehåller även en del orenheter, bland annat kväve. Förbränning av kvävehaltiga bränslen bidrar till skadliga kväveoxidutsläpp som leder till försurning och allmän negativ miljöpåverkan. Även giftiga halter av svavelväte påträffades i ett borrhål vilket utgör hälsorisker. Mängden gas är svår att bedöma på grund av att gasformig materia kan komprimeras kraftigt vilket gör det mycket svårt att ta fram volymeräkningar.

Alunskiffern i Östergötland är i övrigt bristfälligt undersökt och de flesta av de fåtal borrhningar som har utförts är också mycket gamla. Nya borrhningar och kemiska analyser angående exempelvis förekomsten av sällsynta jordartsmetaller (REE) är önskvärt. Dessa metaller (17 st.) har stor betydelse för elektronik och högteknologisk industri. Idag har Kina i stort sett monopol på dessa metaller och efterfrågan för vissa av dessa förväntas öka. I jämförelse med Västergötland råder bristfälliga undersökningar vad gäller alunskifferns kemiska och mineralogiska sammansättning. Fler undersökningar bör genomföras. Den gamla litteraturen gör det delvis svårt att tolka borrhkärnor, loggar och figurer på grund av låg upplösning och oskärpa. Detta bör kompletteras med ny modern illustrationsteknik.

8 Slutsats

Alunskifferformationen utgör en väsentlig del av den kambrosiluriska berggrunden i Östergötland. Denna berggrund är genom förkastningar nedsänkt och begränsad till ett bågformat område mellan Omberg, Roxen och Motala (Östgötaslätten). Alunskifferns mäktighet varierar måttligt och är överlag ca 15 – 20 m. De största mäktigheterna har påträffats runt Motala-trakterna med ca 20

Tabell 7: Tabellen visar beräknade massa och volym av ekonomiskt intressanta fyndigheter i Östergötlands alunskiffer. Beräkningar är gjorda utifrån medelhalten från borrhningarna i Skåningstorp och Tornby (se figur 3) över förekomsterna av respektive spårämnen. Dessa halter i ppm har sedan multiplicerats med den totala mängden alunskiffer (12 miljarder ton). Oljeinhållet är baserat på data från Hessland & Armands, (1978). De erhållna värdena i tabellen är som bäst mycket ungefärliga och är inga exakta eller garanterade värden.

Utbredningsarea	Ca 500 km ²
Massa	12 miljarder ton
Uran	1,8 miljoner ton
Vanadin	8,1 miljoner ton
Molybden	1,2 miljoner ton
Olja	400+ miljoner ton

– 25 meter. Generellt sker en sänkning av mäktigheterna österut (mot Roxen). På grund av att berggrunden i området är veckad varierar djupet till alunskiffern med upp emot 100 m. Alunskiffern representerar tre olika tidsintervall: mellankambrium, överkambrium och den undre delen av ordovicium (tremadoc). De överkambriska och ordoviciska delarna av alunskifferformationen är ekonomiskt sett de mest intressanta. Eventuellt är också den underkambriska sandstenen av intresse vid gasutvinning. En sammanställning av mängden olja och spårämnen i alunskiffern redovisas i tabell 7.

- Mäktigheterna ligger på ca 15 – 20 m och täcker en area på ca 500 km²
- Djupet ned till formationen varierar med upp emot 100 m på grund av att formationen är veckad
- En stor del av formationen är ekonomiskt ointressant (mellankambrium) på grund av lågt innehåll av organiskt material och spårämnen
- Förutom olja, gas, uran samt möjligen vanadin och molybden bedöms inga andra spårämnen finnas i någon större mängd som skulle kunna vara ekonomiskt intressant
- Det är oklart hur kerogenet av typ III har tillförts alunskiffern
- Kemiska analyser för bland annat sällsynta jordartsmetaller saknas
- Mäktigheterna bedöms som för små för att säkerställa långsiktig brytning och utvinning av olja och uran/vanadin/molybden
- Gasen ter sig vara magasinerad i den underliggande sandstenen
- Gasmängderna bedöms som tämligen ekonomiskt intressanta men samtidigt anses utvinningen vara svår

9 Tack

Tack utgår till Per Ahlberg och Mikael Erlström för assisterandet av arbetet samt för hjälp med att skaffa fram litteratur.

Referenser

Ahlberg, P., 1989: Cambrian stratigraphy of the När 1 deep well, Gotland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 111*, 137–148.

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

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

Armands, G., 1972: *Geochemical studies of uranium*,

- molybdenum and vanadium in a Swedish alum shale.* Stockholm: Almqvist & Wiksell Stockholm University.
- Buchardt, B., Nielsen, A.T., Schovsbo, N. & Wilken, U.G., 1994: *Source rock potential and thermal maturity of lower palaeozoic black shales in southern Baltoscandia.* Copenhagen: University of Copenhagen.
- Dahlman, B. & Eklund, J., 1953: *Sveriges uranförande alunskiffer.* Hemlig.
- Gripen Gas., 2011. Gripen Gas AB. [Internet]: <http://www.gripengas.com/sv/prospektering> [Åtkomst 15 Maj 2013]
- Hessland, I. & Armands, G., 1978: *Alunskiffer. Underlagsmaterial Geologi.* Stockholm: Statens industriverk.
- Johansson, R. & Olsson, O., 1979: *Geofysiska metoder för kartering av alunskiffer.* Geofysikrapport 7913. Sveriges Geologiska Undersökning. 17 pp
- Kalinowski, B.E. et al., 2004: Microbial leaching of uranium and other trace elements from shale mine tailings at Ranstad. *Geoderma* 122, 177–194.
- 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.
- Price, L.C., 1997: *Origins, characteristics, evidence for, and economic viabilities of conventional and unconventional gas resource bases.* Washington: U.S. Geological Survey Bulletin 2146-L.
- Rice, D.D. & Claypool, G.E., 1981: Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas. *AAPG Bulletin* 65(1), 5–25.
- Robb, L., 2005: *Introduction to ore-forming processes.* Blackwell publishing. 373 pp.
- Schovsbo, N.H., 2002: Uranium enrichment shorewards in black shales: A case study from the Scandinavian Alum Shale. *GFF* 124, 107–115.
- Speight, J.G., 2011: *Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes.* 1st ed. Elsevier. 641 pp.
- Swanson, V.E., 1960: Oil Yield and Uranium Content of Black Shales. *US Geological Survey Professional Paper* 356-A, 1–44.
- Swanson, V.E., 1961: Geology and Geochemistry of Uranium in Marine Black Shales. *US Geological Survey Professional Paper* 356-C, 76–111.
- Thickpenney, A. & Leggett, J.K., 1987: *Palaeo-oceanography and Depositional Environment of the Scandinavian Alum Shales: Sedimentological and Geochemical Evidence.* In Stratigraphic distribution and palaeo-oceanographic significance of European early Palaeozoic organic-rich sediments, 157–171.
- Westergård, A.H., 1940: Nya djupborrningar genom äldsta ordovicium och kambrium i Östergötland och Närke. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 437, 1–72.
- Westergård, A.H., 1944: Borrningar genom alunskifferlagret på Öland och i Östergötland 1943. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 463, 1–22.

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

322. Kumar, Pardeep, 2012: Palynological investigation of coal-bearing deposits of the Thar Coal Field Sindh, Pakistan. (45 hp)
323. Gabrielsson, Johan, 2012: Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. (15 hp)
324. Lundgren, Linda, 2012: Variation in rock quality between metamorphic domains in the lower levels of the Eastern Segment, Sveconorwegian Province. (45 hp)
325. Härling, Jesper, 2012: The fossil wonders of the Silurian Eramosa Lagerstätte of Canada: the jawed polychaete faunas. (15 hp)
326. Qvarnström, Martin, 2012: An interpretation of oncoïd mass-occurrence during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (15 hp)
327. Ulmius, Jan, 2013: P-T evolution of paragneisses and amphibolites from Romeleåsen, Scania, southernmost Sweden. (45 hp)
328. Hultin Eriksson, Elin, 2013: Resistivitetsmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. (15 hp)
329. Mozafari Amiri, Nasim, 2013: Field relations, petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. (45 hp)
330. Saeed, Muhammad, 2013: Sedimentology and palynofacies analysis of Jurassic rocks Eriksdal, Skåne, Sweden. (45 hp)
331. Khan, Mansoor, 2013: Relation between sediment flux variation and land use patterns along the Swedish Baltic Sea coast. (45 hp)
332. Bernhardson, Martin, 2013: Ice advance-retreat sediment successions along the Logata River, Taymyr Peninsula, Arctic Siberia. (45 hp)
333. Shrestha, Rajendra, 2013: Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of aeolian sediments of Skåne, south Sweden. (45 hp)
334. Fullerton, Wayne, 2013: The Kalgoorlie Gold: A review of factors of formation for a giant gold deposit. (15 hp)
335. Hansson, Anton, 2013: A dendroclimatic study at Store Mosse, South Sweden – climatic and hydrologic impacts on recent Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growth dynamics. (45 hp)
336. Nilsson, Lawrence, 2013: The alteration mineralogy of Svartliden, Sweden. (30 hp)
337. Bou-Rabee, Donna, 2013: Investigations of a stalactite from Al Hota cave in Oman and its implications for palaeoclimatic reconstructions. (45 hp)
338. Florén, Sara, 2013: Geologisk guide till Söderåsen – 17 geologiskt intressanta platser att besöka. (15 hp)
339. Kullberg, Sara, 2013: Asbestkontamination av dricksvatten och associerade risker. (15 hp)
340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Victor, 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)
342. Sidenmark, Jessica, 2013: A reconnaissance study of Rävliiden VHMS-deposit, northern Sweden. (15 hp)
343. Adamsson, Linda, 2013: Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth. (45 hp)
344. Gunterberg, Linnéa, 2013: Oil occurrences in crystalline basement rocks, southern Norway – comparison with deeply weathered basement rocks in southern Sweden. (15 hp)
345. Peterffy, Olof, 2013: Evidence of epibenthic microbial mats in Early Jurassic (Sinemurian) tidal deposits, Kulla Gunnarstorp, southern Sweden. (15 hp)
346. Sigeman, Hanna, 2013: Early life and its implications for astrobiology – a case study from Bitter Springs Chert, Australia. (15 hp)
347. Glommé, Alexandra, 2013: Texturella studier och analyser av baddeleyitombvandlingar i zirkon, exempel från sydöstra Ghana. (15 hp)
348. Brådenmark, Niklas, 2013: Alunskiffer på Öland – stratigrafi, utbredning, mäktigheter

- samt kemiska och fysikaliska egenskaper. (15 hp)
349. Jalnefur Andersson, Evelina, 2013: En MIFO fas 1-inventering av fyra potentiellt förorenade områden i Jönköpings län. (15 hp)
350. Eklöv Pettersson, Anna, 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. (15 hp)
351. Acevedo Suez, Fernando, 2013: The reliability of the first generation infrared refractometers. (15 hp)
352. Murase, Takemi, 2013: Närkes alunskiffer – utbredning, beskaffenhet och oljeinnehåll. (15 hp)
353. Sjöstedt, Tony, 2013: Geoenergi – utvärdering baserad på ekonomiska och drifttekniska resultat av ett passivt geoenergisystem med värmeuttag ur berg i bostadsrättsföreningen Mandolinen i Lund. (15 hp)
354. Sigfúsdóttir, Thorbjörg, 2013: A sedimentological and stratigraphical study of Veiki moraine in northernmost Sweden. (45 hp)
355. Månsson, Anna, 2013: Hydrogeologisk kartering av Hultan, Sjöbo kommun. (15 hp)
356. Larsson, Emilie, 2013: Identifying the Cretaceous–Paleogene boundary in North Dakota, USA, using portable XRF. (15 hp)
357. Anagnostakis, Stavros, 2013: Upper Cretaceous coprolites from the Münster Basin (northwestern Germany) – a glimpse into the diet of extinct animals. (45 hp)
358. Olsson, Andreas, 2013: Monazite in metasediments from Stensjöstrand: A pilot study. (15 hp)
359. Westman, Malin, 2013: Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem. (15 hp)
360. Åkesson, Christine, 2013: Pollen analytical and landscape reconstruction study at Lake Storsjön, southern Sweden, over the last 2000 years. (45 hp)
361. Andolfsson, Thomas, 2013: Analyses of thermal conductivity from mineral composition and analyses by use of Thermal Conductivity Scanner: A study of thermal properties in Scanian rock types. (45 hp)
362. Engström, Simon, 2013: Vad kan inneslutningar i zirkon berätta om Varbergscharnockiten, SV Sverige. (15 hp)
363. Jönsson, Ellen, 2013: Bevarat maginnehåll hos mosasaurier. (15 hp)
364. Cederberg, Julia, 2013: U-Pb baddeleyite dating of the Pará de Minas dyke swarm in the São Francisco craton (Brazil) – three generations in a single swarm. (45 hp)
365. Björk, Andreas, 2013: Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva. (15 hp)
366. Karlsson, Michelle, 2013: En MIFO fas 1-inventering av förorenade områden: Kvarnar med kvicksilverbetning Jönköpings län. (15 hp)
367. Michalchuk, Stephen P., 2013: The Säm fold structure: characterization of folding and metamorphism in a part of the eclogite-granulite region, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
368. Praszkie, Aron, 2013: First evidence of Late Cretaceous decapod crustaceans from Åsen, southern Sweden. (15 hp)
369. Alexson, Johanna, 2013: Artificial groundwater recharge – is it possible in Mozambique? (15 hp)
370. Ehlorsson, Ludvig, 2013: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Åsumsfältet, Sjöbo. (15 hp)
371. Santsalo, Liina, 2013: The Jurassic extinction events and its relation to CO₂ levels in the atmosphere: a case study on Early Jurassic fossil leaves. (15 hp)
372. Svantesson, Fredrik, 2013: Alunskiffern i Östergötland – utbredning, mäktigheter, stratigrafi och egenskaper. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund