

2005 -02- 2 1

# Krossbergskvalitet och petrografi i den kambriska Hardeberga- sandstenen i Skåne

*Cecilia Jansson*

Examensarbeten i Geologi vid  
Lunds universitet - Berggrundsgeologi, nr. 181



Lunds univ. Geobiblioteket



15000

601138238

Geologiska institutionen  
Centrum för GeoBiosfärvetenskap  
Lunds universitet  
2005

106

# Krossbergskvalitet och petrografi i den kambriska Hardebergasandstenen i Skåne

CECILIA JANSSON

Jansson, C., 2005: Krossbergskvalitet och petrografi i den kambriska Hardebergasandstenen i Skåne. *Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet - Berggrundsgeologi*, 20 poäng, Nr 181, sid. 1–15.

**Abstract:** The Lower Cambrian Hardeberga Sandstone Formation of Scania, southern Sweden, consists of a basal arkosic sandstone unit, overlain by three vertically stacked, shallowing-upward sequences. These three sequences consist predominantly of light grey or whitish, quartz-arenitic sandstones deposited in shallow marine environments. The formation reaches a total thickness of about 120 m and is extensively quarried. At Hardeberga, east of Lund, the Hardeberga Sandstone is quarried and crushed, principally for roadbeds and for concrete aggregate. The quarry is operated by AB Sydsten. The succession in and outside the quarry is penetrated by Permo-Carboniferous dolerite dikes.

The technical properties of the sandstones vary within the quarry, both laterally and vertically. Factors that determine the quality and the strength are mineralogical composition, grain size, type of intergranular contacts, and degree of silica cementation. Various analyses are carried out at the laboratory used by AB Sydsten, but their results are not unequivocal. For this study, 32 samples were taken in the Hardeberga quarry. Thin sections were prepared and the composition, grain size, cementation, and matrix were analysed under a microscope. The samples were then divided into three quality groups: group A with the best quality for production of macadam, an intermediate group B, and group C, which is not suitable for production of macadam with high strength. These groups are relatively easy to use for classifying various sandstones in the Hardeberga quarry, but require geological expertise by the operating company.

**Keywords:** Sandstone, petrography, technical properties, strength, Cambrian, Hardeberga, Scania, Sweden.

**Sammanfattning:** Detta examensarbete har som mål att förklara de faktorer som inverkar på ett stenmaterials hållfasthet samt hur Sydsten AB ska kunna bedöma hållfastheten utifrån tillgängliga metoder. Vid Hardeberga öster Lund finns ett stenbrott där Sydsten producerar ballast av en hård, kambrisk sandsten, den s.k. Hardebergasandstenen. Sandstenen är vit eller ljusgrå, ca 535–520 miljoner år gammal och deponerades i ett grunt hav. Den består till största delen av kvarts och förutom olika spårffossil är den mycket fossilfattig. Hardebergasandstenen är i området minst 120 meter mäktig.

För att spara på tillgången av naturgrus har användningen av krossberg ökat. Kraven på krossbergets kvalitet, främst hållfastheten, varierar beroende på olika användningsområden, och det är viktigt att inte använda en bättre kvalitet än vad som krävs för ändamålet. Olika analyser och standardiserade metoder görs på Sydsten AB:s laboratorium. Även om resultatet bör bli det samma med de olika metoderna och analyserna, visar det sig ändå finnas variationer. De olika faktorer som påverkar krossproduktens hållfasthet är särskilt kemisk och mineralogisk sammansättning, intergranulära kontakter och cementering, kornstorlek samt vilken krossmetod som används. En hög halt hårda mineralkorn, t.ex. kvartspartiklar, ger t.ex. en bättre kvalitet liksom bra cementering och "rätt" form på kornen. 32 prover togs i stenbrottet. Dessa punkträknades i mikroskop och har kunnat delas in i tre olika kvalitetskategorier. Grupp A är av bäst kvalitet, B utgör en mellangrupp och C innehåller de prov som är av lägst kvalitet.

**Nyckelord:** Sandsten, krossberg, petrografi, hållfasthet, bergkvalitet, kambrium, Hardeberga, Skåne, Sverige.

C. Jansson, Geologiska institutionen, Avdelningen för Berggrundsgeologi, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

I stenbrottet vid Hardeberga utanför Lund (Fig. 1) bryter Sydsten AB en hård kvartsitisk sandsten för bland annat makadam- och ballasttillverkning. Då kvalitén på krossberget skiljer sig åt mellan olika delar av brottet, är Sydsten AB intresserat av att få fram en enkel och säker metod för att kunna skilja de olika kvalitéerna åt på ett så tidigt stadium som möjligt. Företaget har funnit till synes oförklarliga variationer i kvalitén på krossmaterialet. Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) provtog delar av lagerföljden i Hardebergabrottet och undersökte bergarterna med avseende på bergkvalité och kemisk sammansättning (Arnbom *et al.* 1998). Studien hade till syfte att undersöka eventuella samband mellan avstånd till en diabasgång och sandstenens uppbyggnad, förekomst av accessoriska mineral och/eller kvarts cementets uppbyggnad. Analyserna gjordes med hjälp av traditionell ljusmikroskopi samt elektronmikroskopi med baksckatterteknik (BSE) och energidispersiv röntgen-punktanalys. SGU har i sin rapport noterat att mineraliseringar och leromvandling utgör svaghetszoner i berggrunden, samt att ju fler sprickor som fanns i lagerföljden då diabasgångarna trängde upp, desto sämre kvalitét har bergarten idag.

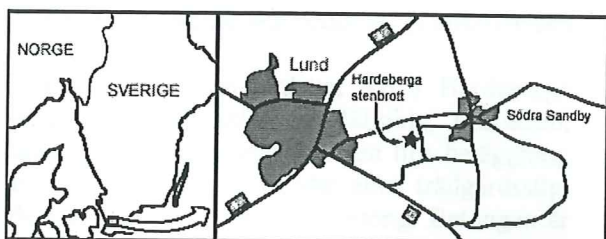


Fig 1. Karta över Lund-Södra Sandbyområdet med Hardebergabrottets lokalisering. Modifierad efter Axheimer & Ahlberg (2003).

Syftet med detta arbete är att ge en bakgrund till ballastförbrukning och de mekaniska egenskaper som är av vikt för studier kring hållfasthet och kvalitet i teknisk användning. Vidare diskuteras kvalitetsvariationerna i Hardebergasandstenen och de faktorer som styr variationen.

## Prognos för grus- och krossituationen i Sverige

Idag har man av miljöskäl som mål att öka användningen av krossberg för att minska konsumtionen av naturgrus. Fram till år 2010 vill man inom kommunerna att användandet av krossberg ska uppgå till minst 70 % av hela produktionen. Målet i Miljövårdsprogrammet för Skåne från 1998 innebär att andelen krossberg ska öka, för att år 2000 utgöra minst 80 % av totalförbrukningen i Skåne.

I dag omfattar verksamhetsområdet i Hardeberga ca 71 ha och brytningsområdet 32 ha (Rundlöf *et al.* 1998). Sydsten AB har ansökt hos Länsstyrelsen om att få utöka sin verksamhet och bryta djupare (Rolfsson 1999). Företaget räknar med att det finns 15 miljoner ton sandsten kvar att bryta i den befintliga täkten och att den med dagens produktionstakt ska vara i ca 30 år (Sydsten AB 1998). Ur resurshushållningssynpunkt har man som regel att inte använda grusmaterial av högre kvalitét än vad som krävs (Länsstyrelsen 1988). Uppgifter om hur mycket naturgrus och krossberg, som produceras varje år, finns från 1989 och uppgår till 4 miljoner ton i nordvästra Skåne. Av detta är ungefär en miljon ton krossberg. Förbrukningen uppgick samma år till 3 miljoner ton eller ca 11 ton per person (Grushushållningsplan NVS 1993). Enligt SGU:s rapport (1998) om produktion och tillgångar av sand, grus och krossberg är den totala redovisade kvantiteten av ballast i Skåne län 1997 drygt 7 miljoner ton. Under 1996 och 1997 var det mycket låg verksamhet inom byggbranschen. Detta avspeglas i produktionen av naturgrus där minskningen blev 0,66 miljoner ton (Länsstyrelsen 1999).

I Lunds kommun bröts 1997 ca 2,1 miljoner ton krossberg (SGU 1998). I nordvästra Skåne har kommunerna gjort uppskattningen att naturgrusets varaktighet sannolikt är kortare än 50 år. Genom att nyttja naturgruset till endast betongballast kan man förlänga varaktigheten till 500 år (Grushushållningsplan NVS 1993). I Hardebergabrottet beräknas det att det sannolikt återstår 4/5 av den uppskattade volymen (Länsstyrelsen 1988). I SGUs databas, grusdataarkivet, där ca 14 000 grus-, 600 morän- och 1 500 bergförekomster finns med, finns inventeringar och information om material

lämpliga för makadamframställning (SGU 1998). Enligt beräkningar kommer det framtida behovet att minska från 11 ton per person till 10 (SGU, 1998).

## Analysnormer, kvalitetskrav och problem

Det ställs olika krav på krossbergsprodukter beroende på vad de ska användas till. Störst krav ställs på material till vägbyggnad. Lägre är de krav som ställs på material till enkelt utfyllnadsmaterial, betong eller asfaltsbeläggning. Analysförfarandet och metoderna är standardiserade, men ger inte alltid ett representativt resultat, eftersom resultatet ofta är beroende av vilken fraktion som har analyserats. Det har visat sig att grövre fraktioner vanligen ger sämre resultat än finare. Detta kan sannolikt bero på att mikrosprickor, inhomogeniteter och andra "hållfasthetsfel" får större betydelse i de grövre fraktionerna (Länsstyrelsen 1988). Många av bedömningarna för en bergarts hållfasthet blir subjektiva, vilket inte ger en rättvisande bild av resultatet. Den första subjektiva bedömningen görs redan i fält, då en stuff ska tas för närmare undersökningar. Ett problem är att det inte finns entydiga objektiva definitioner av hur bergarternas kvalitet ska bedömas (Länsstyrelsen 1988).

Krosstenen från Sydsten AB i Hardeberga säljs främst till asfaltframställning, makadam, ballast, samt där man vill ha en ljus beläggning av vägen, t.ex. en grusväg eller trädgårdsstig. Bergkrosset säljs också till betong. Betongen är av höghållfasthetskvalité och tål extrema 150 MPa (normalt ligger hållfastheten på 45 MPa hos sandsten). Till betong och ballast är de fraktionerna 4–8 mm och 11–16 mm som används. Enligt Sydsten AB kom 1997 krav på kulkvarnsvärden på krossten som ska användas till asfaltbeläggning. Olika trafikklasser har olika normvärden där det "bästa" värdet är <6. Mycket kvartsit och porfyre får importeras, då inte mycket svensk krossten uppnår detta värde. Då Sydsten AB laboratorium främst undersöker kvalitén genom okulär besiktning, med och utan ljusmikroskop, samt med kulkvarnstester, bör metoden kompletteras med tunnslipsanalys och elektronmikroskopi.

En viktig metod i sammanhanget är s.k. kulkvarnstest. Kulkvarnsvärde definieras som den mängd kross över 2 mm som är kvar av ett prov efter att det tumlats i en trumma tillsammans med stålkulor och vatten. Det finkorninga materialet väger man och det utgör grunden för kulkvarnsvärdet. I en Los Angeles-trumma krossas materialet istället för, som i en vanlig kulkvarn, nötas sönder (Holmgren 1999). Sydsten AB vill gärna att deras kulkvarnsvärde ska komma ner till värden under 10, helst till 8, för att kunna vara konkurrenskraftiga på marknaden.

På väglaboratoriet i Umeå utförs prover på olika material. Nu används "Los Angeles-talet" för att prova olika stenmaterials kvalitéer. Flisigheten provas också på de olika materialen. Värdena styrs genom att man krossar materialet ett krossteg mellan varje provning av kulkvarnsvärde. Kulkvarnsvärdet på obundna lager analyseras på Väglaboratoriet enligt Metodbeskrivning 610:1997 (Vägverket). Andra metoder som används är t.ex. FAS-metoder och SS (Svenska Standard). FAS-metod 221-89 riktar sig på kornfördelningen hos ett krossat prov medan FAS-metod 209-94 är flisigheten. Flisigheten är förhållandet mellan stenens medelbredd och dess medeltjocklek. Sprödhetstalet räknas ut som vikten av det material över 8 mm som finns kvar efter att det krossats, delat med den vikt provet hade från början. Den fraktion man använder är 8–11.2 mm. De parametrar som man på Väglaboratoriet tittar på är slipvärde, flisighetstal, vattenkänslighet, siktkurvor, glimmerhalt, sprödhetstal samt kulkvarnsvärdet. Kvartsit ligger bra till på en skala mellan bra och dåliga stenmaterial, medan t ex skiffer är mycket sämre (Holmgren 1999). Ett lågt sprödhetstal, dvs under 40, betecknar ett mycket segt material. Sliptal under 100 visar på en mycket hård bergart. För vägbeläggning är sliptal under 120 önskvärda (Länsstyrelsen 1988).

I ett möte 1995 bestämde Vägverket att provberedning till kulkvarn ska ske i två krossteg med käftkross. Steg 1 ska ha en öppning av 30 mm och steg 2 ha 13.5 mm. Flisigheten vid provning ska vara 1.35 +/- 0.05. Provningen ska ske enligt FAS-metod 259-95 och flisighetstalet ska anges (Vägverket 1995). Vägverket har gett ut en teknisk beskrivning (Vägverket 1994) för

vägkonstruktioner, där alla parametrar som ett material måste uppfylla, finns. Där finns krav på värden på kulkvarn för material till cementbetong och obundna slitlager på <9 respektive <30. Vägverket delar in allt bergmaterial för vägändamål i tre delar efter beständighet, hållfasthet och petrografi. Grupp 1 är den mest hållfasta och grupp 3 den sprödaste. Hardebergasandstenen tillhör grupp 1. Bergarter i denna grupp är mycket hårda och hållfasta och har inga kulkvarnsvärden över 18 (Vägverket 1994).

### *Krossmetoder*

Man kan styra vilket kulkvarnsvärde man får genom att krossa materialet i flera steg. Detta var lättare med de metoder man tidigare använde (kulkvarn i kombination med sprödhetstal då man fick framställa fraktionen 11–16 i en labkross).

I Hardeberga har man fyra olika krossteg. I den första krossen ska blocken vara högst 1,8 x 1,2 meter för att få plats. I den sista krossen är storleken på blocken nere i 0,8 x 1,2 meter. Redan i sprängsalvan kan man styra hur stora block man vill ha. I fjärde steget i krossningen sker kubiseringen. Belastningen är mindre än i de andra stegen. Detta steg finns alltid med vid nedkrossningen. Ibland kan man nämligen hoppa över steg 2 eller 3, beroende på vilken sorts bergart det rör sig om. Olika belastning i krosstegen ger olika storlekar. Sydsten AB har märkt att vid samma typ av process så får olika delar av tälten olika kulkvarnsvärde. Hur processen görs är viktig, då t.ex. mycket fint material tas bort redan i förkrossningen. Detta kan ge ett bättre värde i kulkvarnen än om ett helt okrossat material använts.

### **Egenskaper hos granulärt stenmaterial och dess betydelse för hållfastheten**

De tekniska egenskaperna hos olika granulära material beror av berggrundens struktur och bergartens textur (Erlström 1995). Egenskaperna hos granulära eller partikulära material kan skilja sig då de blandas i t.ex. asfalt. Asfalten kan beskrivas som ett kompositmaterial, där både bindemedlets och de ingående stenmaterialens egenskaper påverkar den färdiga produkten

(Berg 1998). Bergartens stabilitet och motståndskraft mot nötning beror av faktorer som kornform, fraktion, sammansättning samt partiklarnas textur (Fig. 2a). I ett material finns parametrar som grad av kompaktering och gradering som styr hur det beter sig i t.ex. en asfaltsblandning (Berg 1998). I ett tekniskt sammanhang betraktas granulära material oftast som kontinuerliga och homogena, trots att de till sin natur egentligen är både diskreta och oordnade, dvs. de består av en mängd klart avgränsade fysiska kroppar vilka inbördes inte har någon ordnad packningsstruktur. Att det generaliseras beror på att det finns ett behov av att kunna hantera materialets egenskaper och parametrar i olika typer av uträkningar och oftast är denna generalisering accepterbar (Berg 1998). Granulära material innehåller två olika faser, partikelvolym (fast fas) samt porvolym (gas eller vätskefas) (Berg 1998). Troadec & Dodds (1993) anser att det finns tre olika aspekter av oordningen i materialet. Dels är det den geometriska oordningen i materialet, dvs. partiklarnas läge. Sen är det hur ordnad sammansättningen av partikelstorlek och kemi är i materialet (även kallat sortering och mognad hos materialet). Sammansättningen av partiklar med olika egenskaper bildar en ordning som är av betydelse för hållfastheten. Den sista aspekten är kontaktpunkternas ordning. Kontaktpunkterna är viktiga för kraftöverföringen i materialet och därmed också hållfastheten.

### *Interpartikulära kontakter och cementering*

Troadec & Dodds (1993) skriver om tre olika typer av interpartikulära kontakter, varigenom krafter inom det granulära materialet kan överföras. Den första beskrivs som de aktiva kontakterna (Fig. 2b). Det är hos dessa som de interpartikulära kontaktkrafterna kan överföras. Den andra kontakten är den geometriska, dvs. den kontakt som bildas då partiklar ligger an mot varandra utan att några krafter genereras. Den tredje och sista kontakten beskrivs som de falska kontakterna. Här finns ingen kontakt än men avståndet mellan partiklarna är så litet att vid en ökad belastning kan kontakt uppkomma. Kontakterna mellan partiklarna har stor vikt vid ett materials makroskopiska egenskaper och tätheten mellan de aktiva lastbärande kontaktpunkterna är mycket avgörande. Ett

material med stor täthet av aktiva kontaktpunkter har en mycket bättre förmåga att fördela en belastning över en stor yta och på så vis skapa ett mindre slitage än ett material med glest mellan kontakterna.

Generellt anser man att porositeten ökar när man övergår från sfäriska till polyedriska element. Kontaktytorna blir också olika, vilket kan ses t.ex. i en jämförelse mellan naturgrus och krossberg. Sfäriska partiklar har kontaktytor i form av punkter vari det vid låg packningsgrad uppkommer en viss glidning och rotation. Om partiklarna är polyedriska kan kontakterna både utgöras av punkter och/eller större ytor då partiklarna ligger an mot varandra. De polyedriska materialen låser fast partiklarna på ett bättre sätt (Fig. 2b) och är därmed av stabilare struktur (Berg 1998). Materialets inre struktur har en direkt påverkan på dess mekaniska egenskaper både i mikroskala (enskilda partiklar), mesoskala (grupperingar av några partiklar) samt makroskala (global struktur) (Berg 1998).

#### Densitet

Enligt Berg (1998) fann Dunlap (1966) vid sina försök med kalksten och naturgrus i triaxialförsök, att deformationen hos proverna stod i relation till dess ursprungliga densitet. Prover med låg densitet deformerades mer än de med högre densitet. Densiteten föreföll ha större betydelse för deformationsegenskaperna än både partikelform och hårdhet. Dessa upptäckter har senare bekräftats av flera andra forskare (Berg 1998). Med hjälp av densiteten kan man få en översiktlig bild av hur mycket av olika mineral en bergart innehåller. En högre densitet kan indikera en större mängd tyngre mineral. Hardebergasandsten har relativt låga densiteter (Länsstyrelsen 1988).

#### Mineralogi

Kvarts,  $\text{SiO}_2$ , är ett slitstarkt mineral och bergarter med högt kvartsinnehåll (Fig. 2b och c) är vanligen beständiga mot nötning (Länsstyrelsen 1988; Erlström 1995). Kvarts är ett av de vanligaste mineralen i sandstenar och är termodynamiskt stabil. Ofta är bergarter med kvartscement fria från inklusioner och spårelement (Pettijohn *et al.* 1987). Mine-

ralinnehållet har stor betydelse för hållfastheten hos en bergart. Hur hårda mineralen är som ingår och vilket nötningsmotstånd de har bestämmer i sin tur bergartens motståndskraft. (Länsstyrelsen 1988; Erlström 1995) Ett bra fogningsmönster ger också bra hållfasthet (Länsstyrelsen 1988).

Kalcit är ett mjukt mineral, liksom glimmermineralen, som lätt nöts ner (Erlström 1995). Kalcit är vanlig i sandsten som porfyllnad och som ersättningscement efter något annat mineral som försvunnit, t.ex. genom en omdeponering (Pettijohn *et al.* 1987). Kalifältpater kan vara lättspilttrade utmed svagheter i kristallgittren (Erlström 1995).

Lermineral har alla en kristallstruktur i form av tunna skivor. Mineralen kan lätt sönderdelas utmed skivorna. De finns ofta som matrix i sandsten (Fig. 2d). I och med bioturbation har vissa prov fått en sämre sortering och porositeten minskar (Fig. 2e). Djur har rört om lermineralen och blandat dem med kvartskornen (Pettijohn *et al.* 1987). Som cement i en sandsten är kisel mycket stabilare och mer svårösligt än kalcit. Den vanligaste formen av kiselcement är sekundära tillväxter på kvartskornen, s.k. "overgrowth" (Fig. 2c) (Pettijohn *et al.* 1987).

#### Kornstorlek

1972 visade Barksdale att granulära materials deformationsegenskaper är känsliga vad gäller halten av finmaterial (Berg 1998). Ett material bör ha så hög densitet som möjligt (se ovan). Är de finkorniga fraktionerna i materialet överrepresenterade, ger detta en sämre motståndskraft mot permanenta deformationer. Dock menar forskare, som t.ex. Sweere (1990), att man bör ha kvar en del finkornigt material i sammansättningen, för om man tar bort dessa kan inte materialet kompakteras lika väl och uppnå samma höga densitet (Berg 1998). Erlström (1995) noterar att finkristallina bergarter i allmänhet har bättre hållfasthet än grovkristallina med samma sammansättning. Detta skulle bero på att svagheter i kornen inte har så stor möjlighet att breda ut sig i små korn som de har i större. Risken för uppsprickning vid långa korngränser minskar också.

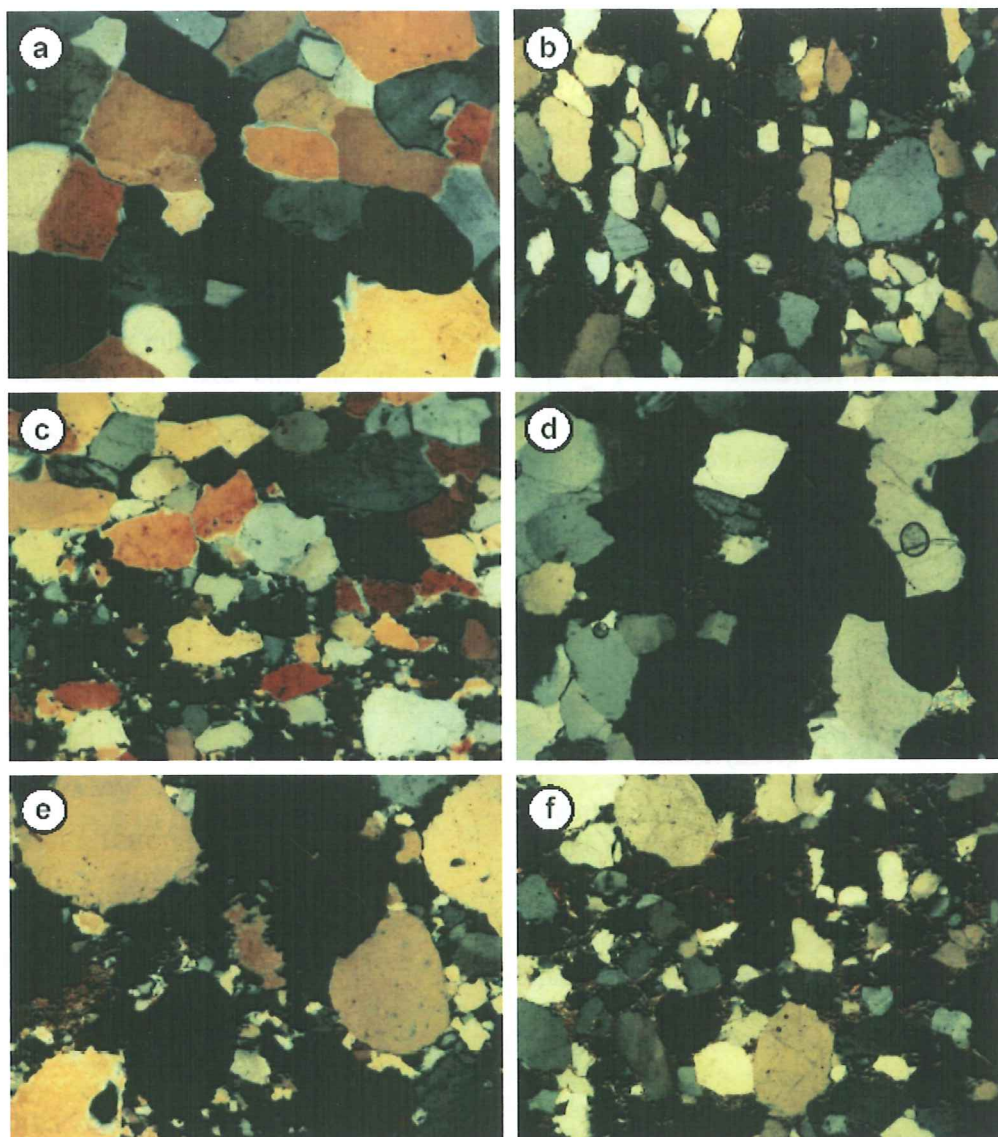


Fig. 2. Tunnslipsfoton. Proven har i bland klassificerats till andra resultat än just det som bilden vill visa exempel på. Detta kan bl.a. bero på att det finns skiftningar i provet. Provet kan t.o.m. bestå av två olika facies.

a Provet kommer från nr 5 och kategori B. Mellan kvartskornen finns matrix av finare kornstorlek. Genom att analysera ett prov så här kan man bedöma kornform, fraktion, sammansättning samt partiklarnas textur.

b Denna bild är från prov 1. Detta prov tillhör kategori A och är därmed ett av de material som anses bra. I provet syns de aktiva kontakterna mellan mineralkornen samt hur de polyedriska kornen låser fast i varandra. Det finns även tryckupplösning och overgrowth vid vissa korn. Bilden visar ett högt kvartsinnehåll.

c Detta är en del av prov 4 och klass A. Provet har ett högt kvartsinnehåll. På en del av mineralkornen finns det tecken på overgrowth av kalcit.

d Här ser vi en närbild på prov 3 ur kategori B. Mellan kvartskornen finns matrix av finkornigare material. I detta prov kan dessutom en tydlig gräns mellan två olika facies noteras. Den övre delen av bilden visar en relativt välcementerad kvartsit och den undre delen visar en kvartsit med mycket finmatrix, eventuellt p.g.a. omfattande bioturbearing.

e Prov 2 ur kategori B. Relativt dålig sortering och låg porositet.

f Ett exempel från prov 6 och kategori C. Denna kategori är den minst hållfasta och det kännetecknas bl a av en överrepresentation av de finkornigaste fraktionerna av materialet. Det finns gott om matrix mellan kvartskornen och inget cement.

### Andra inverkanse faktorer på hållfastheten

Berg (1998) visade att spänningars variabilitet ökar som en funktion av partikelstorleken, samt att spänningar visar en anmärkningsvärd stor variation i sammansatta bergkrossfraktioner. Han menar också att sammansatta fraktioner får en större interpartikulär kontakt och därmed en mer välutvecklad låsning mellan kornen. Partiklarnas form och ytråhet var av mindre betydelse vid Bergs spänningsförsök.

Flikiga fogar mellan mineralen i en bergart, ger högre hållfasthet än raka eller mosaikformade. Skikt av sekundära omvandlingsmineral mellan mineralkornen försvagar fogstyrkan ytterligare (Erlström 1995). Tryckupplösning, och även interlocking, ökar hållfastheten då friktionen mellan kornen ökar (Fig 2b) (Pettijohn *et al.* 1987). Sprickor i bergarten, även mikroskopiska, minskar hållfastheten (Erlström 1995). Även partiklarnas form har en inverkan på hållfastheten genom att kubiska material anses vara mer fördelaktiga än flisiga (Länsstyrelsen 1988).

### Hardebergasandstenens förekomst och bildningsmiljö

I området kring Hardeberga öster om Lund går Skånes äldsta kambro-silurlager i dagen (Norelius 1917; Bergström *et al.* 1982). Hardeberga stenbrott är beläget just där den NV-SO strykande Romeleåsens proterozoiska berggrund stupar mot nordväst för att försvinna under paleozoiska lager (Bergström & Ahlberg 1998).

Den kambriska sandstenen är exponerad på flera ställen i Skåne, däribland kring Hardeberga och Röstånga samt i sydöstra Skåne vid Simrishamn, Brantevik, Vik, Kiviks Esperöd och Andrarum (Lindström & Staude 1971; Hamberg 1990; Ahlberg & Bergström 1998).

I Hardeberga är sandstenen minst 120 meter mäktig och uppdelad i fyra formationer (Fig. 3): Hardebergaformationen (Bergström *et al.* 1982; Ahlberg & Bergström 1998), Norretorpformationen, Rispebjergsandstenen och Gislövformationen (Ahlberg 1984). De tre lägre formationerna består till största delen av strand- och kustfacies, medan Gislövformationen består av skalrik kalksten och lerfacies (Ahlberg 1984)

(Fig. 3). Hardebergaformationen har även fått ge namn åt likåldriga bergarter, vilka återfinns på t.ex. Bornholm (Carsrud 1994). Hardebergaformationen utgör större delen av undre kambrium i Skåne (Ahlberg 1984; Ahlberg & Bergström 1998), och den vilar direkt på den proterozoiska kristallina grunden.

Skåne		
Underkambrium	Gislövformationen	
	Rispebjergformationen	
	Norretorpformationen	
	Hardebergaformationen	Tobisvikenheten
		Brantevikenheten
		Vikenheten
		Lunkabergenheten

Fig 3. Litostratigrafisk indelning av underkambrium i Skåne. Efter Kleman (2001).

Hardebergaformationen delas i sin tur in i fyra members (Fig. 3): 1) Lunkaberg-, 2) Vik-, 3) Brantvik- och överst (4) Tobisvikmembers (Ahlberg & Bergström 1998). Det går att urskilja flera olika facies. Underst i Hardebergaformationen finns en basal, 15–25 meter tjock, ofta arkosisk (fältspatrik) sandsten (Lunkabergmembers). Denna sandsten består av en succession sediment som i den undre delen är bildade under fluvial inverkan. Lagren blev sedan avskurna av marin erosion. Ovanpå Lunkabergmembers har avsatts tre marina sekvenser (Vik-, Brantvik- och Tobisvikmembers), 30 till 50 meter tjocka. De tre sekvenserna är separerade ifrån varandra genom erosionsytter. Dessa avlagringar deponerades som ett resultat av regionala transgressionsrörelser norrut. Var och en av dessa tre sekvenser är uppdelade i tre dominerande faciesassociationer, bestående av prograderande strandlinjer med barriäröar, dominerade av tidvatten och vågor. En annan trend som återfinns, är den vertikala utvecklingen från avlagringar från den inre shelfen till tidvattenkanaler bakom barriärerna. (Hamberg 1990 och 1991) Dessa visar på en progradering



av barriäröarna genom kustparallell drift och ackumulering av sand i de grunda strandnära delarna och shelfzonerna (Ahlberg & Bergström 1998). Bankarna är 0.9-2 meter mäktiga med en strykning från NV-SO och en stupning på 6-10° mot väster.

Enligt Hamberg (1990) kan man urskilja tre dominerande faciesassociationer (depositions-miljöer) i Hardebergaformationen. Underst finns de deltaiska avlagringarna (i Lunkabergsandstenen), som är deponerade direkt på den vittrade proterozoiska berggrunden. Över dessa finns sediment från en tidvattendominerad kustmiljö. Dessa sediment har eroderats av transgressioner och överlagrats av inre shelfsediment, vilka avsattes i en stormominerad miljö. Hamberg menar att man kan följa denna sekvens, av tre olika depositions-miljöer, i en serie om tre (Fig. 4). Tolkningen är att diskontinuiteten bildats som en följd av transgressioner.

Hardebergasandstenen har i huvudsak bildats i en grund marin miljö (Ahlberg & Bergström 1998, Norelius, 1917; Carserud 1994). Den är skiktad och uppvisar en mångfald sedimentära strukturer, såsom böljeslagsmärken, torksprickor och korsskiktning (Hamberg 1990; Ahlberg & Bergström 1998).

Sandstenen är ljusgrå med färgskiftningar och av mycket god kvalitet (Carserud 1994). Den skiftar i färg, från ljusgrå till starkt röd- och grönfärgad. Färgskiftningarna beror på att det infiltrerat olika ämnen i stenen, som t.ex. järnoxid (Norelius 1917). Det förekommer även olika typer av utfällningar av t.ex. svavelkis, flusspat, blyglans (Norelius 1917), fluorit samt sällsynta ådror av blyglans (Bergström & Ahlberg 1998), främst vid förkastningarna (Norelius 1917). Mineraliseringen tros ha tillkommit under perm-karbon (Bergström & Ahlberg 1998). I sandstenen är det även vanligt att finna kalcit. Detta är oftast det senast bildade mineralet (Hadding 1929).

Hardebergaformationen uppvisar mycket liten variation utseendemässigt om man tittar på en borrhärla (Bergström & Ahlberg 1998). Mellan de ljusgrå kvartsareniterna finns lager med mörk ocementerad lersten. Den senare motsvarar mindre än 10 % av den totala volymen sandsten. De mörka lagren är tabulära och kan följas upp till 10 meter lateralt.

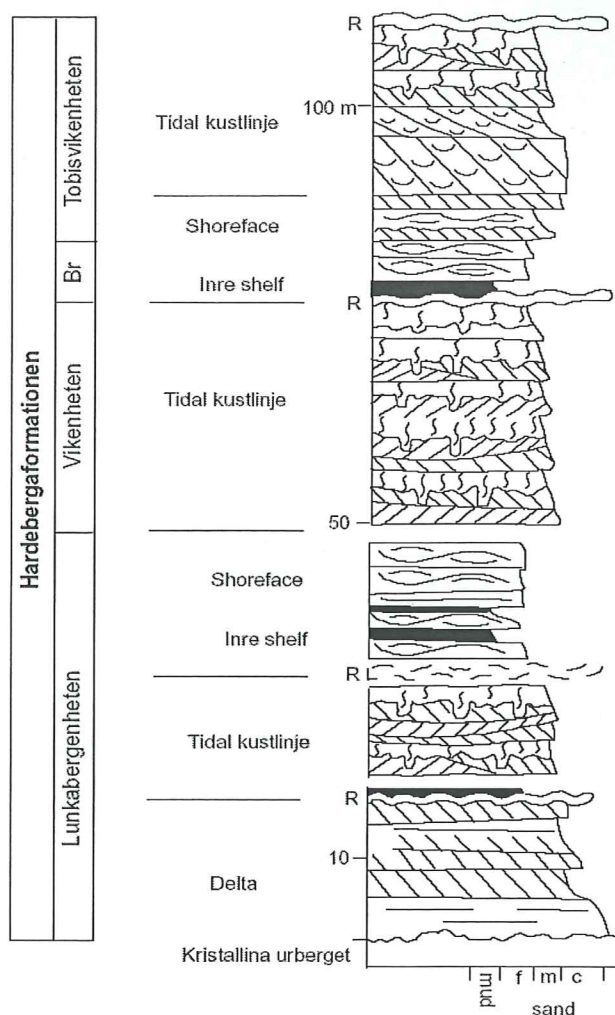


Fig. 4. Logg över Hardebergaformationen som visar olika enheter i detalj. Man kan se de olika facies-associationer (depositions-miljöer) som återkommer; deltamiljö, tidal kustlinje samt den inre shelfen. Modifierad efter Hamberg (1991, fig. 3).

Hardebergasandstenen är oftast mycket fossilfattig, men i vissa lager kan spårfossil vara vanliga. Bland spårfossilerna märks särskilt *Skolithos errans*, *S. linearis*, *Diplocraterion parallelum*, *Planolites* sp. och *Didymaulichnus* sp., medan *Syringomorpha nilssoni* och *Psammichnites gigas* förekommer mera sparsamt (Hadding 1929; Hamberg 1991; Ahlberg & Bergström 1998;).

### Post-depositionell påverkan

Ca 300 miljoner år efter att sandstenen bildades, utsattes Skåne för en omfattande vulkanism. I

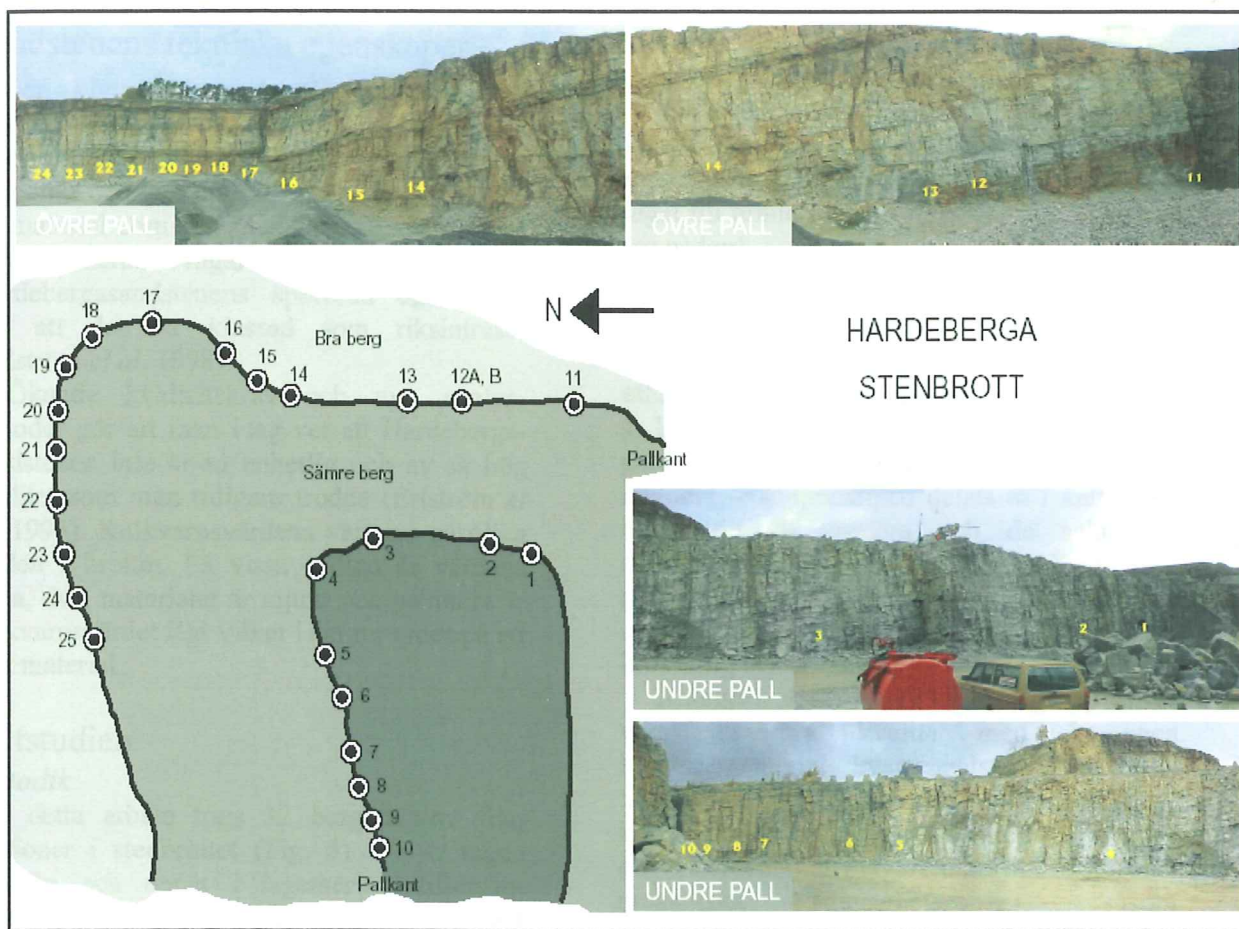


Fig. 5. Översiktsbild över Hardebergabrottet. Notera hur formationen är uppdelad i olika bankar samt att lagerföljden stupar. Den ritade bilden visar brottet ovanifrån med de två bankarnas lokalisering samt provpunkternas placering. Provnummer H-CJ25 till och med H-CJ30 saknas på bilden då de ligger utanför brottet. De är tagna i lager som ligger över den översta av de två pallar man idag bryter från. Eftersom lagren stupar så kan man följa lagerföljden genom att flytta sig lateralt längs bankarna. Bilderna visar de två olika bankarna som sprängts idag. Dessa är ca 20 meter höga vardera. De övre två bilderna visar den översta pallan och de två under den nedersta. Indelningen i bra och sämre berg på den ritade kartan har gjorts av Sydsten själva.

och med detta trängde diabas upp i sprickor. Diabasen värmdelokal upp berggrunden (Carsrud 1994) och hydrotermala lösningars migration i berggrunden ledde till bildning av mineral som kalcit, flusspat och blyglans (Erlström *et al.* 1998). Diabasmagmans temperatur kan ha varit så hög som  $1170^{\circ}\text{C}$  (Winkler & Weitz 1956). Diabasgångarna uppvisar alla en NV-SO strykning (Winkler & Weitz 1956; Sydsten 1998). I fält går det inte att se några indikationer på mineralförändringar i kontakten med diabasgångarna. Kvarts cementeringen och den stora kompaktionen tyder på en djup begravning av berggrunden (Möller & Friis 1999).

Med de hydrotermala lösningarna har flytande kolväten efterlämnat pyrobitumen i sandstenen, vilket annars inte normalt går att

finna i sandstenar som avsatts i fluviala eller grunda marina miljöer. Detta skulle tyda på att sandstenens reservoirkvalité skulle ha varit god under denna tid. I dag är däremot bergarten mycket kompakterad och dessutom cementerad med kvarts, och har därför mycket låg porositet och permeabilitet. Pyrobitumen har missfärgat den intergranulära leran (matrixen). Härav kan man sluta sig till att leran har bildats innan lösningarna med kolväten migrerade genom stenen. Då kvarts fyller allt det återstående utrymmet måste kolvätena ha migrerat även innan kvarts cementet bildades. De små mängder pyrit som identifierats i slipen bildades under migrationen av kolväten för sedimentet i sig innehåller inget svavel som grund för en senare bildning av pyrit (Möller & Friis 1999).

## Sandstenens tekniska egenskaper

Stenen klyver sig i kantiga stycken med relativt jämna brottytor. Den uppvisar förstaklassiga analysresultat ur teknisk synpunkt och den uppfyller de krav som ställs på material som får användas till slitlager på hårt trafikerade vägar (Länsstyrelsen 1988). Hardebergasandstenens speciella egenskaper gör att den är klassad som riksintresse (Erlström *et al.* 1998).

Ökande kvalitetskrav och nya analysmetoder gör att man idag vet att Hardebergasandstenen inte är så enhetlig och av så hög kvalitet som man tidigare trodde (Erlström *et al.* 1998). Kulkvarnsvärdena varierar på olika ställen i brottet. På vissa ställen är värdena höga, dvs. materialet är mjukt och på andra är kulkvarnsvärdet lågt vilket i sin tur tyder på ett hårt material.

## Fältstudien

### Metodik

Till detta arbete togs 32 bergartsprov från sektioner i stenbrottet (Fig. 5). De är tagna nerifrån och uppåt i lagerserien. Eftersom lagerföljden stupar svagt mot nordväst (Bergström & Ahlberg 1998) gick det att följa lagren från den nedre pallen och därefter längs den övre. Prover (ca 2 kg/st) togs genom att en bit av sandstenen slogs loss med en hammare. Därefter märktes det med ett nummer. Från varje prov sågades en skiva som blev råmaterialet till ett tunnslip. Efter ljusmikroskopering polerades slipen och fick täckglas.

Studiet av tunnslip har fokuserat på egenskaperna beskrivna under rubriken "Egenskaper hos granulärt stenmaterial och dess betydelse för hållfastheten", samt med en övergripande beskrivning av utseendet (inklusive t.ex. sprickor och porer). Sorteringsgraden har bedömts enligt sorteringsklasser baserade på Folk & Ward's formel och rundningsgraden efter en skala av Power (Tucker 1994, 1988). Mineral-sammansättningen har studerats genom punkträkning. Antalet räknade punkter för varje slip har begränsats till 150, eftersom variationen i slipen var mycket liten. Ett antal tunnslip, karakteristiska för olika kategorier, valdes ut och studerades i elektronmikroskop

med backscattered teknik (BSE) och energi-dispersiv röntgen-punktanalys.

Faktorer som färg, skiktning, grävspår, kornstorlek m.m., har analyserats okulärt eller med ljusmikroskop. Resultatet har därefter legat till grund för en kategorisering av proven (se nedan).

## Resultat

Samtliga tunnslip har delats in i tre kategorier efter hur hållfastheten har bedömts vara, tabell 1. Detta har gjorts utifrån tidigare diskuterade parametrar och med hjälp av ovan redovisade metoder. När tunnslipen delats in i kategorier har både de primära och de sekundära egenskaperna undersökts och bedömts. De primära i form av avsättningskaraktäristika och cementering och de sekundära i form av krossning och sprängning.

*Kategori A:* Proven i denna grupp anses vara av bra kvalitet med homogen kvarts-cementerad kvartssandsten (Fig. 6a). Stenen i sig är ljusgrå, ibland med laminering, korsskiktning och plana bäddar. Proven visar en väl-cementerad bergart utan mikroskopiska mekaniska svaghetszoner såsom mineraliserade mikrosprickor och lerfyllda skjuvplan. Tryckupplösning och interlocking är vanligt förekommande. Det finns endast mycket små porer kvar då i övrigt alla utrymmen är fyllda av kiselcement. Porositeten är därmed mycket liten. Eftersom tätheten mellan de aktiva kontaktpunkterna är stor klarar materialet också en större belastning än ett mindre tätt material (Fig. 6b). Kornen i denna grupps prov är något rundade vilket medför att hållfastheten är något högre när de är hårt packade såsom i Hardebergasandstenen. Det förekommer rikligt med påväxter ("overgrowth") på kvartskornen av sekundärt kvarts (Fig. 6c). Det finns mycket lite matrix i proven och inte heller mycket fältspat. Det lilla matrix man hittar i proven kan hjälpa till att höja densiteten i materialet (då det fyller ut tomrum) och på så sätt få upp hållfastheten en bit. Det går heller inte att hitta större mängder kalcit i dessa prov. Detta gör också att densiteten är något högre hos proven i A-gruppen än i C-gruppen. Högre halt av kalcit ger lägre densitet och lägre hållfasthet.

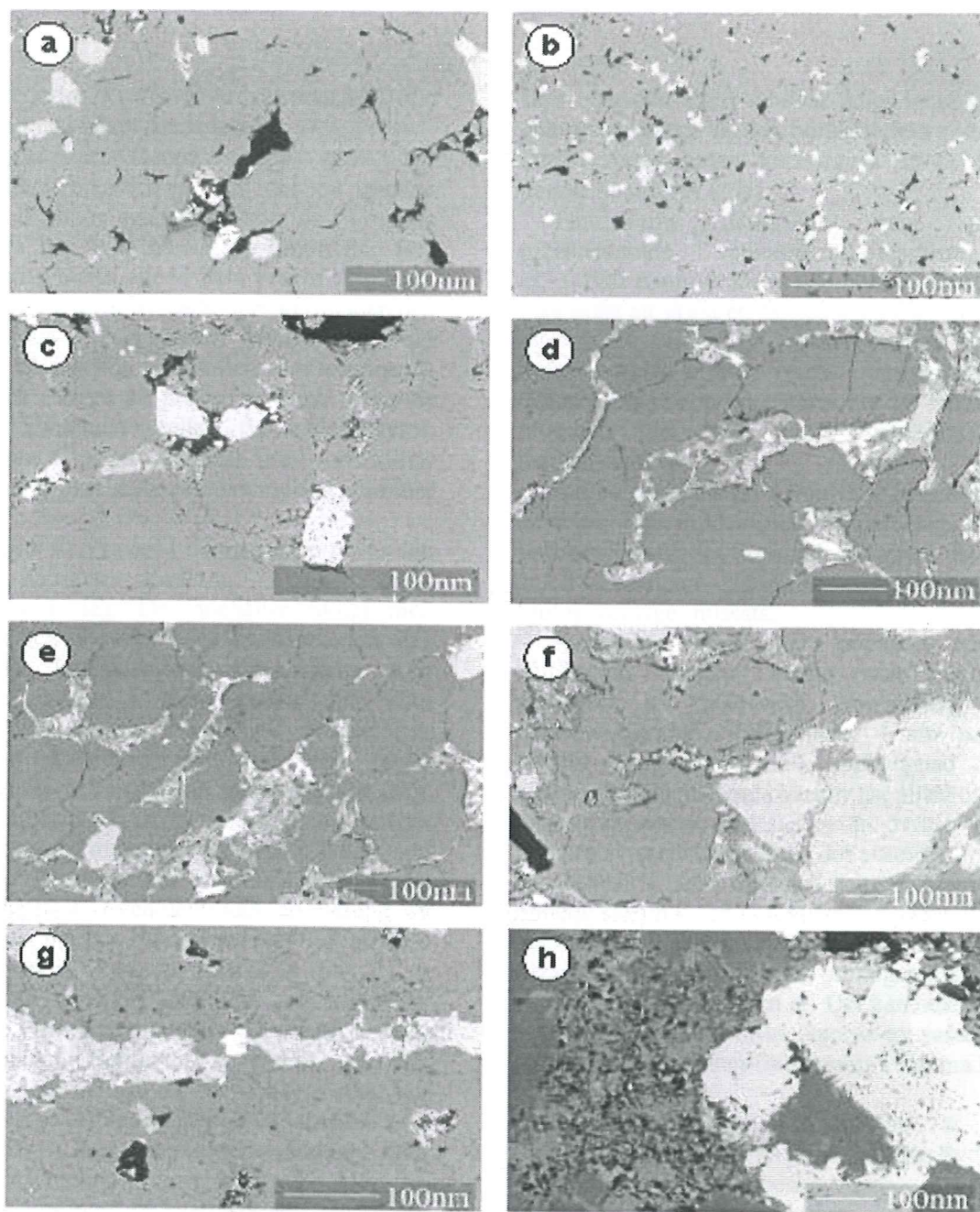


Fig. 6. Tunnslipsbilder tagna med backscattered teknik av valda prover.

- a. Exempel på kategori a från provnummer 8. Kvaliteten är bra med välcementerad kvarts. De svarta hål som syns på bilden är från slipningen. Det är alltså inte porer som finns i materialet ursprungligen utan har uppkommit då den hårda bergarten har slipats ner till tunnslip.
- b. En representant från prov 8. Även här finns en del porutrymme som skapats sekundärt vid nedslipningen. Provet är välcementerat och tätheten hög. Därför har provet lagts till kategori a.
- c. Från provnummer 11, visar overgrowth på kvartskornen. Det skulle vanligtvis göra att provet hamnar i kategori a men då det innehåller relativt mycket matrix hamnar det i kategori c.
- d. Ur kategori b (c) hämtas detta prov nummer 2. Här finns kalcitcement samt matrix i rikliga mängder.
- e. Exempel från kategori b (c), provnummer 2. Detta är en mindre förstoring av samma prov som figur d. Provet innehåller förhållandevis mycket glimmer vilket drar ner hållfastheten avsevärt.
- f. I prov nr 25 från kategori c finns det relativt mycket glimmer. Provet visar även på dålig cementeringsgrad och hög andel matrix.
- g. I prov 24 (kategori b) finns en kalcitfylld spricka. Denna gör att hållfastheten försämras hos bergarten. Oftast har dessa prov lagts i kategori c men om provet endast innehållit någon enstaka kalcitfylld spricka och i övrigt har bra egenskaper har de, liksom detta prov, hamnat i kategori b.
- h. Prov 12b innehåller en del porer och det finns heller inte mycket kvarts cement mellan kvartskornen på just denna bild. Dock har provet tilldelats kategori a då det visar bra hållfasthetsparametrar i övrigt (hög cementeringsgrad m.m.).

A-kategoriens kvartsiter är väl sorterade, ofta bimodala, med något rundade korn.

*Kategori B:* Denna grupp prov har intermediära egenskaper. En del av proven uppvisar liknande egenskaper som de i gruppen ovan men har även homogent finfördelad lera som matrix, bitvis eller i hela provet (Fig. 6d). Även kalcit i form av både sprickfyllnader och cement finns i några prov. Många slip visar sprickor, både fyllda (med kalcit eller lermineral) och öppna. Några av proven i denna grupp är tagna i kontakten mellan två olika facies. Sorteringen är oftast dålig. De prov som tillhör denna grupp innehåller relativt mycket glimmer (Fig 6e).

*Kategori C:* Proven i denna grupp är av den mindre hållfasta kvaliteten. Andelen rena kvartskorn är låg. De innehåller rikligt med lermatrix och lite eller inget kvartsitcement alls (Fig. 6f). Lerinklusioner förekommer som isolerade fläckar i stora porer eller som intergranulär matrix. Några av proven har homogena kalcitmineraliseringar och några innehåller även kalcitfyllda mikrosprickor (Fig. 6g). Sprickorna, även de kalcitfyllda, innebär svaghetszoner i materialet. Mängden kalcit drar också ner densiteten hos materialet och gör det mindre hållfast. Eventuellt kan en ökning av fältspaterna märkas i denna grupp (Fig. 6h). En del av proven (t.ex. nr H-US02A och 2) är bioturberade, vilket medför en minskad sortering. Proven har en dålig eller mycket dålig sorteringsgrad. Bergarten är mörkt grå och grönaktig. På många av bergartsproverna kan man tydligt se grävspår. Tvärtemot kategori A så finns här inga tryckupplösningar eller interlocking mellan kornen. Inte heller finns det någon "overgrowth" på kvartskornen.

## Diskussion

En stor felkälla uppkommer redan då provet tas i form av ett bergartsprov i fält. Eftersom det är geologen med sin hammare som bestämmer var provet ska tas, blir urvalet subjektivt. Det är inte helt slumpmässigt var provet tas. Kanske måste man rätta sig efter framkomligheten eller att det är så svårt att få loss en stuff från ett visst ställe att man väljer ett annat. Redan då skottskalvan skjuts skiljs delar av materialet ut. När bankarna

åker iväg och slår i marken faller leran sönder och är på många ställen bortskilt från resten av stenen redan innan krosstegen. Större leriga partier försvinner alltså.

Fältspaterna förefaller vara under-representerade i punkträkningsresultaten vid EDX/BSE kontroll. Detta kan bero på att det kan vara svårt att skilja ett fältspatkorn från ett vittrat kvartskorn genom att enbart studera dem i ljusmikroskop. När prov undersöktes i elektronmikroskop upptäcktes att det fanns mer fältspater än vad som upptäckts vid punkträkningen.

Det har tagits ett prov från varje nivå i brottet. Eftersom lagerföljden lutar har den följts nästan horisontellt och det finns risk för att en del prov är från samma lagernivå eller att viktiga litologiska lager missats.

Avsättningsmiljön har påverkat dagens hållfasthet, liksom lokala och regionala skillnader i diagenetisk omvandling och cementeringsgrad. Detta beror i sin tur på lagrens mikrotexturella uppbyggnad och kvartshalt. Vissa laterala bankar har alltså bättre, respektive sämre, egenskaper än övriga. I den grönare av sandstenen finns det avsevärt mycket mer lermatrix och i och med detta mindre andra mineral såsom kalcit och fältspater. Detta gör att man direkt i fält kan se var sämre delar av berggrunden finns i och med att färgskillnaden är så pass markant som den är. Det kan också vara svårt att urskilja de olika typerna av sandsten i fält, då flera olika kan förekomma i samma bädd (Hadding 1929).

En fråga som bör ställas är om kulkvarnstesterna görs på "rätt" sätt hos Sydsten. Vägverket har ett beslut som säger att provberedningen till kulkvarn ska ske i två krossteg medan man i Hardeberga krossar sitt material fyra gånger. Vilka resultat man får på sina kulkvarnstester beror på vilken fraktion som analyserats (Länsstyrelsen 1988). Ju fler gånger och ju mer ett provmaterial krossats, desto större del finkornig matrix har fallit bort och desto bättre värden får man vid ett provtillfälle. Eftersom man vet att man kan styra värdena man får genom att krossa olika mycket innan provtagning bör resultaten ses med kritiska ögon. Kulkvarn mäts hos Sydsten AB på 1 kg provkross som körs i en tumla med stålkulor i en timme.

Tabell 1. Tabell över de tunnslip som gjorts av proverna från Hardebergabrottet. De prover som har beteckningar som börjar med H-US är tunnslip som lånats av SGU från deras pilotstudie. De som har prefixet H-CJ är de som är gjorda för denna uppsats. Tabellen tar upp de olika parametrar som mätts och analyserats. Värdena visar i procent av det totala innehållet. Kornstorleken samt sorteringsgraden (enligt Folk & Ward's formel) har bedömts och slutligen kornrundningen enligt Power. Kategoriseringen till en viss klass har gjorts med stöd av de resultat som finns i tabellen.

prov nr	kulkuvarn	kategori	lermatrix	kvarts	fältspat	glimmer	porer	Kvarts cement	Kalcitcement	sprickfyllnad	% mineraliseri	kornstorlek	Sorterings grad	Korn rundning
H-US01		A	14,0	78,0			2,0	6,0					välsort	
H-US2a	6,8	A	5,3	76,6	0,6		0,6	15,3			1,3			
H-US2b		A	3,3	77,3		2,6	0,6	16,0						
H-US03	8,4	C	9,3	73,3		3,3		13,3			0,6		dåligt	
H-US04	6,8	A	4,6	82,6		0,6		12,0					välsort	
H-US05	56,8	C	36,0	60,6		2,0					1,3			
H-US06	43,5	C	34,6	59,3			0,6				5,2			
H-US07	8,1	B		80,6				6,6	6,0		6,6		dåligt	
H-US08	9,9	B	2,0	76,6	1,3	0,6		14,6			4,6			
H-US09a		A	5,3	79,3				14,0			1,3			
H-US09b		B	6,6	80,0	0,6			10,6			2,0		dåligt	
H-US10	7,5	A		81,3	1,3			14,0			3,3			
H-US11	6,8	B		72,6	0,6			16,6	1,3	kalcit, 4	4,6			
H-US12	6,6	A	4,0	82,6	1,3		3,3	8,6						
H-CJ01		A	4,0	78,0		4,0		14,0				0,6-0,8	välsort	subrund
H-CJ02		B(C)	31,0	53,0		2,0	4,0		10,0			0,2	dåligt	subang
H-CJ03		B	4,0	68,0;72,0		5,0;0		23,0;18,0			2,0	0,1;0,5	dålmkt välsort	subang/rund
H-CJ04		A		66,0	8,0		4,0	22,0				0,8	mkt välsort	subrund
H-CJ05		B	6,0	78,0		2,0		14,0				0,2;1,0	välsort	rundade
H-CJ06		C	16,0	69,0			1,0	14,0				0,2-0,5	dåligt	subang
H-CJ07		B	13,0	66,0				16,0		lermin 5		0,5-1,0	måttligt	subang
H-CJ08		C		69,0	1,0			30,0				0,1-0,5	dålmvälsort	subrund
H-CJ09		A	7,0	88,0				5,0				0,1-0,7	dåligt	subrund
H-CJ10		B	21,0	77,0				2,0				<0,5	mkt dåligt	subang
H-CJ11		C	28,0	69,0			1,0	2,0				0,3	dåligt	subang
H-CJ12A		C	31,0	66,0			1,0	2,0				0,2	dåligt	subrund
H-CJ12B		A		77,0			2,0	21,0				0,2	välsort	subrund
H-CJ13		C	1,0	68,0			1,0	12,0	18,0			0,2	mkt välsort	subang
H-CJ14		A(B)	19,0;1,0	87,0;78,0				12,0;3,0				0,1	mkt välsort/mått	subang
H-CJ15		A		89,0				11,0				1,0	mkt välsort	rundade
H-CJ16		A		84,0				16,0				0,3	välsort	subrund
H-CJ17		B		68,0				14,0	18,0			0,8	mkt välsort	rundade
H-CJ18		A		85,0	2,0	1,0		12,0				0,3	välsort	subrund
H-CJ19		A	1,0	85,0				14,0				1,5;0,3	måttligt	subang
H-CJ20		A		88,0				12,0				0,5	mkt välsort	subang
H-CJ21		B		74,0				14,0		kalcit 8	4,0	0,5	välsort	rundade
H-CJ22		A		90,0		2,0		8,0				1,5	mkt välsort	subang
H-CJ23		A		77,0	1,0			22,0				1,0	välsort	rundade
H-CJ24		B		54,0	18,0			8,0	6,0	kalcit 14		0,3	mkt välsort	angular
H-CJ25		C	28,0	64,0		4,0		2,0			2,0	<0,5	dåligt	angular
H-CJ26		C	18,0	56,0	6,0			16,0	4,0			0,5;0,2	dåligt/måttl	subang
H-CJ27		A		64,0	8,0			16,0	2,0			0,6;0,1	välsort	angular
H-CJ28		A		70,0	2,0		6,0	22,0				0,8;0,1	välsort	subrund
H-CJ29		B		76,0	8,0			14,0	2,0			1,2-0,1	dåligt	subrund
H-CJ30		C		66,0	18,0			2,0	8,0	kalcit i klump	2,0	0,2	mkt välsort	ang/very ang

Kvarts har som mineral en lägre densitet (2.6) än kalcit (2.7). Ökar densiteten hos ett prov, ökar också kulkuvarnsvärdet. Det vill säga att desto mer kalcit i provmängden, desto tyngre prov och mindre hållfast berg. Detta kan vara ett (mindre

noggrant) sätt att skilja ut sämre bitar berg från de bättre. Då man vid krossningen kan styra hur det färdiga provet ska bete sig i olika undersökningar kan detta ge upphov till feltolkningar. I SGU:s rapport stämmer t.ex. inte

alltid resultatet från en tunnslipsanalys med det som sedan erhållits från en fysikalisk analys med t.ex. kulkvarn. Detta kan bero på att sämre berg har sorterats bort från provet i krossnings- och siktprocessen och inte kommit med i den undersökta mängden. Hur krossningen görs kan alltså påverka det färdiga krossets mätbara egenskaper.

## Slutsats

Grovt räknat kan Sydsten klara sig med att okulärt analysera sitt material och sedan testa det i kulkvarn för att urskilja bra och dålig krossten. Vet man var i brottet man har olika typer av litologier och var det finns stora mängder sten med högst matrixinnehåll, kan man redan innan krossningen sortera bort detta för att undvika att få sämre material med i den färdiga produkten som därigenom tappar i hållfasthet.

## Tack

Främst vill jag tacka mina handledare Anders Ahlberg, Per Ahlberg och Mikael Calner som hjälpt mig igenom examensarbetet. Dessutom vill jag tacka alla andra som varit inblandade i arbetet med genomläsning, faktakontroll m.m..

Särskilt tack vill jag ge Takeshi Miyazu för hans välbehövliga hjälp med att såga ut bitar till tunnslipen ur mina stuffer. Det hade jag aldrig klarat utan dig!

En annan person som ska ha tack för sitt stora tålamod med mina stuffer är Rikard Anehus. Jag vet att Hardebergasandstenen inte är lätt att göra tunnslip av!

Till sist måste jag få tacka en av de viktigaste personerna på Geologen – Margaretha Kihlblom. Utan din hjälp hade inte Geologen varit vad den är! Tack för att du finns och håller ordning på oss!

## Referenser

- Ahlberg, P., 1984: The lower Cambrian sequence in Skåne, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 106, 380–381
- Ahlberg, P. & Bergström, J., 1998: The Cambrian of Scania. Publicerat i: P. Ahlberg

- (red.) *Guide to excursions in Scania and Västergötland, southern Sweden. Lund Publications in Geology* 141, 20–23.
- Arnbom, J. O., Erlström, M. & Sivhed, U., 1998: *Bergkross, kambrisk sandsten*. Redovisning av internt FoU projekt, projektkod 5235. Sveriges Geologiska Undersökning. 30 sidor.
- Axheimer, N. & Ahlberg, P., 2003: A core drilling through Cambrian strata at Almbacken, Scania, S. Sweden: trilobites and stratigraphical assessment. *GFF* 125, 139–156.
- Barksdale, R. D., 1972: Laboratory evaluation of rutting in base course materials. *Proceedings, Third International Conference Structural Design of Asphalt Pavements*, Vol. 1, 161–174, London.
- Berg, A., 1998: *Granulära stenmaterials mekaniska egenskaper*. Publ. A 87, Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 95 sidor.
- Bergström, J., Holland, B., Larsson, K., Norling, E. & Sivhed, U., 1982: Guide to excursions in Scania. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca* 54, 1–95.
- Bergström, J. & Ahlberg, P., 1998: Excursion localities in Scania; Stop 7. Hardeberga Quarry: Publicerat i: P. Ahlberg (red.) *Guide to excursions in Scania and Västergötland, southern Sweden, Lund Publications in Geology* 141, 28–31.
- Carserud, L., 1994: *Geologiska sevärdheter i Skåne II*. Geodeon, BTJ Tryck AB, Lund. 80 sidor
- Dunlap, A.W., 1966: *Deformation characteristics of granular materials subjected to rapid, repetitive loading*, Ph.D. Thesis, Texas A & M University.
- Erlström, M., Sivhed, U., Arnbom, J-O., 1998: *Bergkross, kambrisk sandsten*. Redovisning av internt FoU projekt, projektkod 5235. SGU, Lund.
- Erlström, M., 1995: *Krossberg i Södra Kalmar län, översiktlig inventering av berg lämpligt för krossning*. Rapport till Länsstyrelsen i Kalmar län 1995:1, SGU Dnr 08-36/94.
- Hadding, A., 1929: The pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden III: The Paleozoic and Mesozoic sandstones of Sweden, *Lunds Universitet Årsskrift, N. F.*, 2, 25(3), 1–287.

- Hamberg, L., 1990: Tidevands- og stormdominerede aflejringsmiljøer i den Nedre Kambriske Hardeberga Formation i Skåne og på Bornholm. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1987-89*, 15-20.
- Hamberg, L., 1991: Tidal and seasonal cycles in a lower Cambrian shallow marine sandstone (Hardeberga Fm.), Scania, Southern Sweden. Publicerad i: D. G. Smith, G. E., Reinson, B. A. Zitlin & R. A. Rahmani (redaktörer): *Clastic Tidal Sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 16*, 255-274.
- Kleman, J., 2001: Utvärdering av den underkambriska litostratigrafin på Österlen, södra Sverige. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet 129*, 1-23.
- Lindström, M. & Staude, H., 1971: Beitrag zur Stratigraphie der unterkambrischen Sandsteine des südlichsten Skandinaviens. *Geologica et Palaeontologica 5*, 1-6.
- Länsstyrelsen i Malmöhus Län, Naturvårdsenheten; *Krossbergsinventering i Malmöhus län, Romeleåsen*, Meddelande Nr 1988:2, 1988, Länsstyrelsen i Malmöhus Län.
- Länsstyrelsen i Skåne län; *Ett ekologiskt hållbart Skåne?*, Miljötilståndet i Skåne-Årsrapport 1998, Skåne i utveckling 99:3, 1999, 63
- Möller, L. N. & Friis, H., 1999: Petrographic evidence for hydrocarbon migration in Lower Cambrian sandstones, Bornholm, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark 45*, 117-127.
- Nordvästra Skånes Kommunalförbund; *Grushushållningsplan för Nordvästra Skåne*, 1992, 40+15.
- Norelius, Ch., 1917: *Skånes kambrisk-siluriska lager och Hardeberga sandsten, en illustrerad monografi*. Håkan Olssons boktryckeri, Lund. 25 sidor.
- Pettijohn F. J., Potter P. E. & Siever R., 1987: *Sand and Sandstone*, Second edition, Springer-Verlag New York Inc, 553 sidor.
- Rolfsson, R., 1999: Stenciler i informationssyfte om Hardebergabrottet, 3 sidor.
- Rundlöf, M., Tersmeden, A., Wernström, H., & Persson, E., 1998: *Brott i Skåne- vilka är konsekvenserna, inriktning Hardebergabrottet*. Miljövetenskap, Lunds Universitet, 1998. 18 sidor.
- SGU 1998: *Grus, sand och krossberg, Produktion och tillgångar 1997*, SGU PM 1998:2.
- Sweere, G.T.H., 1990: *Unbound granular bases for roads*. Ph. D. Thesis, University of Delft.
- Troade, J. P. & Dodds, J. A., 1993: Global geometrical description of homogeneous hard sphere packings, *Disorder and granular media*, Random materials and processes, Ed. Bideau D. & Hansen A., 133-163, Amsterdam.
- Tucker, M. E., 1988: *Techniques in sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, England. 394 sidor.
- Tucker, M. E., 1994: *Sedimentary Petrology, an introduction to the origin of sedimentary rocks*, second edition. Blackwell scientific publications, University press, Cambridge, England. 260 sidor.
- Väglaboratoriet, 1999: genom Lars-Åke Holmgren, *Kursmaterial*, Umeå. 27 sidor.
- Vägverket, 1994: *ATB väg 2002 Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner*, kapitel A, Gemensamma förutsättningar, VV Publ 2001:21. 36 sidor.
- Vägverket, 1994: *ATB väg 2002 Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner*, kapitel F, Bitumenbundna lager, VV Publ 2001:111. 81 sidor.
- Vägverket, 1994: *ATB väg 2002 Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner*, kapitel G, Cementbundna lager, VV Publ 2001:111. interimsgutgåva. 31 sidor.



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

127. Lamme, Sara, 2000: Klimat och miljöförändringar under holocen i Sylarnaområdet, södra svenska Skanderna, baserat på analys av makrofossil och klyvöppningar.
128. Jönsson, Charlotte, 2000: Geologisk och hydro-geologisk modellering av området mellan Bjuv och Söderåsen, nordvästra Skåne.
129. Kleman, Johan, 2001: Utvärdering av den underkambriska litostratigrafin på Österlen, södra Sverige.
130. Sundler, Malin, 2001: En jämförande studie mellan uppmätt och MACRO simulerad pesticidutlakning på ett odlingsfält i Skåne.
131. Grönholm, Anna, 2001: Högtrycksmetabasiter i den södra delen av Mylonitzonen: fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling.
132. Ekdahl, Magnus, 2001: En studie av Källsjögranitens deformationsmönster och kinematiska indikatorer inom Ullaredszonen.
133. Axheimer, Niklas, 2001: Middle Cambrian trilobites and biostratigraphy of the Almbacken drill core, Scania, Sweden.
134. Lindén, Mattias, 2001: Proglacial deformation of glaciofluvial sediments during the Pomeranian deglaciation in the Neubrandenburg area, NE Germany.
135. Warnhag, Jon, 2001: A geochemical study of the zoned Pan African Mon Repos intrusion, Central Namibia.
136. Lundmark, Mattias, 2001: Zirkonstudie av Norra Hortens bergarter, SV Sverige.
137. Gunnarson, Rebecka, 2001: Sedimentologisk undersökning av en moränskärning i en djup-vittrad sprickdal på Romeleåsen, Skåne.
138. Karlsson, Christine, 2001: Diagenetic and petro-physical properties of deeply versus moderately buried Cambrian sandstones of the Caledonian foreland, southern Sweden.
139. Eriksson, Mårten, 2001: Bedömning av förorenings-spridning kring en nedlagd bensinstation i Karlaby, sydöstra Skåne.
140. Ljung, Karl, 2001: A paleoecological study of the Pleistocene Holocene transition in the Kap Farvel area, South Greenland.
141. Åkesson, Cecilia, 2001: Undersökning av grundvattenförhållanden i området kring Östra Vemmerlöv, Simrishamns kommun, sydöstra Skåne.
142. Bermin, Jonas, 2001: Modelling Mössbauer spectra of biotite.
143. Mansurbeg, Howri, 2001: Modelling of reservoir quality in quartz-rich sandstones of the Lower Cretaceous Bentheim sandstones, Lower Saxony Basin, NW Germany.
144. Hermansson, Tobias, 2001: Sierggavåggeskollans strukturgeologiska utveckling; nyckeln till Sareks berggrundsgeologi.
145. Veres, Daniel-Stefan, 2001: A comparative study between loss on ignition and total carbon analysis on Late Glacial sediments from Atteköps mosse, southwestern Sweden, and their tentative correlation with the GRIP event stratigraphy.
146. Ahlberg, Tomas, 2001: Hydrogeologisk undersökning samt sårbarhetskartering av området kring tre bergborrade grundvattenanläggningar i Simrishamns kommun.
147. Boman, Daniel, 2001: Tektonostratigrafi och deformationsrelaterad metamorfos i norra Kebnekaise fjällen, Skandinaviska Kaledoniderna.
148. Olsson, Stefan, 2002: The geology of the Portobello Peninsula; proposal of a saturated to oversaturated lineage within the Dunedin Volcano, New Zealand.
149. Molnos, Imre, 2002: Petrografi och diagenes i den underkambriska lagerföljden i Skrylle, Skåne.
150. Malmberg, Pär, 2002: Correlation between diagenesis and sedimentary facies of the Bentheim Sandstone, the Schoonebeek field, The Netherlands.
151. Jonsson, Henrik, 2002: Permeability variation in a tidal Jurassic deposit, Höganäs basin, Fennoscandian Border Zone
152. Lundgren, Anders, 2002: Seveskollorna i nord-östra Kebnekaise, Kaledoniderna: metabasiter, graniter och ögongnejser.
153. Sultan, Lina, 2002: Reconstruction of fan-shaped outwash in front of the Myrdalsjökull ice cap, Iceland: Architecture and style of sedimentation.
154. Rimša, Andrius, 2002: Petrological study of the metamafic rocks across the Småland-Blekinge Deformation Zone
155. Lund, Magnus, 2002: Anti-slope scarp investigation at Handcar Peak, British Columbia, Canada.
156. Sjöstrand, Lisa, 2003: Early to early Middle Ordovician conodont biostratigraphy of

- the Tamsalu drill core, central Estonia.
157. Nilsson, Jonas, 2003: Carcharhiniforma hajar från Limhamns kalkbrott.
  158. Larsson, Linda M., 2003: Late Triassic and Early Jurassic palynology of the Höganäs Basin and the Ängelholm Trough, NW Scania, Sweden.
  159. Sköld, Pia, 2003: Holocen skogshistoria i Stenshuvuds nationalpark, Skånes östra kust, Sverige.
  160. Fuchs, M., 2003: Påverkan av sterilisering på gruvsand – en mineralogisk och textuell undersökning.
  161. Ljungberg, Julia, 2003. Sierggaväggeskollan i gränslandet mellan Sarek och Padjelanta; miljöindikatorer för fjällkedjeberggrundens bildning.
  162. Håkansson, Lena, 2003: An architectural element analysis of a large-scale thrust complex, Kanin Peninsula, NW Russia: interaction between the Barents and Kara Sea ice sheets.
  163. Davidson, Anja, 2003: Ignimbriterheterna i Barranco de Tiritaña, övre Mogánformationen, Gran Canaria.
  164. Näsström, Helena, 2003: Klottedioriten vid Slättemossa, centrala Småland – mineral kemi och genes.
  165. Nilsson, Andreas, 2003: Early Ludlow (Silurian) graptolites from Skåne, southern Sweden.
  166. Dou, Marion, 2003: Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède – composition chimique et stade final de cristallisation.
  167. Jönsson, Emma, 2003: En pollenanalytisk studie av råhumusprofiler från Säröhalvön i norra Halland.
  168. Alwmark, Carl, 2003: Magmatisk och metamorf petrologi av en mafisk intrusion i Mylonitzonen.
  169. Pettersson, Ann, 2003: Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise.
  170. Axelsson, Katarina, 2004: Bedömning av potentiell förorenings-spridning från ett avfallsupplag utanför Löddeköpinge, Skåne.
  171. Ekestubbe, Jonas, 2004:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geokronologi och implikationer för tolkningen av den Kaledoniska utvecklingen i Kebnekaise.
  172. Lindgren, Paula, 2004. Tre sensveko-fenniska graniter: kontakt- och åldersrelationer samt förekomst av metasedimentära enklaver.
  173. Janson, Charlotta, 2004. A petrographical and geochemical study of granitoids from the south-eastern part of the Linderödsåsen Horst, Skåne.
  174. Jonsson, Sara, 2004: Structural control of fine-grained granite dykes at the Äspö Hard Rock Laboratory, north of Oskarshamn, Sweden.
  175. Ljungberg, Carina, 2004: Belemnites stabila isotopsammansättning: paleomiljöns och diagenesens betydelse.
  176. Oster, Jessica, 2004: A stratigraphic study of a coastal section through a Late Weichselian kettle hole basin at Ålabodarna, western Skåne, Sweden.
  177. Einarsson, Elisabeth, 2004: Morphological and functional differences between rhamphorhynchoid and pterodactylid pterosaurs with emphasis on flight.
  178. Anell, Ingrid, 2004: Subsidence in rift zones; Analyzing results from repeated precision leveling of the Vogar Profile on the Reykjanes Peninsula, Southwest Iceland.
  179. Wall, Torbjörn, 2004: Magnetic grain-size analyses of Holocene sediments in the North Atlantic and Norwegian Sea – palaeoceanographic applications.
  180. Mellgren, Johanna, S., 2005: A model of reconstruction for the oral apparatus of the Ordovician conodont genus *Protospanderodus* Lindström, 1971.
  181. Jansson, Cecilia, 2005: Krossbergskvalitet och petrografi i den kambriska Hardebergasandstenen i Skåne.



## LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Gentrum för GeoBiosfärsvetenskap  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund