

Siljansastroblemet

Ett komplext astroblem

Version 2.1.2

Erich Spicar
Lorensbergavägen 2B
S-77142 LUDVIKA
erich.spicar@icloud.com

Abstract

Vid ett nedfall av en meteorit mot Jorden uppstår ett sår, vilket man kallar astroblem. Mindre meteoriter skapar mindre hål upp mot 1 km i diameter, de kallas "enkelt astroblem" (eng. simple). Meteoriten gräver ner sig, kastar ut material som en bombkrater, dess rester kan hittas längs ner eller hittas inte, eftersom den har förångats eller slagits sönder till fina partiklar. Större meteoriter på mera än kilometer storlek skapar betydligt större hål, förångas alltid och skapar även andra effekter, vilka inte förekommer i enkla astroblem; de kallas "komplexa astroblem". I denna artikel behandlas de olika faser i utvecklingen av komplexa astroblemet, huvudsakligen av det i Siljan. Dels behandlas de olika faserna, dels de udda bergarter som har bildats i detta astroblem. Nya djupkartor för sjön Siljan visar tydligt diametern 37 km av det chockade området. Stuffer som visar en differentiell rörelse av en plastisk bergarts massa med blaffar av en brun smälta finns enbart vid stranden av Siljan, inte längre in mot centrum. De visar att randen av det chockade området sammanfaller med en så kallad "central uplift". Denna är väl utvecklad i Siljanastroblemet.

Bakgrundsfakta

Berggrunden inom Siljansområdet består i dag huvudsakligen av granit. En ring av paleozoiska bergarter omsluter hela området. Dessa är följda av ett meteoritnedslag; dessa ligger huller om buller om varandra. En övertvänderande äldre gång av diabas/gabbro går i NNV-riktning synligt genom stora delar av hela området från Storstupet i Ämådalen över Kallmora, Hättberg, Trollberget, Tammeråsen, Röjeråsen till sjön Sjugaren och vidare till Björkberget. Somliga delar är inte synliga i dag, säkerligen finns de på djupet.

Vid tidpunkten av meteoritnedslaget – för 377 miljoner år sedan – var området täckt av paleozoiska bergarter: Kalk från Ordovicium och svartskiffer från Silur. Den i detta sammanhang ofta nämnda Orsa-sandstenen från Devon behandlas längre ner. Förmodligen var det understa kalkskiktet rött infärgat. Detta finns i dag i kontakt med granit vid en järnvägsskärning strax norr om Sjurberg och utefter den östra stranden av Åkernäsviken i Vikarbyn. Dessutom finns den röda kalkstenen, innehållande stora exemplar av ortoceratit, vid byn Blecket,

nära Ljugaren, i bägge fallen i nära horisontellt läge. Ovanpå denna kalksten kommer den gråvita kalken och sedan silurisk skiffer. I den grå kalken är nästan vita partier av revkalksten inlagrade, bildade av koraller. Lagerföljden är oklar på grund av att somliga bäddar är ditkastade.

Komplexa astroblem

Alla vetenskaper har sina standardverk som sammanfattar kunskaperna inom området och är en slags bibel. Inom astroblemforskning är det H. J. Melosh's verk "Impact Cratering" /11/. Det bygger på Melosh's egna undersökningar och på en kritisk sammanfattning av många andra forskares arbeten. Melosh's "Impact Cratering" är bibeln inom området. Märkligt nog bygger vår kunskap om astroblem mera på nedslag på andra himlakroppar – det mesta på Månen - än på Jorden. Det beror på att Månen inte har någon atmosfär och därför ingen vittring. Gamla som nyare astroblem ser liknande ut; deras ålder kan enbart avgöras av yngre astroblem, som har förstört en del av de gamla lämningarna. På Jorden har vi vittring som (i geologisk tidsskala) snabbt förstör lämningarna. Därför känner vi inte läget av den yttre randen av Siljansastroblemet som av olika forskare uppskattas ha en diameter på 52 till 75 km, men knappast syns i terrängen. Siljansastroblemet är 377 miljoner år gammalt; det berömda nedslaget på Yukatanhalvön (det som förintade dinosaurierna) syns inte i terrängen, så hårt är där terrängen eroderad.

Det finns två typer av nedslag (kratrar): Enkla (eng. simple) och komplexa (eng. complex) astroblem. I det första fallet uppstår ett hål i marken som efter en bombexplosion. Det andra fallet liknar mera fallet av en vattendroppe mot en vattenyta, fotograferat i "slow motion": Vattendroppen gör ett hål i den horisontella vattenytan, varifrån en cylindrisk våg utgår. Sedan stutsar droppen tillbaka. I vårt fall "complex astrobleme" blir trycket under nedslagspunkten så stort, att berget komprimeras till chocktillstånd och en semisfärisk chockfront utgår från denna punkt. Inom den chockade halvsfären antar berget helt andra fysikaliska egenskaper än utanför. Melosh har utarbetat/sammanställt de geometriska relationerna mellan de olika måtten av komplexa astroblem på Månen (se hans Table 8.1). Dessa data är dock inte direkt användbara på terrestriska förhållanden, eftersom ytgravitationen på Månen är betydligt lägre än på Jorden: Måne $g = 1,622 \text{ m/s}^2$, Jord $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Gräver man ner en sprängladdning på Månen och detonerar den, flyger sprängstenen betydligt längre än för samma försök på Jorden. Betraktar man som kriterium kraterdiametern för övergången från en simpel till en komplex krater så ligger detta tillstånd på Månen vid 20 km, på Jorden vid 3 km. Eftersom sambanden mellan Melosh's data inte är linjära kan man inte krympa Melosh's relationer från Table 8.1 i förhållandet 3/20.

Nedslagsfasen

Siljansnedslaget är ett komplext astroblem. Det kännetecknande är att impulsen (massa · hastighet) är så stor, att extremt höga tryck uppstår i

kontaktytan berggrund - meteorit. Meteoriten och även en del av berggrunden förångas; detta material blåses ut i glipan mellan meteorit och det växande hålet i berget. En chockvåg (tryckvåg) sprider sig neråt in i berget med överljudshastighet. Vågfronten mot det icke-chockade berget ser ut som en lök, sprider sig neråt och i sidled som en sfärisk yta. Materialet inom denna bubbla krossas till grus och blir genom adiabatisk uppvärmning och genom friktionsvärme kornen emellan delvis smält. Med delvis menas att vissa områden är helt smälta och på andra ställen med lägre tryck enbart en smält hinna finns mellan mineralkornen; i bägge dessa områden är partiklarna rörliga mot varandra, beter sig som en smälta.

Löken har sin "stängel" i nedslagskratern; i radiell riktning kan den vara betydligt större än den primära kratern (den inträngande meteoriten håller på att göra). Den största diametern för det chockade området är i Siljan 37 km. Detta vet man från djupkartor av Siljansjön, som tydligt visar den övre delen av "löken"/6/. Den västra djupgraven ligger mellan ön Sollen, den östra i sjösystemet Ockran, öster om Boda.

Hur stor den primära kratern har varit vet vi inte; timmar efter nedslaget har den utplånats genom en process som kallas "central uplift" och kommer att diskuteras längre ner. Vi kan dock göra en viss uppskattning av diametern: Under de nedslaget följande timmarna fylls kratern av det tidigare chockade berget, vilket nu har konsistensen av en pasta. Räknat och mätt vertikalt neråt har kratern nu efter 377 miljoner år stelnade pastan samma sammansättning. Trots erosionen, vilken under miljontals år har hyvlat bort hundratals meter, ser man *inom det förra kraterområdet* fortfarande samma sorts bergart, vilken jag kallar *rekonstruerad granit* fast denna "granit" är helt fri från fri kvarts, (Bild 0).

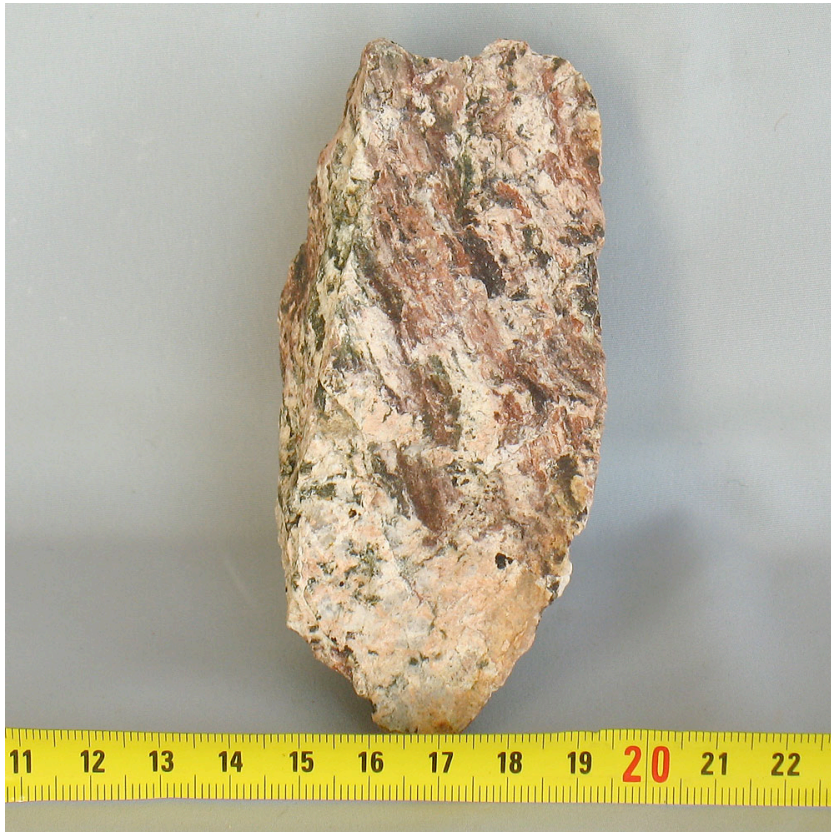


Bild 0. Siljan, järnvägsövergången i Garsås: Striering under "uplift" fasen

Längre bort i radiell riktning hittar man p g av det lägre lokala trycket litet kvarts och längs ut mot gränsen av det chockade området mycket kvarts (ett överskott av den kvartsmängden som normalt förekommer i granit). På så sätt kan diametern av den primära kratern skattas till 10 till 12 km (ett mycket osäkert mått!).

Under inträngandet som varar ett antal sekunder förångas och finkrossas meteoriten och bergmaterialet som har förträngts av meteoriten. Detta gas- och pulvermoln har pressats ut från hålet med ofantlig hastighet och vidgat detta så att kontaktytan mellan berg och meteorit har blivit som en halvsfär. Temperaturen i kontaktytan måste i fallet Siljan ha varit över 3000 °C. Detta är järnets förångningstemperatur! Inneslutningar av metalliskt järn i meteoriten har förångats och oxiderats till hematit, vilken har satt sig på stoftkornen och rödfärgad dem. Detta är källan till den röda Orsasandstenen; där inget järn i kontaktytan berg - meteorit fanns, blåstes den ofärgade sanden ut och den senare sandstenen förblev vit. Utblåsning av kubikkilometrars material måste ha gått till med överljudshastighet, varade enbart ett antal sekunder. Pulvret blåstes in i stratosfären, föll sedan under minuter och timmar ner över nejden. Den just då rådande vinden flyttade en del av pulvret mot NW, mot Orsa. Detta är källan till den senare Orsa-sandstenen, vilken ligger högs i serien av de paleozoiska bergarterna. Jag vill hävda att materialet till den senare Orsasandstenen har bildats under själva nedslagsfasen.

Spalls

Fig. 8.6 från rapporten enligt/14/ visar längst ner bubblan av det chockade tillståndet, där under pågående inträngning av meteoriten extrema tryck härskar. Beakta att vid markytan utanför kratern trycket är praktiskt taget noll (1 bar). Mellan det skuggade området och ytan finns en ringformad kil (i den engelska litteraturen kallad "interference zone"), där trycket snabbt växer från 1 bar vid ytan till några Gbar några hundra meter längre ner. Genom denna vertikala tryckgradient lyfter bitar av ytskiktet och flyger iväg radiellt utåt. Beakta att dessa bitar icke är misshandlade av det höga trycket längre ner; de landar likaså på den icke misshandlade markytan. Under luftresan kan de mycket väl rotera, så att de vid nedslaget är vända 180° som i Solberga revet. I detta rev (i dag ett nedlagt kalkbrott) kan vi i princip se bergets yta som den såg ut strax före nedslaget. I Solberga är kalken från Ordovicium längs upp, ligger på Ordovicisk skiffer, som är yngre än kalken. Vid borrning genom "spallet" skulle man först komma på den lokala Ordoviciska skiffern, sedan på kalken igen. Man skulle alltså se bergarterna, hur de har varit före nedslaget på detta ställe.

Denna observation är av enorm betydelse! Ingen annanstans finns markytan bevarad, som den har varit för 377 miljoner år sedan. Inne i brottet Solberga kunde man borra ner ett schakt och efter 5 till 10 meter träffa på gränsen mellan kalk och skiffer: Först påträffas skiffern, vilken låg ovanpå kalken före luftfärden av "spallet". Sedan skulle man komma på ett tunt skikt av sten eller sand, vilket representerar den dåtida markytan, sedan skulle boret tränga in i den lokala skiffern, längre ner i grå lokal kalksten och ännu längre ner i röd kalksten. Först under denna skulle man komma på granit. Har man hittat nivån av den ursprungliga markytan skulle man kunna driva horisontella orter åt alla håll för att få mera information.

Den dåtida markytan (det sandiga skiktet) kunde man använda som referensyta för bestämning av erosionen under de senaste 377 miljonerna av åren. Kanten till Solbergabrottet finns vid ca 236 m (=överkanten av den vita kalken), den är så länge okända referensytan vid ca 205 m (uppskattat mått) och kalken vid Vomhus vid 175 m. Kanske erosionen är inte mera än 25 till 30 m och inte 500 till 2000 m, som har gissats? Här måste ett påpekande göras: Lägre ner kommer vi att se att "spallet" och den omgivande berggrunden inom minuter och timmar efter nedslaget har blivit täckt av nedfallande pulver, skapat av nedslaget. Detta skikt kan ha varit hundra meter tjockt och har så skyddat underlaget. Vittringen har här först löst bort detta skikt, innan den har nått den ditkastade revkalken, vi ser i dag. Ett annat spall i närheten (2 km) är Juttjärnsbrottet. Kanske man kunde göra liknande borrhningar där och jämföra resultaten från dessa bägge ställen.

Solberga är ett nedlagt industriområde: Intrånget borde nästan inte kosta något alls och arbeten litet, eftersom schaktet enbart kommer att vara några tiotal meter djupt!

Norr om Solberga rev ser man en hel rad "spalls": Boda kyrka (vilar på revkalk), väster om Boda Styggforsen, där en silurisk bädd (cementkalk) av omväxlande kalk och mörkargel står på högkant. Dess underkant är avböjd 45°, vilket antyder, att "spallets" kant där har slagit mot urberget. Stället måste ha varit skyddat under årmiljonernas tid från erosion genom nedfallet av sanden, producerat genom själva nedslaget. Eljest hade böjen av cementkalken varit borteroderad. Ca 50 m från detta ställe finns resterna av ett stenbrott i just denna sandsten. Bergets nivå i bäcken vid avböjningen borde vara den dåtida nivån av urberget.

På västsidan av denna siluriska bädd finns stående "granit", vilken bildar sporren, på vilken Stygg (Jacob Pigoth 1712) red ut. "Graniten" är ingen granit, men en stelnad kvarts – en gång ett vatten-kvarts eutektikum, förorenad av brottstycken av allt som har varit i vägen, innehållande även större blaffar av brun smälta. Berget är där genomdraget av flera system av sprickor vilket gjorde att Styggfors-bäcken så lätt har kunnat gräva ut den djupa ravinen på 35 m fallhöjd efter istiderna. "Graniten" liknar mycket den som finns på västsidan av "central uplift" vid Garsås strand (mera om detta längre ner). Det är oklart, hur den har kommit just till detta ställe, i direkt kontakt med cementkalken.

Denna spricka har en riktning parallell med den näraliggande randen av "central uplift". Man kan förstå, hur den har bildats: Eftersom domen för "central uplift" är välvd och utgångsytan har varit plan blir under "upliften" en radiell linje från centrum av nedslaget utåt till den gamla randen längre. Mekaniska spänningar i radiell riktning uppstår i marken, tills den brister vinkelrät mot dessa spänningar.

Vidare norrut finns Osmundsberget som "spall", med nu vertikala väggar på östra sidan, vid infarten till själva stenbrottet. I sjön som har bildats i stenbrottet finns en platta av kalkmörkargel, vilken har varit olämpligt för ett rent kalkverk och därför har lämnats orört. Plattan har en lutning på ca 45°, är också en "spall". I den norra delen av Osmundsbergets brott ligger silurisk skiffer under kalken.

Vi vet icke, hur djup den primära kratern har varit i Siljans astroblem; inom ringen är alla sediment utplånade. Väster om Boda finns det två mindre plättar av kalk: Den sydliga är namnlös, den nordliga heter Jälltjärnsberget (inte besökt av mig). Den enda hällen kalk jag har hittat i den sydliga delen har koordinaterna (RT90 systemet) 146417E/676755N. Kalken är gråare än från de bästa revkalkstenarna. Är dessa kalkplättar måhända autochtona och har skyddats från erosion av ett täcke av Orsa-sandsten eller är de "spalls"?

Förmodade autochtona kalkskikt

Det finns flera mindre kalkrester i periferin av det chockade området, vilka kan förmodas vara autochtona: Vi börjar i Mora och går mot klocka runt sjön Siljan. Dessa är Nusnäs, Stumsnäs (detta ställe kan ha påverkats av kollisionen mellan Siljan- och Leksandsastroblemet, t.ex. genom att kalk från Leksandsastroblemet har skjutits över marken vid Stumsnäs, se

/14/), Gärdebyn, Blecket (röd kalk), kalklinsen väster om Boda, Jälltjärnsberget, Furudals bruk, Hornberga (vit kalk) och Våmhus). Jag har undersökt kalkerna i Hornberga och Blecket: Dessa är inte påverkade av några tektoniska rörelser, ligger nära horisontellt. Förmodligen är kalkens mäktighet så liten att det inte har lönat sig att där starta ett brott. På bägge ställen finns det ortoceratiter i kalken.

Start och kollaps av chocken

En massa m som rör sig med hastigheten v har en impuls $I = m \cdot v$, vidkänner möjligen luftmotståndet, men ingenting annat. Först när den träffar ett objekt utövar det en kraft på massan. För bättre förståelse antar vi att objektet är mjukt, så att vi kan följa händelsen. Kraften blir en funktion av tiden genom ekvationen $K = d/dt(m \cdot v)$; med andra ord: Kraften uppkommer genom ändring i tiden av impulsen. I vårt fall ändrar sig massan av meteoriten hela tiden genom förångning och även dess hastighet, genom att den bromsas upp. Är kraften i nedslagsögonblicket tillräckligt stor uppstår en chockfront, vilken sprider sig in i den fasta Jorden. Energitätheten på chockfronten (den yttersta ytan i fig. 8.6) avtar, ju större denna yta blir. Till sist stannar chockfronten upp, sprider sig inte mera. I vårt fall (Siljanastroblemet) blir diametern av "löken" ca 37 km och djupet ca 18 km. Detta är det yttersta läget i berget, denna front når. All berg innanför är chockat, uppvärmt, krossat, kanske även flytande.

Meteoriten fortsätter att tränga in, förlorar massa genom förångning och hastighet genom uppbromsning. Kraften på kontaktytan meteorit/berg blir nu mindre och därmed rör sig den yttersta gränsen mellan chockat/icke chockat berg uppåt (tillbaka till källan).

När all massa i meteoriten är förångat, är dess impuls noll och det chockade området har krympt till noll också: Chocken har upphört. Nästa fas i processen "Central uplift" börjar.

Central uplift

Komplexa astroblem uppvisar en företeelse, vilken inte finns hos enkla astroblem, nämligen en upphöjning i centrum av nedslaget. Visuellt kan den ha sett ut som *vulkankärnorna* i Rio de Janeiro. Vulkankärnan är den stelnade magman i vulkanröret: Kärnan befinner sig i centrum av en askkägla, stöttas av de omgivande askorna. Under den senare vittringen försvinner askorna snabbt, enbart den hårda kärnan är kvar.

I komplexa astroblem finns under pågående inträngning en "bubbla" av chockat berg till ett djup som är ungefär radien av den semisfäriska bubblan; i fallet Siljan är denna ungefär 18 km. Bubblan är extremt komprimerad: Mineralens densitet i den kan utan vidare vara 30% större än vid normalt tryck, och dess temperatur nära eller vid bergarternas smältpunkt. Bubblan vilar självfallet på den underliggande berggrunden; även det icke-chockade berget inunder vidkänner detta stora tryck. När meteoriten har förintats av förångning och förstoftning försvinner det extrema trycket, berget fjädrar tillbaka. Nu är det mycket het, somliga

mineral är smälta (blandningar av mineral – särskilt i kombination med vatten - har lägre smältpunkter än de ingående mineral själva), pastan trycks uppåt som tandkräm ur en tub, den primära kratern blir utplånad. Melosh uppger tidskonstanten för denna process som $(D/g)^{0,5}$. Med en uppskattad diameter (den okända yttre ringen) av $D = 50$ km och Jordens $g = 9,81$ m/s² får man en tidskonstant av 70 s. 1 m av pelaren pressas således fram under 70 s, alltså är hastigheten 0,85 m/min. Melosh är av uppfattningen, att den "central uplift" har ungefär samma diameter som den transienta kratern och den sistnämnda utplånas genom denna massrörelse. Han skriver: "The floor underlying the transient crater rapidly rises a distance comparable to the initial crater depth." Bubblan av det chockade området är dock säkert större i diametern än den transienta kratern. I fallet Siljan vet vi av djupkartor över Siljan att bubblan har en diameter av 37 km. Detta är en sällsynt kunskap, som normalt (utan ringsjö) inte finns. I provinsen Quebec i Kanada finns ett liknande astroblem med namn Manicouagan Crater med en ringsjö med 70 km diameter. Jag vet ej om man har gjort sjödjupsmätningar där. I detta fall skulle kombinationen onormalt djup ränna och plastiska flytstrukturer i bergarterna utefter den inre perimetern bekräfta observationerna i Siljan.

I vårt fall hittar man lätt stuffer utefter Siljans strand, t.ex. i Garsås bad, vilka visar tydliga glidspår i en gång plastisk massa. Den yttre manteln av den cylindriska pelaren som reste sig måste med nödvändighet ha varit kallare än inne i cylindern. Kallare betyder här mera trögflytande. Därför har cylindriska skikt rört sig uppåt med olika hastighet och så lämnar spår på varandra. Det plastiska materialet är en blandning av smälta, brottstycken av olika mineral, hopsintrar stenkross. Jag vill påpeka att de repor och streck vi ser i dessa stuffer från pelarens periferi inte är att förväxla med slagkägglor. Dessa glidrepor i halvsmält material är något helt annat än slagkägglor, vilka bildas tidigare i kallt berg genom den framrusande chockfronten.

På en makroskopisk skala syns denna "central uplift" mycket tydligt i Siljan. Räknat från nuvarande vattennivån i Siljan är den ca 60 till 80 m i Garsås och något högre vid den nordöstra randen av ringen. På grund av existensen av andra astroblem sydväst om Siljan kan man förmoda att det rör sig om från sydväst inflygande brottstycken av samma meteorit. Vid nedslaget av den största biten (Siljan) har berg och jord pressats mot nordöst.

Höjden av det "centrala uplift" kan enbart uppskattas kvalitativt. På månen finns det en vidsträckt plan yta runt "central uplift", vilken användes som referensyta för alla mätningar. Utgående från denna är höjden av "uplift"
 $H_{cp} = 0,0006 D^{1,97}$. D är diametern av den yttre kraterranden. På Jorden är den betydligt mindre än på månen; dessutom är den inte känd för Siljans-astroblemet. Därför kan vi enbart göra kvalitativa gissningar. Under "upliftfasen" (strax efter att meteoriten har förintats och chocken

har försvunnit) måste volymen berg vara detsamma som före nedslaget plus meteoritens volym. Under de första timmarna är det stora ringdiket (det som på den geologiska kartan visas med gråblå ton) fortfarande tomt, "uplift" är på väg upp. Härvid fylls den primära kratern dels av den från kraterranden nerstörtande massa, dels nerifrån. Massan av uppåt blåst sand har under tiden sedimenterat på hela nejden. Ju högre pelaren i mitten blir, ju lättare störtar sanden och eventuella rester av de ordoviciska och siluriska bergarterna utanför den primära kratern ner i det ringformade diket. I tiden rutschar de oberoende av varandra: Därför innehåller ringdiket omväxlande skikt av den ena eller den andra bergarten. Man kan tänka sig att även rester av dessa bergarter har störtat neråt i den primära kratern. De borde vara synliga i centrum av astroblemet, om de inte hade eroderats bort under tiden. Uppstigningsprocessen kommer till stillstånd, när trycket av pelaren på en referensyta under marken har blivit lika med det under ringen och randbergen. Rester av "central uplift" är den på toppen flata kupolen som bildar den inre delen av nuvarande astroblem.

Hur uppstår nya bergarter i astroblem?

Vittring

De stuffer vi i dag samlar och undersöker som spår efter astroblem ligger på nuvarande jordytan. Frågan är, hur detta är möjlig efter 377 miljoner år efter meteoritens fall? Är detta färskastuffer, som precis har vittrat fram? I så fall måste skiktet som har innehållit dessa första astroblemrester haft en påtaglig tjocklek. De efter störtningen av meteoriten första resterna av astroblemet kan ju inte gärna ha legat ovittrade på backen tills våra dagar, medan omgivningen under dem vittrade bort. De borde ha vittrat också! Det finns olika gissningar, hur många metrar jordyta har vittrat bort sedan Siljan-astroblemet /2,3,4/. Detta är dock rena gissningar som inte har något stöd i mätningar. Siljansastroblemet skulle kunna ge ett objektiva svar på denna fråga. Mig veterligen finns det inget objektiva svar på långtidsvittring av bergarter. Pengarna på undersökningen jag här nedan kommer att föreslå vore väl använda, särskilt med tanken på långtidsförvar av rester av kärnkraftverksamhet. Ett "spall" ligger – rättvänt eller omvänt – på den ursprungliga markytan vid tiden för nedslaget. Den borde ha bildats under Undre Devon. *Kärnborrhningar rakt ner genom "Solberga-spallet" borde visa den gamla markytan. Finns ingen antydning till Orsa-sandsten på denna tämligen horisontella yta har tillhörande sand inte funnits vid denna tidpunkt. Då kan Orsa-sandstenen inte ha bildats före nedslaget; den tillhörande sanden är en produkt av själva nedslaget!*

Bildning av Orsa-sandsten

Den nedstörtade meteoriten har med största sannolikhet varit en chondrit, bestående av silikater och eventuellt oxider, med en ringa och över meteoriten spridd andel av järnrester. Under nedslaget har meteoriten

pulveriserats eller t o m förångats. Detta påstående bekräftas av den stora mängden rödfärgad (färgat av hematit) sand, som senare sintrade ihop till en sandsten. Utöver detta finns det flera fraktioner av sandstenen, vilka har andra färger: Den renaste är vit, finns i trakten av Ore-kyrka och Norrboda/Gammelstan, SE om Södersjön (tillhörande Ore-sjön). I de gamla sandstensbrotten i Kallmora finns huvudsakligen en beige färgad Orsa-sandsten med mörkbruna rester av brända fjäll av Silurisk skiffer. Dess färg härrör från bränd och pulveriserad skiffer. Den röda sandstenen finns t.ex. vid vägen mellan Silvberg (öster om Boda) och Ockran-sjöana, nära sjöarna. Färgen härrör från järnet i meteoriten, vilket förångade, varpå järnången satte sig på närabelägna silikat-korn; sedan har järnet oxiderat sig till hematit. Detta visar att temperaturen i kontaktytan mellan berget och meteoriten har varit högre än 3000°C (järnets förångningspunkt).

Partier med de olika färgerna är skarpt avgränsade mot varandra, men homogent färgade inom sitt område: Detta visar att utgångsmaterialet till sandstenen – de olika sandfraktionerna – har blandat sig mekaniskt med varandra, t ex rutschat ner från den "centrala uplift" på dess väg upp. Bifogade bilder visar detta. Bild 1. visar övergången mellan röd och vit Orsasandsten: Beakta att kontaktytan är mycket taggig och skarp, den ena sandtypen har rutschat på den andra som snö i en lavin. Bild 2. består av två delar: Den vänstra stoffen är Orsasandsten från brotten i Kallmora, innehåller alla de där förekommande varianter av sandsten: Vit, rosa och beige. Dessutom innehåller stoffen större bruna fjäll av bränd Silurisk skiffer. Den beige färgen av sandstenen härrör från sönderrivna bruna skifferfjäll. Stoffen visar det kaotiska skeendet, när oliktfärgade sandfraktioner rutschade på varandra.

Stoffen i den högra halvan av bilden ser likadant ut, den är dock en mänsklig artefakt, är enbart 250 år gammal och är en bränd skiffer från alunverket i Garphyttan. Tydligare kan man inte visa att sanden till den senare Orsasandstenen inte är ett vind- eller vattensediment, utan har uppstått under själva nedslaget.

I Boda, Osmundsbergets kalkbrott, har man genomfört kärnborringar: Hål 4/69 visar från ytan neråt 146 m kalk, sedan kommer röd Orsa-sandsten. Kalken i Osmundsberget är en "spall". Detta är enbart möjligt under "central uplift"-fasen: Återfallet av sand från atmosfären täckte vida omkring den dåtida marknivån. Efter några timmar lossade den ditkastade kalkplattan från "uplift-kupolen" och rasade ner till den lägre marknivån bredvid.



Bild 1. Taggig övergång mellan vit och röd Orsa sandsten. Vägen från Silvberg till Ockransjöarna (Siljan)



Bild 2. Vänster: Orsa sandsten från brottet Kallmora Höger: Bränd skiffer från alunverket i Garphyttan

Hög temperatur under lång tid förändrar allt

Från den röda infärgningen av Orsa-sandstenen vet vi att det i den förångande meteoriten har funnits metalliskt järn. Detta är inget märkvärdigt, ty fritt järn förekommer i Kosmos, faller då och då ner på Jorden som en järnmeteorit. Förångningen av järnet skede vid $> 3000^{\circ}\text{C}$ i kontaktytan mellan meteorit och berget.

Även den lökformade bubblan i vilken härskade chocktillstånd befann sig på en hög temperatur: Dels genom adiabatisk uppvärmning, dels genom friktion av alla mineralkorn mot varandra. Chocken upphörde efter några sekunder när meteoriten var förintad: Då försvinner även den adiabatiska värmen, men den från friktionen kvarstår. Den största delen av "bubblan" består av granit. Värmeledning utåt i granit är rätt dålig, så att kärnan av "bubblan" kan förbli het i många tusentals år.

Utgående från den cirkeln på 37 km diameter, vilken omsluter "bubblan" kan centrum för nedslaget bestämmas till koordinaterna (RT 90 System) 145150E/676925N, någon kilometer NV Ickberget. Vertikalen neråt från centrum är axeln för den några sekunder senare börjande centrala "uplift".

Det finns alltid vatten i berget. Här tänker vi inte på grundvattnet, utan på vattenånga och bundet vatten i olika mineral. Detta finns självfallet inte som vätska, utan som överhettad ånga, vilken har stor löslighet för kvarts. I ett område med en temperaturgradient vandrar vattnet alltid till den kallaste punkten. I vårt fall vandrar vattnet - under medtagande av löst kvarts - radiellt utåt från cylinderns axel och deponerar kvarts i periferin. Därför är granitstuffer, upphittade i det utsträckta centrum av Siljan-nedslaget fria från kvarts, borde rätteligen kallas syenit. Eftersom materialet i fråga är halvsmält och plastiskt blir det inga håligheter efter kvartsen: De krossade mineralkornen har nu plats att växa till på varandras bekostnad, fyller ut tomrummet efter kvartsen. En mycket grovkornig syenit med låg mekanisk hållfasthet uppstår, krossas efter ett lätt hammarslag. När den sedan vittrar, får den en mycket grov yta, ur vilken man med en pincett kan plocka de enskilda mineralen. Jag kallar den *rekonstruerad granit* (fast den inte är granit).

Den i opåverkad granit rosa mikroklinen blir av den långvariga hettan tegelröd, ibland mörk tegelröd. Färgningen kan även härröra från järnet i förintad biotit; i järnmalmsgruvor hittar man i släppor samma röda mikroklin.

Kvartsen vandrar radiellt utåt och faller ut där i det krossade berget. Detta är helt genomdraget av ett nätverk av tunna *impregnationer med kvart*, skiljer sig helt från vanliga raka kvartsgångar i berg. Skulle man kunna lösa ut berget, utan att skada kvartsen, skulle man få ett tredimensionellt nätverk av kvarts. Det finns alltså inga kaviteter att hålla djupgas (metan), som prof. Gold förutspådde att finnas i astroblem. Metan kan mycket väl existera i djupet, dock inte i ett astroblem. Utanför hamnen i Garsås finns det en vågbrytare, vilken har byggts av draggat material från omgivningen. Där finns stora kvartsblock med antydning till en rektangulär spaltbarhet, vilken kvarts normalt inte har.

Det finns en ytterligare variant av kvartsgångar: Gångarna är betydligt bredare än de nyss nämnda impregnationerna med kvarts, för det mesta litet grönaktiga av löst epidot. De är relativt sena, slår igenom tidigare strukturer. Kvartsen är gråare än ren mjölkkvarts. Tillståndsdigrammet kvarts-vatten visar på den kvartsrika sidan en kvartsrik smälta med några

få procent vatten och betydligt lägre smältpunkt än för ren kvarts. Där finns en lägsta smältpunkt; detta eutektikum sjunker ytterligare med temperaturen vid högre tryck. Med andra ord: Djupt inne i berget kan en kvartsrik smälta bilda sig, vilken pressar in sig i det plastiska berget i "central uplift".

Reaktioner långt efter fallet

I bergartsmassan som omfattas av Siljansastroblemet ingår från början graniter, diabasgångar, Ordovicisk kalksten, Silurisk skiffer, märgel och cementkalk (växellagrande skikt av kalk och märgel). Någonstans har skikt av märgel med inlagrade kalkskalrester efter sjöiljor hamnat i områden med hög temperatur. Märgeln omvandlats till något liknande porfyr och sjöiljorna med behållen form till plagioklas (Analys docent Skogby, Riksmuseet). I dessa stuffer finns större (cm) utfällningar av epidot. *Dessa skulle aldrig finnas i en porfyr.*

Runt den primära kratern finns en krage av icke chockat berg. Från denna krage kommer "spalls", vilka kastas radiellt utåt. Fossil efter sjöiljor och andra djur med kalkskelett har fortfarande detta kalkskelett kvar. En bra fyndplats är varpen runt Dalhalla.

Det yttersta "lökskalet" i vår bild har visserligen varit chockat, men vidkänt ett betydligt mindre tryck än längre inåt/neråt belägna skikt. Där är fossilen ej mekaniskt förstörda som i centrum av "löken", men under de tusentals åren efteråt upphettade till hög temperatur. Kalk dissocierar vid 900°C. Under dessa tusentals år genomströmmas berget av lösningar av kvarts, mikroklin och albit i en vattenångfas. Härvid ersättes kalkskalet av mikroklin eller albit, eller sker en kemisk reaktion mellan aluminium från leran, kvartsen ur lösningen och kalkskalet till plagioklas. Därför hittar man lätt förstenade f.d. kalkskal i perifera områden av astroblemet.

Eftersom under förstenandet fortfarande mycket höga temperaturer råder är dessa fossil mekaniskt misshandlade, ofta lite hoptryckta. Det finns dock alltid en rest av leran i röret, nu naturligt också kemiskt omvandlat. Det väsentliga här är att dessa fossil har en kärna av mörka, finkorniga mineral. I de allra flesta fallen är rören i vilka djur en gång har levt nerbrutna till korta stycken, så att man huvudsakligen ser röret från brottsidan. Två prov kommer att visas här från ett sandtag vid Långtjärnen i Storsnesen-Storflaten astroblemet, där rören har blivit bevarade, snittet med diamantsågen går utefter dem. I dag består de av plagioklas. Bild 4. visar två framsågade plattor, där sågsnittet ligger parallellt med längsriktningen av sjöiljorna och Bild 5. visar baksidan av dessa plattor.



Bild 4. Två plattor från Långtjärn i Snesen-Flatenastroblem 143143E/672829N



Bild 5. Baksidorna av plattorna från Bild 4.

Jag har sänt prov av dessa omvandlade skal- den runda öppningen av röret med mörk kärna - till några paleontologer i Stockholm för ett utlåtande. Svaret var att det rör sig om "augenstrukturer". Detta är utfällningar av runda mikroklin-korn i graniter eller gneiser. Eftersom en gneis alltid har genomgått någon mekanisk deformation är där de röda mikroklin-kornen tillplattade till en oval med två spetsar, något som liknar ett öga. Rapakivgranit (här visas ett prov från Finland) har också dessa ögon; någon "pupill" finns självfallet inte. Provet är en gåva av Viljo Vehmanen från Grängesberg. Se Bild 6.



Bild 6. Rapakivigranit från södra Finland

Jag äger en omfattande samling av geologiska textböcker, har bland dem hittat 10 böcker som beskriver "augenstrukturer". Namnen av och sidorna i böckerna bifogas här. Alla dessa litteraturställen visar att våra prov (ett rör med mörk fyllning) är något helt annat än "augen", att de är omvandlade rester efter kalkfossil, vilka förekommer i perifera områden på utkanten av ett astroblem. På samma sätt som den "rekonstruerade graniten" kan de tas som belägg för ett astroblem. Självfallet finns de enbart där tidigare crinoidé och cystoidé har förekommit. Jag har stött på dessa fossil av fossil kring sjön Mullsjön vid Hjo och tillsammans med upphittad "rekonstruerad granit" kunnat bestämma, att denna sjö är resten av kratern till ett astroblem. Se Bild 7, 8 och 9. Likaså finns dessa fossil av fossil i astroblemet Storsnesen och Storflaten, se Bild 10 och 11. Två ytterligare fyndställen är randen av Kilsbergen-astroblemet vid Skärmarboda (Bild 12. och Bild 13.) och Siljansastroblemet söder om Södra Ockran (Bild 14.) Som jämförelse visas de icke mosade rena kalkfossilerna från Dalhalla i Bild 15.



Bild 7. Prov från astroblemet Mullsjön W om Hjo. Skälkar efter cystoider eller crinoider

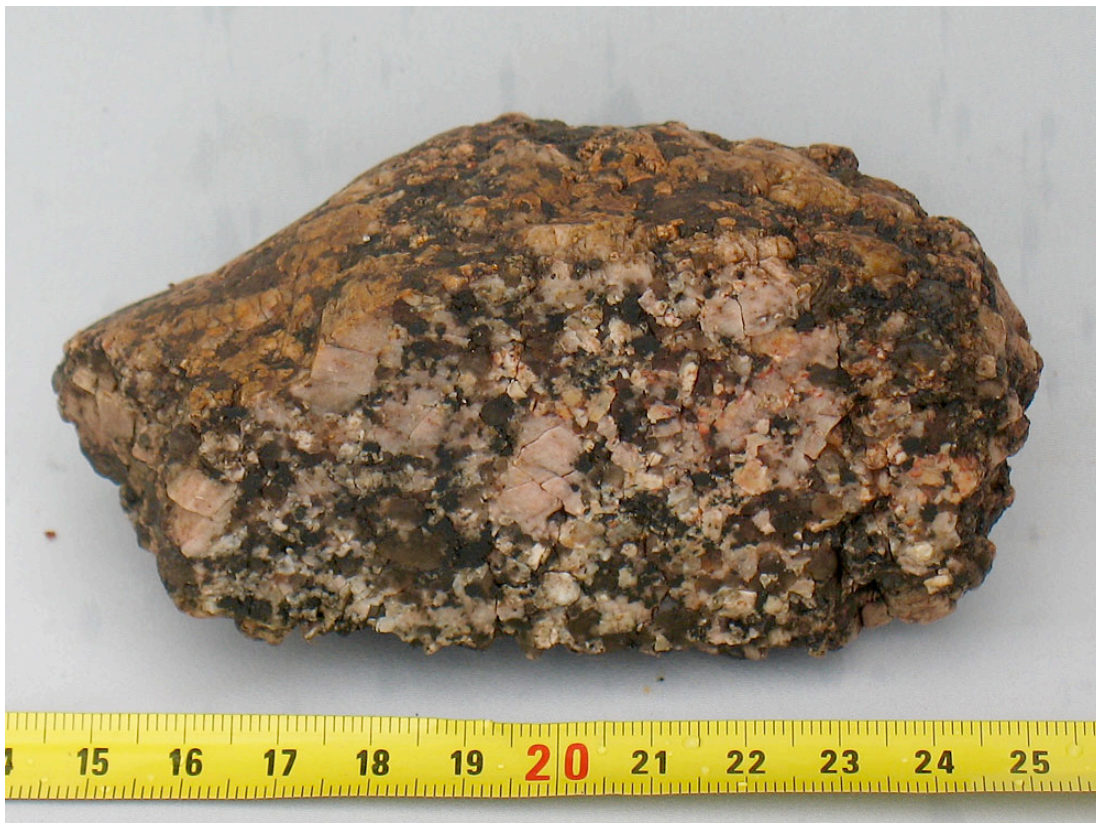


Bild 8. Liknande Bild 7.



Bild 9. Mullsjö vid Hjo: Många cystoider



Bild 10. Sandtag i Snesen-Flaten astroblemet, koordinater 142793E/672686N. Stufven består till 50% av förkislade fossil (sågad yta)



Bild 11. Som Bild 10. Rå baksida.



Bild 12. Kilsbergen, Skärmarbod. Förkislade fossil



Bild 13. Baksidan av Bild 12.

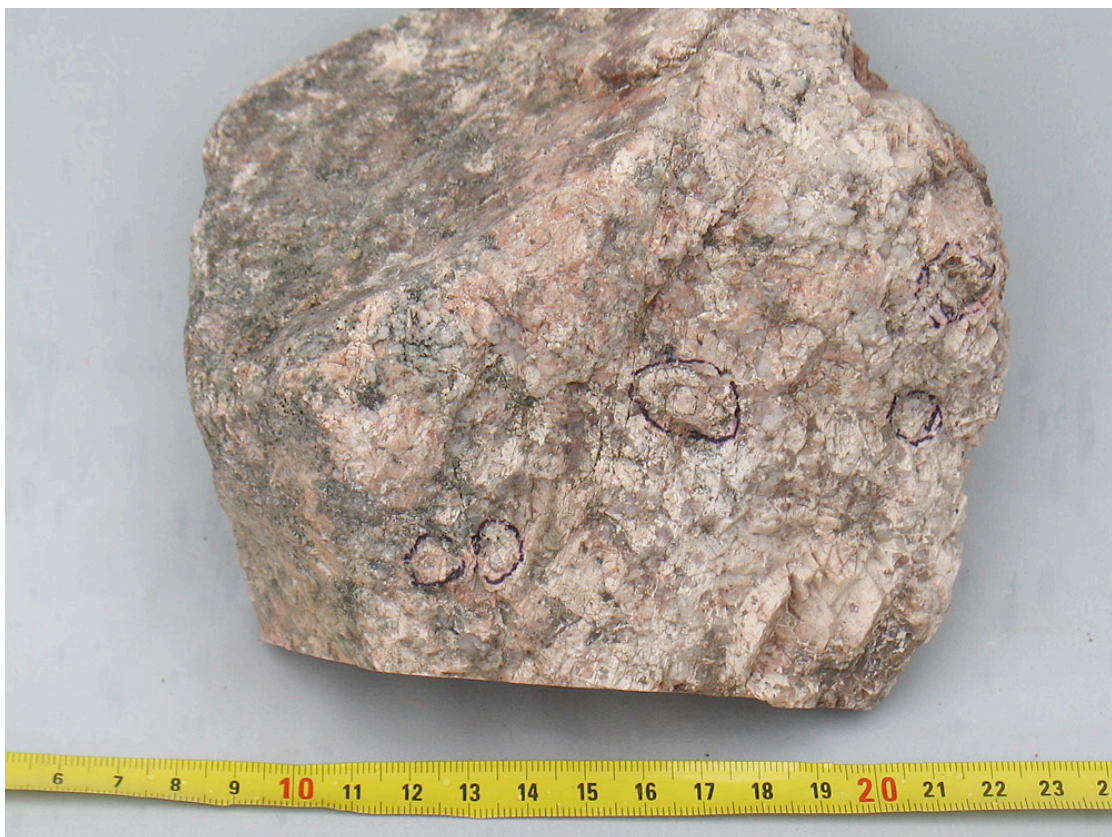


Bild 14. Siljansastroblemet. Stuff från sandtag S om Södra Ockran: Förkislade fossil



Bild 15. Siljansastroblemet. Icke förkislad fossilstuff från Dalhallaområdet

Fig. 8 här nedan är tagen från en annan rapport, vilken har nummer /14/ i denna litteratursammanställning.

Rättviks kommun – ortsdelen Tina:

Denna föga kända lokal är värt att besökas p g av sitt rikedom på ovanliga bergarter, förmodligen skapade genom kollisionen av två chockfronter, den ena skapad av Siljansmeteoriten, den andra av Leksandsmeteoriten, vilka landade nästan samtidigt (se artikeln Erich Spicar: Picture of a frozen instant from the birth of the Siljan-astrobleme in www.vbvf.se). Där går man till rubriken "Rapporter", klickar på den nämnda artikeln.

Siljan bildar i Tina en vik, i vilken den lilla ön Killingsholmen är belägen. På dess norra utsida mot Siljan (X = 674970, Y = 146030) finns en anhopning av enorma, kantiga block på många kubikmeter, vilka inte uppvisar någon nötning eller transport genom landisen. Blocken består av grovkornig granit, bestående av mikroklin/ortoklas, albit, kvarts och biotit, delvis förvadlat till klorit. Detsamma gäller fastlandet väster om Killingsholmen, där på höjden blocken ser ut att ha blivit lyfta rakt upp och sedan fallit tillbaka. Det påfallande är att blocken är så lite nötta. En förklaring kan vara att de på ett mycket tidigt stadium (inom timmar efter nedslaget) har blivit täckta av nedfall, vilket med tiden har förvandlats till sandsten; denna försvann under senare tider. Kanske det går att under blocken hitta rester av sandstenen. Man når Kap Tina (samma betydelse

som Kap Arkona på Rügen) från en körväg på västra sidan av Tinaviken. Vid en bom (X = 6749251, Y = 1460125) lämnar man bilen och går på en körväg ända till en slagbod vid stranden med koordinaterna (X = 6749521, Y = 1459935). Vid slagbodet hittar man stenar vilka har ingått i det plastiska skiktet på utsidan av "central uplift", se Bild 16. De ljusare partierna i provet är mosade sjöiljor.



Bild 16: Den plastiska massan av "central uplift" från stället för bivacken. De vita ränderna är mosade till plagioklas omvandlade fossil. Storlek av den övre stenen ca 10 cm.

På vägen till badet hittar man nära stranden i en aldunge vid koordinater (X = 6749310, Y = 1460638) block med olika varianter av nu förkislade (eller till plagioklas överförda) fossil av sjöiljor. Under sommaren är stället helt igenväxt av sly, därför svårt att hitta.

I själva badet har någon av lokalt material gjort en liten vågbrytare, vilken innehåller icke-förkislade fossil.

Om författaren

Författaren är fysiker (PhD) från Universitetet i Stuttgart och geolog (fil. cand) från Uppsala Universitet.

Litteratur

/1/ Spicar, Erich: Several Recently Discovered Supposed Astroblemes in Dalecarlia, Sweden, Version 4.4, www.vbgf.se, go to "Rapporter"

/2/ Spicar, Erich: "Kan Närkeslätten vara ett gammalt meteoritnedslag"? www.vbgf.se, Go to "Rapporter"

/3/ Rondot, J., 1976: Comparaison entré les astroblemes de Siljan, Suède, et de Charlevoix, Quebec. Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala 6, 85-92

/4/ Grieve, R.A.F., 1984: Constraints on the nature of Siljan as an impact structure. Department of Energy, Mines and Resources, Internal Report 84, 15

/5/ Collini, B., 1988: Geological setting of the Siljan ring structure. In A. Boden, K. Eriksson (eds.): Deep Drilling in Crystalline Bedrock; Vol. 1: The Deep Gas Drilling in the Siljan Impact Structure, Sweden and Astroblemes, Proceedings of the International Symposium, 349-354. Springer Verlag, Berlin

/6/ Garmo, Sune Ed.: Djupkarta Siljan – Orsasjön – Insjön Siljansbygdens fiskevårdsförbund 2012. The mapp can be purchased at Tourist Offices in towns round Lake Siljan

/7/ Spicar, Erich: På spaning efter Siljanmeteoritens nedslagsplats Version 1.0, www.vbgf.se, go to "Rapporter"

/8/ Spicar, Erich: Ett försök att förstå Orsa-sandstenens tillkomst www.vbgf.se, go to "Rapporter"

/9/ Petalas, Christos: Sedimentary petrology of the Orsa sandstone, Central Sweden, Master's Thesis 1983, (UUDMP research report no. 40, 1985) University of Uppsala, Sweden

/10/ Thorslund, Per: The Cambrium, Ordovicium and Silurian in Västergötland, Närke, Dalarna, and Jämtland. Central Sweden, Guide to excursions Nos A 23 and C 18, International Geological Congress XXI Session, Norden 1960

/11/ Melosh, H.J: Impact Cratering, A Geological Process, Oxford University Press, New York; Clarendon Press, 1989

/12/ Grieve, R.A.F: The formation of large impact structures and constrains on the nature of Siljan. *Deep drilling in crystalline bedrock, Vol.1.* Editor: Bodén A. and Eriksson K.G.: Springer-Verlag Berlin 1988,

pp. 328-348

/13/ Kenkmann T. and von Dalwigk I: Radial transgression ridges: A new structural feature of complex impact craters. *Meteorics & Planetary Science* 35: 1189-1201

/14/ Spicar, Erich: Picture of a frozen Instant from the Birth of the Siljan-astrobleme. Version 1.2.7. www.vbgf.se, go to "Rapporter"

Augen structures

/1/ Norman Fry: The field description of metamorphic rocks. Geological Society of London. Handbook series. Page 69 to 72

/2/ Alan Spry: Methamorphic Textures. Pergamon Press 1969. Page 230, 235, 265, 280, 280, 284

/3/ Brian Bayly: Introduction to Petrology. Prentice-Hall Internatinal, Inc. London, 1968. Page 233

/4/ Hans Ramberg: The Origin of Metamorphic and Metasomatic Rocks. The University of Chicago Press, 1952, Page 121

/5/ Ernest Ehlers and Harvet Blatt: Petrology. W.H. Freeman and Company, San Fracisco, 1982. Page 515

/6/ Kern C. Jackson: textbook of Lithology. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1970. Page 194-196

/7/ Arthur Holmes: Holmes Principals of Physical geology. Thomas Nelson and Sons Ltd, Third Edition 1978. Page 115, 123

/8/ James Gilluly: Principles of Geology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1968. Page 450

/9/ Frank Press and Raymond Siever: Earth (Second Edition). W.H. Freeman and Company, San Fracisco, 1974. Page 296-297

/10/ R.L. Bates and J.A. Jackson (Editors): Glossary of geology. Americam Geological Institute, Fall Chirch, Virginia, 1980. Page 42

Appendix

Här nedan visas tre figurer från rapporten /14/ Spicar, Erich: Picture of a frozen Instant from the Birth of the Siljan-astrobleme. Version 1.2.7. www.vbgbf.se, go to "Rapporter"

Fig. 3 är en ringa del av djupkartan över Siljan och Orsa-sjön, här delen öster om Sollerön. De mörkblå området visar djupgraven med djup till 130 m. Kartan kan förvärfvas vid någon av Turistbyråerna runt Siljan. Djupgraven är gränsen utåt av det chockade området.

Fig. 8 och 9 är från samma nyss nämnda rapport och visar utvecklingen av meteoritnedslaget

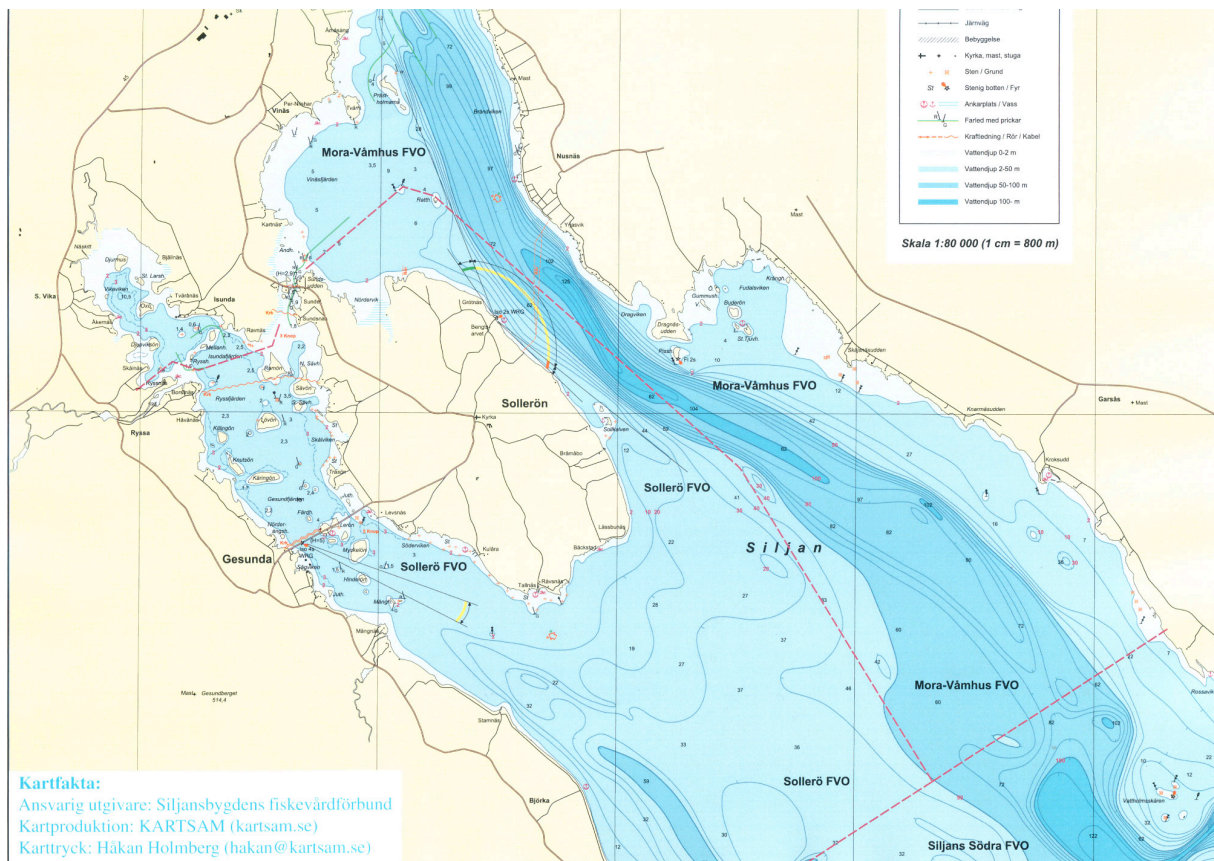


Fig. 3 Bathymetric map of the northern part of Lake Siljan

Fig. 8

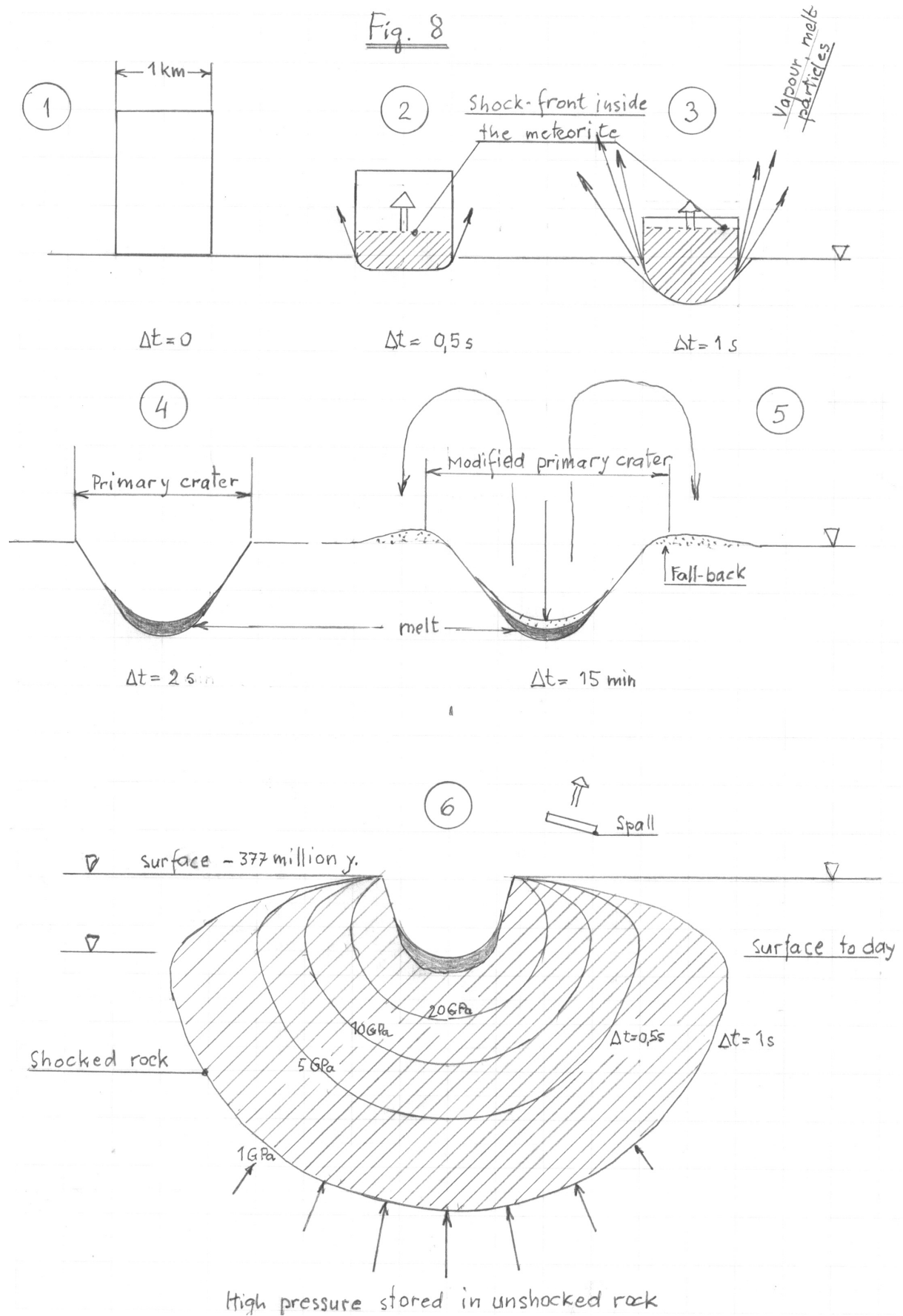


Fig. 8: Utvecklingen av impacten vid olika tidsögonblick

Fig. 9

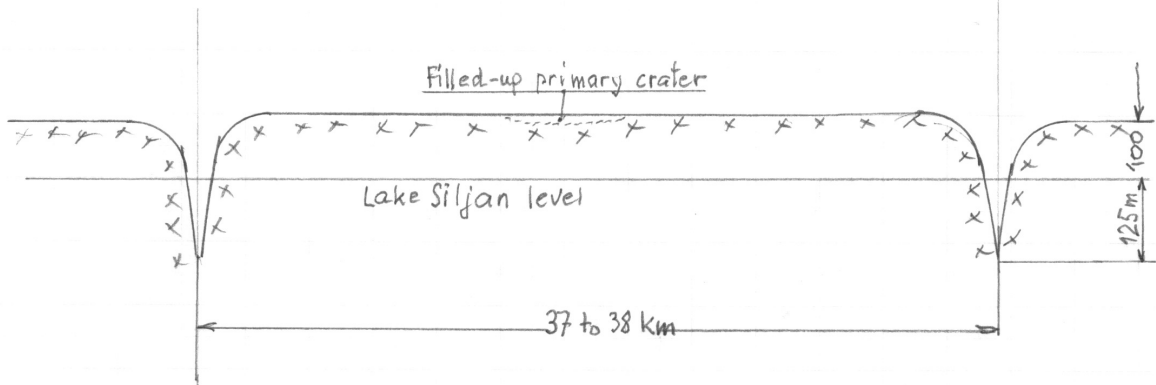
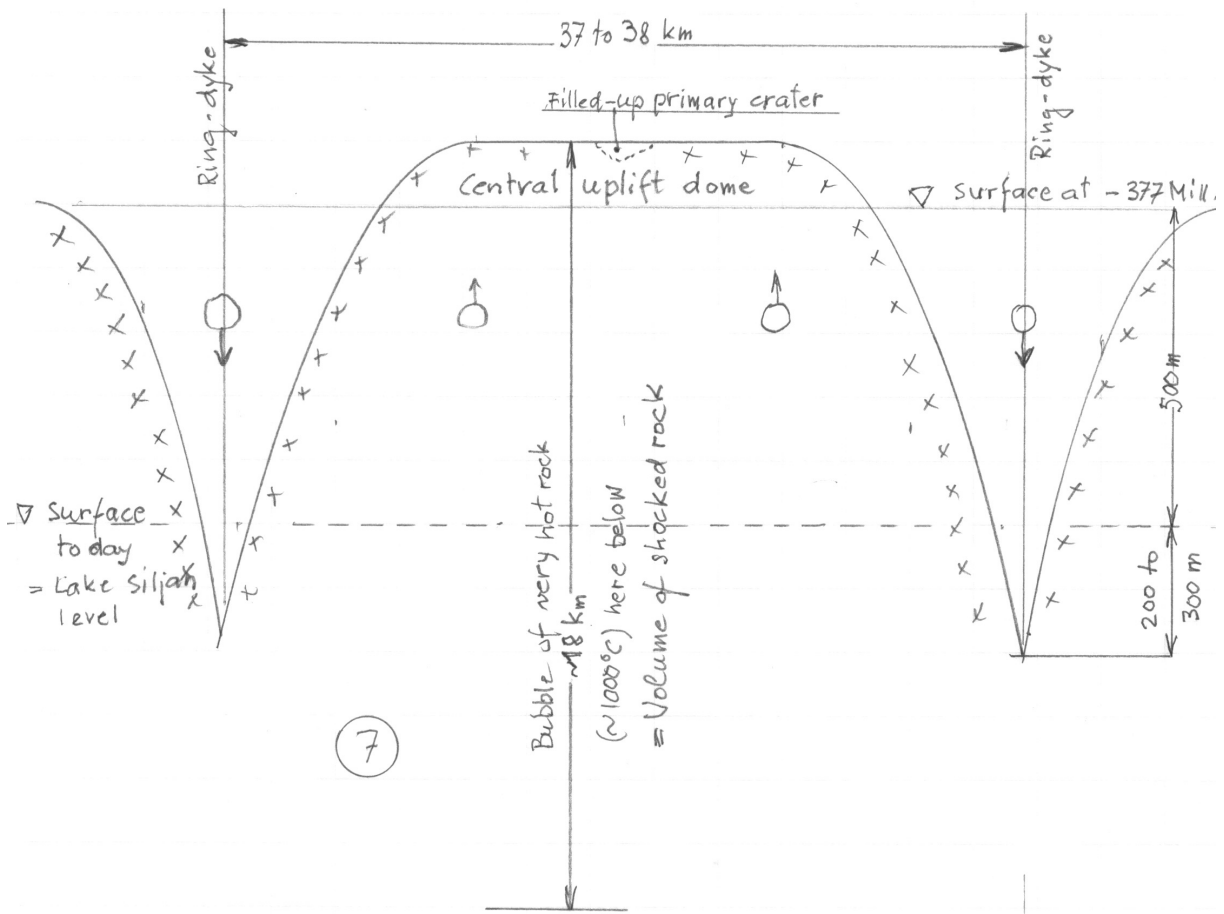


Fig. 9: After the central uplift has come to rest

