

# Impaktitter fundet i Danmark

AF CLAUS KRAGH-MÜLLER

Kornager 111, 2980 Kokkedal (kragh-muller@webspeed.dk)

*Kragh-Müller, C. 2016: Impaktitter fundet i Danmark. Geologisk Tidsskrift 2016, pp. 12–27. ISSN 2245-7097, København.*

Den foreliggende artikel præsenterer nogle udvalgte fund på baggrund af et studie af ca. 220 impaktitter, fundet af forfatteren i Danmark i perioden 2013 til 2015. Da der ikke findes meteorkraterer i Danmark, er der tale om istransporterede sten og blokke, som er ført med isen fra Sverige og Norge under Kvartærtidens istider. Der har ikke forfatteren bekendt været gjort sådanne fund eller påvist denne sammenhæng tidligere.

Der kan anvendes forskellige betegnelser for de aktuelle fund, men overordnet er valgt udtrykket impaktit, som betyder en bjergart, som har været påvirket af nedslaget af en kæmpemeteorit. Et andet begreb er chockmetamorf bjergart, som dækker over en bjergart, som har været udsat for en påvirkning, der ikke skyldes almindelige tektoniske processer. Nogle af fundene er præget af påvirkninger efter selve meteornedslaget. De anvendte begreber og nuancerne i fænomenerne fremgår af den anvendte systematik nedenfor.

Historien om impaktitter fundet i Danmark begynder i en anden sammenhæng. Forfatteren brugte mange år på at øve sig i at genkende de gængse ledeblokke fra Norge og Sverige. Det blev efterhånden lidt ensformigt, så alternativet var at finde usædvanlige og mærkværdige strandsten. Disse fund var til gengæld ofte umulige at bestemme. Mange af dem blev derfor henlagt som ubestemmelige. Af disse fund var der ét som fangede forfatterens blik: En granit med en sælsom, cirkulær og koncentrisk struktur. Efter at have taget den i hånden gentagne gange og lagt den væk igen besluttede forfatteren at bestemme den definitivt. På dette tidspunkt havde forfatteren både set Henbury meteorkratererne i Australien og læst om Siljan meteorkrateret. Så det begyndte at dæmre, at der kunne være tale om en bjergart fra Siljan krateret. I begyndelsen var der stor usikkerhed om dette. Også fordi der blev fundet litteratur, hvor mange forskellige bjergartstyper fra Siljan krateret var beskrevet. I takt med at forfatteren fandt flere forskellige af disse sten, blev blikket for dem styrket.

I 2015 blev otte af forfatterens danske fund undersøgt af Geologisk Museum. I svaret bekræftedes, at bestemmelsen af impaktitterne virkede troværdige, men kunne styrkes yderligere gennem teknisk mere

krævende undersøgelser. Der var dog også en indvending mod at tage det for givet, at fundne pseudotachylitter stammer fra et meteorkrater. Denne bjergart er fx også fundet i Østgrønland i en stor, vulkansk formation, som har været udsat for højt tryk og vridning (Karson *et al.* 1998). Der er derfor, nedenfor, en omtale af pseudotachylitter, som har stedspecifikke træk for Siljan krateret. Senere i 2015 blev der set på flere af fundene ved et møde mellem seniorforsker Dr. scient. Adam A. Garde fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og forfatteren.

De udvalgte fund som præsenteres nedenfor er alle undersøgt med relativt enkle midler. Der er anvendt lup med 8–15 gange forstørrelse, stereolup med 20 gange forstørrelse, vægt til undersøgelse af massefylde, syre til prøve for kalk, og udstyr til hårdhedsprøver. Der har ikke været anvendt tyndslib eller mikroskop.

## Den glacielle transport og lokaliseringen af impaktitterne

Størstedelen af fundene stammer formodentlig fra Siljan meteorkrateret, og er ført med isen sydpå i kvartærtiden. Der er fundet impaktitter fra Siljan meteorkrateret i grusgrave syd for dette (Svedlund & Lundqvist 2010). Der findes flere andre, påviste meteorkraterer i Sverige og et i Norge inden for grænsen i det område i Danmark, hvor der er fundet mange andre typer klassiske ledeblokke. Desuden er der en del mindre, mulige astroblemer i nærheden af Siljan meteorkrateret (Spicar 2012a). På nær nogle få undtagelser kan de danske impaktitter dog ikke kaldes ledeblokke, da de ikke opfylder krav om præcis genkendelighed og forbindelse med en oprindelig formation.

Forfatteren har kun fundet ni norske impaktitter ud af ca. 220 fund, hvilket tyder på, at impaktitter fra Norge er meget sjældne i Danmark. Dette forhold kan måske forklares derved, at det norske krater har en diameter på 5 km og dækker et areal på 15,7 km<sup>2</sup>, mens Siljan krateret med en diameter på ca. 54 km og et

areal på ca. 170 km<sup>2</sup> er 11 gange så stort. Nogle af impaktitterne er nok sjældne i kraft af mineralindhold og struktur, fx mikrodiamanter, jernindhold eller de unakit-lignende (herom senere).

Forfatterens fund fordeler sig nogenlunde ligeligt på strande i Gilleleje og Hornbæk, og marker i Kokkedal. Der er også set efter impaktitter andre steder, men uden held. Der er fundet almindelige typer ledeblokke fra Siljan området begge steder, fx Dalaporfyrer, Digersbergkonglomerat, Garberggranit og Siljangranit. Ifølge Milthers (1935) er der en israndslinje parallelt med østkysten af Nordsjælland og en anden israndslinje ligger ved nordkysten af Nordsjælland. De glaciale aflejringer i området domineres af smeltevandssand, smeltevandsgrus og moræner. Fundene af impaktitter er fra strande nedenfor bakker med smeltevandsgrus.

Det er forbundet med en del usikkerhed at følge de glaciale bevægelser fra Siljan området til findestederne (Fig. 1). Det er kendt, at tidligere isbræer kan have efterladt blokke, som er blevet samlet op af en efterfølgende isbevægelse. Dette kan have givet blokkene en ny retning. Det er også kendt, at i den såkaldte død is er der ikke sket en videre transport af blokke. Det er ligeledes kendt, at en efterfølgende isbræ kan opsamle dele, som er efterladt af en anden. Så der kan være huller i successionen. Hovedsagen er, at udgangspunktet i et eller flere astroblemer ved Siljan meteorokrateret har resulteret i fund af sten og blokke i Nordsjælland. Desuden er fundene af impak-



Fig. 1. Påviste astroblemer i Sydsandinavien. 1: Gardnos, 2: Siljan, 3: Granby, 4: Tvären, 5: Hummeln og 6: Mien (efter Lundqvist *et al.* 2011). Pilene angiver glaciale bevægelser (efter Smed 1989).

titterne udtryk for det samlede resultat af den glaciale bevægelse. Forfatterens 220 fund er bestemt enkeltvis efter de forskellige typer af impaktitter. Der ses derfor en sammenhæng mellem de fundne typer og udgangspunktet i Siljan meteorokrateret eller andre mulige kratere i Sverige. Nogle af de samme overvejelser gælder også den glaciale transport fra Gardnos meteorokrateret vest for Oslo.

I det følgende suppleres billedet af de bjergarter, der vil være mulige istransporterede sten i Danmark. Da det meste af astroblemerne er eroderet bort (Siljan hovedkrateret udgør ca. 90% af selve krateret) er det meget store mængder af materiale, der er ført bort af isen. En løselig beregning siger 2500 km<sup>3</sup>. Da en god del af bjergarten har været knust, er den formodentlig blevet nedbrudt til sand og grus. De to artikler af Svedlund & Lundqvist (2010) og Spicar (2012a) om impaktitter fra astroblemer i Sverige kan anvendes til at opstille en liste over lokale, formationsspecifikke bjergarter. I det centrale Siljan meteorokrater er der ifølge Svedlund & Lundqvist (2010) identificeret følgende bjergarter:

- Dalaporfyr m.fl. vulkanitter
- Digersbergsandsten og -konglomerat
- Dalagranit (Siljangranit, Garberggranit m.fl.)
- Dalasandsten
- Diabas
- Järnagranit m.fl. granitter
- Kalksten, lerskifer og sandsten (Ordovicium–Silur)
- Orsasandsten, som findes tre steder i området, er dannet af knust kvarts og ordovicisk kalksten. Der har antageligt været rigeligt med kvarts til stede før nedslaget, da der fx er fundet en sammenhængende blok på 500 kg med en uforklarlig rektangulær krystalstruktur (Spicar 2012b).

Forfatteren har fundet impaktitter af ovenstående bjergarter. Dertil kommer granatamfibolit, hvor almindelige typer findes en del steder i Midt- og Sydsverige. Den chockbehandlede type kan stamme fra Siljan krateret eller et andet meteorokrater i Sverige.

Da impaktitterne ofte har været fuldstændigt knust og struktur kun delvist bevaret, kan farvekombinationer være vejledende som umiddelbar identifikation. Granitterne fra krateret er Siljan-, Garberg- og Järnagranit. Begge findes i flere varianter: Siljangranit består af rød feldspat og farveløs kvarts, som kan se hvid ud på strandsten, og den lyse feldspat kan være gullig. Garberggranit er i familie med Siljangranit, men er har ikke nær så meget synlig kvarts. Hvid Järnagranit har hvid feldspat, farveløs kvarts og spredte, mindre pletter af mørke mineraler (mere end i Siljangranit). Rødgrøn Järnagranit har tre slags feldspat, rød, gul og grønlig. Desuden findes mørke mineraler, som er mere

dominerende end i hvid Järnagranit. Den gule farve og de mørke mineraler dominerer altså i forskellig grad på denne liste. Det har især betydning i identifikationen af i de totalt knuste og blandede impaktitter af sintret stenstøv.

## Astroblemet og chokbølgens indvirken på bjergarten

Den følgende beskrivelse bygger delvis på French (1998) og Garde (2014). Mindre meteorer efterlader et hul i jordoverfladen. Når en meteor rammer jordoverfladen opstår der øjeblikkeligt en chokbølge med intens sammentrykning i begge. I en lille del af et sekund efter erstattes bølgen af en modsat rettet bølge, som medfører ekspansion. Dertil stiger temperaturen et kort øjeblik til flere tusind grader. Energien i en kæmpemeteor, som kan være adskillige kilometer i diameter, er så stor, at den selv fordamper. Reaktionsbølgen medfører at kraterbunden smelter og mere eller mindre fordamper: Der slynges smelte og mindre sprængstykker op i luften, og disse falder ned på kraterbunden og rundt om krateret.

Kvartssmelten kan være farveløs, gulbrun, brun, rødbrun, grå eller mørk med bølgede flydelinjer eller blotlagte flader. De gulbrune og brune farver, kan skyldes findelt limonit. Rødbrune farver eller teglstensfarve, kan skyldes findelt hæmatit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . En rosa farve, skyldes findelt, jernholdig mikrolinfeldspat. Der er en del bjergarter, hvor der forekommer intransparent glas og mineraler. Farven kan være pastelgrøn til grøn og grågrøn. Der kan være mindre brudstykker af forskellige bjergarter, fx rød granit eller farveløs kvarts. Reimold & Gibson (2005) mener, at den grønne smelte kan stamme fra diabas eller gabbro. Grøn smelte kan også skyldes spredt chlorit i kvarts, som farver denne grøn (Klein & Hurlbut 1993, side 265).

Et astroblem er betegnelsen for et sådant stort, gammelt, nederoderet krater (Buchwald 1992, side 84). Nedslaget af kæmpemeteorer resulterer i en række voldsomme forandringer i bjergarterne i og under

krateret ned til flere kilometer afhængigt af nedslaget energi (Buchwald 1992). Eftervirkningerne i Siljan krateret har været ca. 1000 år og temperaturen har været omkring  $800^\circ\text{C}$  (Spicar 2012a). Det sidste kan have betydning for dannelsen af hydrotermal kvarts eller andre mineraler i bjergarten. Opskydningen er bevaret fx i Gardnos meteorkrateret, Hallingdalen, Norge (Naterstad & Kalleson 2006). Spicar nævner, at selv i den lille, nederste del der er tilbage af Siljan formationen, er der tegn på deformation som følge af chokbølgen (Spicar 2012a).

Principtegningen (Fig. 2) viser et snit af et astroblem ca. 1000 år efter nedslaget. På det tidspunkt er den centrale opskydning afsluttet.

Hvis meteornedslaget skete i lavvandet hav, som ved visse andre astroblemer, blev vandet fuldstændigt fortrængt og flød langsomt tilbage. Derfor suppleres billedet med andre typer af impaktitter, fx hærdet mudder og andet materiale afsat i vand og metamorfoseret.

Henkel og Aaro (2005) gennemførte en geofysisk undersøgelse af Siljan området og deres analyser bekræftede, at ringstrukturen var dannet af et meteornedslag. Men der var alligevel fortsat diskussion blandt geologer om Siljan ringstrukturen var af vulkansk oprindelse eller skyldtes et meteornedslag (Svedlund & Lundqvist 2010). Men allerede i 1971 blev der dog gjort fund af choklameller i kvarts og slagkegler, og dette bestyrkede, at Siljan ringen er et meteorkrater. Senere undersøgte geologer fra Sveriges Geologiske Undersøgelse krateret og området udenfor og fandt blokke, som var dannet ved meteornedslaget, fx med brudstykker af Siljangranit i brun glas (Svedlund & Lundqvist 2010). Det blev derefter fastslået, at Siljan ringen med en diameter på 54 km er Europas største meteorkrater og et af de største på Jorden. Siljan søen opfylder den sydlige del af krateret, hvis alder er beregnet til at være 362 millioner år. I lighed med andre gamle kratere er kraterranden og en stor del af bunden fuldstændig eroderet bort, og materialet ført bort af isen (Buchwald 1992, side 88). I Siljan krateret er der kun efterladt de nederste 150 m af krateret. Det betyder, at der har været rigeligt mate-

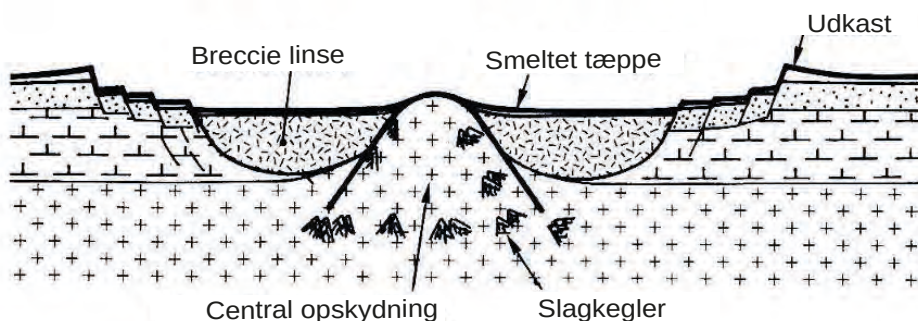


Fig. 2. Principtegning af et astroblem. Bredden er 3–4 km (frit efter Buchwald 1992).

riale med impaktstruktur, som kan være ført med isen under kvartærtiden. Spicar (2012a) nævner, at formodningen om, at Siljan krateret ikke er vulkansk, men et astrobleme, understøttes af, at strøkornene (phenokrysterne) i porfyr kun består af et mineral, mens smelten i impaktitter har fragmenter med flere mineraler.

Da meteoren som slog ned i Siljan for 360 til 380 millioner år siden, havde chockbølgen et tryk på  $10^6$  bar. Trykbølgen har været meget kraftigere end trykbølgen fra en brintbombe, og den har påvirket et langs større område (Spicar 2012a, side 9). Eksempelvis findes der i Siljan krateret nogle meget store flader af kalksten, som er blevet tippet op i en stejl, skrå stilling (Spicar 2012a). I øvrigt er der et andet krater, der har den samme struktur som Siljan krateret: Araguinha meteorkrateret i det centrale Brasilien (Machado *et al.* 2009). Der var oprindeligt en lag af kalksten som blev sprængt i luften og granitten under kalkstenslaget blev også ekstremt påvirket.

Spicar (2012a) har undersøgt og fundet nogle mulige astroblemer syd for Siljan krateret. Nogle af forfatterens fund af impaktitter ligner fotos og beskrivelser af fund fra nogle få af disse. Men der er også andre påviste og mulige astroblemer i Sverige. De påviste er Lockne, Dellen, Siljan, Granby, Tvären og Mien og de mulige er Åvikebugten, Björkö, Hummeln, og Lumpan (Lundqvist *et al.* 2011). I herværende artikel er fokus på Siljan området, fordi der her er mange bjergarter, som kan genkendes i forfatterens fund.

Der findes også et typisk astrobleme i Gardnos (oprindeligt norsk stednavn Garnås) i Hallingdalen i Norge, som er kendt for Gardnos breccien og suevitten (se illustrationer og beskrivelser i Naterstad & Kalle-son 2006). Breccien består af større eller mindre brudstykker af gnejs indlejret i en mørk masse af sintret, usmeltet og delvis smeltet stenstøv. Alderen er 650–680 millioner år. Krateret er nedbrudt, og det er muligt at finde løse sten og blokke i Danmark, selv om de nok er usædvanlige.

## Stofskyen og kraterbunden

I løbet af de første sekunder efter meteornedslaget blev dannet en stofsky. Den tungeste del af stofskyen faldt hurtigt ned. Dette materiale var knust og mere eller mindre smeltet. Resultatet kan fx ses i den grove type Orsasandsten, men også i suevit. Den letteste del af skyen, som bestod af partikler i lerstørrelse, under 0,002 mm, forblev måske svævende i flere dage. Det kan sammenlignes med en prøve af ler, opslemmet i vand, hvor der efterlades en sky af lerpartikler, som falder til bunds efter ca. 10 min. Partiklerne i stofskyen faldt til jorden og blev efterhånden hærdet til den finkornede, lyse Orsasandsten.

Da meteoren fordampede efterlod den en enorm

sky af jernpartikler, som måske formørkede en stor del eller hele Jorden. Mange af de fundne impaktitter fra området indeholder utallige små, rustfarvede pletter, som kan stamme fra jernpartiklerne. Det kan være nedbrudt svovlkis, men i mange af fundene er omfanget af små, rustfarvede prikker påfaldende. Det er imidlertid ikke utænkeligt, at der kan findes fragmenter af meteoritjern i impaktitterne. De kan have smeltet sig fast i bjergartsstykker, som er blevet slynget op ved nedslaget. Hvis fragmentet af jern har ligget i et fugtigt miljø vil det antageligt være nedbrudt til en skalknude (Buchwald 1992). Principelt kan disse skalknuder være små og ligne rustpletter. Det kan også være omdannet til goethit, som det fremgår af gruppen 'impaktitter af materiale afsat i vand og metamorfo-seret' nedenfor.

## Orsasandstenen og omkrystalliseret calcit

Dannelsen af Orsasandsten i Siljan meteorkrateret er særpræget i forhold til andre impaktitter. Den samlede undersøgelse og beskrivelse skyldes Erich Spicar (2012b, side 5). Der kan skelnes mellem en finkornet, ren, hvid type og grovere, mere farvede Orsasandsten. Den reneste og fineste Orsasandsten består af sintret, knust kvarts. Under den hvide Orsasandsten ligger nogle grovere og mere varierede varianter. Disse er dannet kort tid efter meteornedslaget. Den knuste kvarts blev slynget op i luften og de groveste og tungeste dele i stofskyen faldt til jorden sekunder senere. En del af materialet var delvis smeltet og formedes ballistisk som kugler eller store, spiralformede dråber. De små jernpartikler fra den fordampede meteorit farvede noget af materialet ujævnt brunt. Den finkornede, hvide Orsasandsten blev dannet af små partikler af knust kvarts og kalksten, som formodentligt holdt sig svævende i flere minutter. Der var stadig så varmt i krateret, at de nedfaldne partikler sintredes sammen.

Der er en kontemporær forbindelse mellem Orsasandsten og omkrystalliseret calcit/kalksten (Spicar 2012a). Sidstnævnte er omkrystalliseret fra Ordovici-um kalksten, som er hovedbestanddelen af nogle enorme bjergartsplader, som blev skubbet op ved meteornedslaget. En del af kalkstenen blev fuldstændigt knust, og de mindste partikler blev blandet med den knuste kvarts og holdt sig længere svævende i stofskyen, som faldt ned og dannede den finkornede, lyse Orsasandsten.

Forfatterens forskellige fund af omkrystalliseret calcit ligner hinanden på flere punkter, selv om der også er forskelle. Fundene ligner agglomerat, dvs. både med brudstykker og afrundede klaster, men er impaktitter. Der er klaster i meget forskellige størrelser af Siljan granit og finkornet, grå sandsten. Disse bærer



præg af intensiv knusning, blandt andet gulligt stenstøv. I nogle af fundene er der mere eller mindre omfattende partier af glas. Der kan være små, grønne korn af kalksten, som ligner glauconit, men er lysere grågrønne. Der er også rødlig, knust kalksten, som formodentlig er farvet af jernholdigt mikrolinpulver. Der er ingen spor af fossiler eller sedimentation.

Der er en hvid calcit-bjergart, som ligner marmor eller drypsten, men ved nærmere eftersyn er det rekrystalliseret materiale, men ingen sedimentation eller metamorfose. Svedlund & Lundqvist (2010, side 3) omtaler impaktitter, hvor der både er rester af Ordovicium kalksten og omkrystalliseret calcit. I calcitten er der rester af små klaster eller brunt stenstøv. Det skal bemærkes, at der ikke findes sådanne fremmedelementer i oprindeligt bundfældet kalksten, så de må stamme fra meteornedslaget. Det antages (jf. Spicar 2012a, side 19) at der er tale om impaktskadet bjergart. Fundene ligner tilsvarende fra Siljan krateret, antageligt ved Rättvik, hvor der ifølge Spicar (2012a, side 19 med foto) er udstillet et større eksemplar på kirkegården.

## Impaktsmeltet breccie

Impaktsmeltede breccier består af brudstykker i alle størrelser af den lokale bjergart, fx granit, porfyr eller sandsten, som er indlejret i brunt, rødbrunt eller grønt glas. Der kan være meget stor forskel på størrelsen af brudstykkerne i de forskellige fund. Nogle kan være domineret af store brudstykker, mens andre overvejende består af glas. Det skal bemærkes, at breccier også kan være indlejret i suevit, men denne er sintret og består kun delvis af smeltede partikler og brudstykkerne er af en og samme bjergart. I astroblemerne findes breccierne på kraterbunden, dannet af løst, intensivt knust materiale. Brudstykkerne er ikke retningsorienterede. Disse består selvsagt af lokale bjergarter, og variationen kan være stor, selv i det samme fund. Men det er også tydeligt i udvalget af fund nedenfor. Der kan dog være tvivl om et fund er impaktsmeltet breccie eller pseudotachylit. Hvis brudstykkerne er af en og samme bjergart, kan det kun afgøres med sikkerhed, hvis der er noget af sidebjergarten med. På den anden side kan rødbrun glas give et fingerpeg om kontakten med jernstøvet fra den sprængte meteorit – men tolkningen af jernet kræver, at meteoren var af jern.

## Suevit

Suevit kan defineres som "En grundmasse af brudstykker af forskellige bjergarter, indeholdende klaster af stenarter og mineraler, og sammenhængende impaktsmeltede fragmenter" (Koeberl 2002, citat oversat fra

engelsk af forfatteren). Suevit indeholder således både smeltede og usmeltede dele, som har været sprængt i luften, er faldet ned i kraterbunden og sintret sammen. Suevit antages at være dannet gennem sintring af løse fragmenter og usmeltet og delvis smeltet stenstøv fra kraterbunden. Fragmenterne kan være store, hvorved suevitten antager karakter af en breccie. Det antages, at sintringen er sket som følge af varmen fra fragmenterne og fra formationen. Kendetegnet er, at bjergarten kan se glasagtig ud, men den kan være mørk, grå, brun, men også lys, gullig, rødlig og intransparent, uden brune bølgede striber eller flydelinjer. De smeltede fragmenter kan være sammenhængende. Blandt forfatterens fund, der er bestemt som suevit, er der et enkelt eksemplar med en sporadisk lagdeling. Der er ofte ballistisk formede fragmenter, antageligt delvis smeltede, og som har været slynget op i luften. De mest karakteristiske former er kugler eller slyngede dråber. En del af dem er trykket sammen, så de har et ovalt eller linseformet tværsnit. Ofte er der en radiale markeret rand. Størrelsen er under 40 mm i Claus Kragh-Müllers fund.

Astroblemet i Gardnos (oprindeligt stednavn Garnås) ligger i Hallingdalen vest for Oslo. Det er dannet ved et nedslag på bunden af et lavvandet hav for 650–680 millioner år siden. Der er bevaret en tydelig del af impaktstrukturen og den centrale opskydning (Kalleson *et al.* 2013, foto). Krateret er meget eroderet og det må derfor være muligt at finde løse sten i Danmark.

Gardnosbreccie og Gardnos-suevit er beskrevet og afbildet af Naterstad & Kalleson (2006, side 145) og Kalleson *et al.* (2013). Den lokale suevit ligner en mørk breccie og består af vredne fragmenter, og smeltede og halvt smeltede fragmenter. Desuden er der ofte ballistisk formede fragmenter. Endvidere er der mange tynde lag af lyst, gul- og rødbrunt stenstøv. Den vejrpåvirkede bjergart er rød, hvilket kan ses i et fund, som er dannet i samme formation som fund nr. 9 (Fig. 11) der er omtalt nedenfor.

Den mørke mellemmasse i breccien og suevitten indeholder kulstof, og i suevitten skabte chokbølgen mikrodiamanter (Naterstad & Kalleson 2006). De fleste krystalkorn af disse kan ikke ses, men lysglimtene kan måske ses i en kraftig lup. Men der kan forekomme større krystaller op til 1 mm, som kan ses i lup. Mikrodiamanter er stedspecifikke i sten fra Gardnos.

## Impaktit af helt eller delvis smeltet bjergart

Den helt smeltede bjergart består af ensartet glas. Det kan være i form af tektitter, som er slynget ud af krateret som dråber. Men der er forfatteren bekendt aldrig fundet sådanne i Skandinavien. Andre fund er dannet i kraterbunden og består af rødbrun eller grøn smelte

med uregelmæssigt bølgede flydelinjer. Der kan være nogle små, spredte rester af fragmenter, som har været under smeltning. Strandsten af fuldstændigt smeltet bjergart har en mat, glasagtig overflade.

## Den underliggende klippe og det centrale opløft

Resultaterne af nye undersøgelser rummer en anden opfattelse af nedslagsprocesserne end tidligere antaget. Da det har betydning for bestemmelsen af nogle af impaktit-typerne nedenfor, bliver det kort omtalt nedenfor i afsnittet kataklasit, injektit og pseudotachylyt.

Chockbølgen fra en kæmpemeteor påvirker mineralerne i ekstrem grad. Under det pludselige, ekstreme tryk kan kvarts omdannes til andre mineraler med samme kemiske sammensætning men tættere krystalstruktur. Det drejer sig især om coesit i kraterbunden og eventuelt stishovit længere nede (Buchwald 1992). Hvis disse to mineraler kan påvises er det evident, at bjergarten er en impaktit.

Feldspat kan i impaktitter omdannes til en glasfase, maskelynit (Buchwald 1992). Desuden er der fundet en parallelt sribet struktur i feldspat (ikke som tvillingedannelsen i mikrolin), som kan påvises ved mikroskopi (Svedlund & Lundqvist 2010, fig. A11 og A12). I øvrigt kan chokmineraler efterfølgende være omdannede tilbage til almindelig kvarts og feldspat og kan i så fald ikke påvises.

## Kataklasit, injektit og pseudotachylyt

De tre begreber, kataklasit, injektit og pseudotachylyt udgør en triade i dannelsen af bjergarter under nedslaget af en kæmpemeteorit. Dette sker ved seismiske rystelser som følge af chockbølgen. Det er tidligere antaget at dannelsen af pseudotachylyt skete gennem friktion i materialet under kraterbunden. Dette skulle være sket gennem den begyndende kompressionsfase mellem trykket ovenfra og den efterfølgende opskydning i midten af krateret (Reimold & Gibson 2005, i Svedlund & Lundqvist 2010). Tachylyt er vulkansk glas som er afkølet hurtigt, fx i havet. En pseudotachylyt ligner en tachylyt, men er det ikke. Pseudotachylyt, som ikke er fra meteorkratre, kan dannes i store forkastningszoner (Karson *et al.* 1998). Men i det følgende drejer det sig om bjergarten, som dannes som følge af nedslaget af en kæmpemeteorit. Forskning viser, at den afgørende påvirkning af den underliggende bjergart skete i løbet af de første sekunder efter nedslaget (Garde & Klausen in press).

Kataklase (kata – græsk, gennemgribende, fuldstændig + klasis, knusning), betyder indenfor geologi knusning af de enkelte mineralkomponenter i sten ved

tektoniske kræfter (www:gyldendal den store danske). Hvis kataklasen sker som følge af seismiske rystelser, pulveriseres bjergarten, og der kan dannes kataklasit (Garde *et al.* 2015). Denne kan ligne pseudotachylyt, som imidlertid kun dannes såfremt friktionen fra knusningen smelter de knuste korn. Der sker en gradvis nedbrydning af klippen, hvor fragmenterne i klipperevnen bliver mindre og mindre. Der kan opstå strømme af finkornet pulver, som til forveksling ligner pseudotachylyt.

Kataklasit består af bjergart, som er deformeret af en chockbølge, med revner, som er fyldt med strømme af pulveriseret bjergart (Garde *et al.* 2015). Disse strømme kan forveksles med smelte, da det i en feltobservation kan være svært at afgøre forskellen.

Injektit er mikrokataklastisk, hvor den pulveriserede bjergart er presset ind i de hårtynede revner (Garde *et al.* 2015, side 303). Partiklerne i pulveret er på grænsen af, hvad der kan ses i en kraftig lup, men er synlige i mikroskop. Også i dette tilfælde er dannelsen sket på stedet og ikke presset ind fra fjernere liggende kilder.

En ny undersøgelse af Ivrea-Verbano zonen i Norditalien har det vist, at en tidligere undersøgt formation af pseudotachylyt, hovedsageligt er ultrakataklastisk injektion (Garde *et al.* 2015). Der var ikke bevis for smelte gennem friktion. Der peges også på, at pseudotachylyt kan være mere sjælden end tidligere antaget. Det viste sig også, at deformationen skete på stedet og ikke som tidligere tænkt gennem forkastninger eller forskydninger og rotation af hele blokke dybere i den underliggende bjergart. Viden om disse forhold er blevet bestyrket i en ny undersøgelse af Vredefort meteorkrateret (Garde og Klausen 2015).

Det kan i øvrigt være svært eller umuligt uden mikroskopudstyr at afgøre forskellen mellem smelte og mikrokataklastisk pulverstrøm. Men i nogle tilfælde vil det dog være muligt at se det i en kraftig stereolup. Smelten har ofte en glasagtig overflade. Nogle mikrofotos, fx i Svedlund & Lundqvist (2010, fig. 12), hvor der kan ses forskel mellem smelte og brudstykker, er kun forstørret 8 gange. Sten af kataklasit, injektit eller pseudotachylyt indeholder, hver for sig, brudstykker af den samme bjergart. Impaktsmeltet breccie kan derimod indeholde brudstykker fra forskellige bjergarter. I lyset af ovenstående betragtninger har en strengere gennemgang af forfatterens danske fund af 'pseudotachylyt' vist, at kun 15 % ligger i den mest smeltede ende af gradskalaen.

## Gendannelse af granit

Spicar (2012a) omtaler at visse dele af bjergarten under krateret er blevet rekonstrueret. Dette er sket på grund af den store varme (800–1000°C), som i løbet af ca.

1000 år er aftaget, men som har medført en rekrytalliseret, hvor den intensivt knuste granit er rekrytalliseret, så den igen mere eller mindre ligner granit. Det kan i øvrigt være vanskeligt at bestemme fund af omkrystalliseret granit. Spørgsmålet er i hvilket omfang, de er blevet knust henholdsvis omkrystalliseret. Knusningen viser sig i de afgrænsede, matte korn uden krystalflader, revner på kryds og tværs, og flerfarvede reflekser. Rekonstruktionen viser sig ved mange krystalkorn, men også reminiscenser fra knusningsstadiet, smelte, hærdeet lyst stenstøv eller mørkebrunt goethit. Spørgsmålet er om der er nogen træk, som viser forskellen mellem den oprindelige granit og den gendannede. Hvis det ikke er tilfældet er det umuligt at type- eller stedbestede stenene, med mindre de er fundet *in situ*. Det kan dog hjælpe, hvis der er lighed med de kendte, lokale granittyper, Siljan-, Järna- eller

Garberggranit, eller varianter af disse. I forbindelse med Orsasandsten ovenfor er der gjort rede for dannelsen af rekrytalliseret calcit.

## Hydrothermal kvarts

Sprækkeudfyldninger af farveløs eller hvid kvarts uden flydelinjer, kan skyldes hydrothermal kvarts. Denne er betinget af et vandholdigt miljø, højt tryk og temperatur over 350°C, hvor de fleste mineraler opløses og kan trænge ind i og afsættes i de mindste revner, selv i krystaller (Noe-Nygaard 1967). Eksempelvis er det kvarts og epidot. Det vandholdige miljø kan fx skabes af nedsivende regnvand. Betingelserne har formodentlig også været til stede, hvor meteornedslaget er sket i lavvandet hav. Hydrothermal kvarts er fundet i impaktitter fra bjergarten under kraterbun-



Fig. 3. Orsasandsten, grovkornet type, 145 mm (fund nr. 1).



Fig. 4. Orsasandsten, tofarvet, finkornet type. A: 60 mm, B: udsnit 30 mm (fund nr. 2).



den. Nogle steder kan det ses, at sprækker med rødbrun, grøn eller mørk smelte har været delvis opløst og udfældet samme sted, men som farveløs, krystallinsk kvarts.

## Andre typer impaktitter

### *Impaktit af materiale afsat i vand og metamorfoseret*

I nogle astroblemer er meteornedslaget sket i et lavvandet hav. Det kan fx være det mulige Flossjön krater i nærheden af Siljan krateret (Spicar 2012a). Da meteoren slog ned, fortrængte den vandet, som derefter flød langsomt tilbage.

Forfatteren har fundet mere eller mindre rullede marksten med bevarede rester af gråt og lyst, hærdet stenstøv på overfladen. Disse kan stamme fra vandaflejret konglomerat. Det er bemærkelsesværdigt til forskel fra strandsten, hvor det ikke kan afgøres, om stenstøvet er slidt af i brændingen. Desuden repræsenterer disse fund meget forskellige typer af impaktitter, fx delvis smeltet bjergart og suevit.

I stenstøvet er der ofte mange, større eller mindre, rustfarvede pletter, som i lup har vist sig at bestå af meget små, runde korn af goethit. På nogle af dem ses, at kernen er faldet ud, så der er efterladt en skal. Stenstøv- og goethitkornene er tydelige i lup ved 20 ganges forstørrelse. Det er nærliggende at pege på sprængstykker af jern og jernstøv fra meteoritten, men dette kan dog kun afgøres ved en undersøgelse af eventuelt indhold af platin eller iridium.

### *Ny bjergart af farvet kvarts*

I Siljan området er fundet "ny bjergart, hovedsagelig bestående af farvet kvarts" (Spicar 2012a). De danske fund har ensfarvet og ensartet, ikke krystallinsk, rosa eller rødbrun kvarts. Overfladisk set ligner det kvartsit, men farven og tekturen er meget særpræget, – ensartet glasagtig og fløjelsagtig mat i overfladen på strandsten. Farven skyldes muligvis findelt, jernholdig mikrolin. Desuden er der epidot med reaktionsrande, hvilket tyder på at den i en eller anden udstrækning har været smeltet.

## Præsentation af udvalgte fund

Det følgende indeholder en kort redegørelse for udvalgte impaktitter, som forfatteren har fundet i Danmark. Fundene er ordnet i samme rækkefølge som beskrivelsen af typerne ovenfor.

Figur 3 viser et spektakulært fund af en strandsten af den grovkornede type Orsasandsten. Det er en strandsten, som ligner lagdelt sandsten, men de lagdelte elementer ligger som afbrudte, buede partier af lyst,

gulbrunt støv, fuldstændig knust kvarts og brunt kvartssmelte. Der er bredere partier af farveløs, knust kvarts og delvis smeltet kvarts, som på overfladen er hvidlig, da det er en strandsten. Det er muligt, at disse partier er omkrystalliseret granit. Overalt er der lysglimt fra små, flerfarvede brudflader i kvartsen (dette kan desværre ikke vises på foto). Nogle af de tynde lag indeholder små korn af biotit. Der er et enkelt parti af små, lyse kvartskorn. Stenen er nok i transporten fra Siljan meteorokrateret og er fundet på stranden i Hornbæk Plantage.

Figur 4 viser en tofarvet, finkornet type af Orsasandsten. Det er en strandsten som ligner en meget finkornet sandsten med en lys og en brun del. Den lyse del består af knust kvarts med uregelmæssig og forvirret sedimentation. Den brune del er farvet af jern- og kalkholdige lerpartikler (kalkprøve er positiv). Utallige små lysreflekser ses i lup, men det er ikke muligt at se, om de stammer fra knust kvarts. På fotoudsnittet kan anes en del små, ballistisk formede fragmenter, både i den lyse og den brune del. Stenen stammer antageligt fra Rättvik, Siljan meteorokrater (jf Spicar 2012a, b). Strand, Hornbæk Plantage. Med hensyn til placering i kraterstrukturen repræsenterer dette fund muligvis den øverste del af kraterbunden.

Figur 5 viser en strandsten, som ligner et agglomerat med drypsten, men det er en impaktit, som består af følgende: 1) Talrige, små, bløde korn af grågrøn kalksten uden fossiler eller sedimentære strukturer. Der er desuden mange, små, grålige korn af kvarts og af rød granit. Der er nogle spredte, små, flade brudstykker af brunlig formodet kvartssmelte 5–10 mm. 2) Enkelte større, buttede klaster af Siljangranit, heraf en stor klast til højre for calcitåren på billedet, og mindre, flade klaster af finkornet, grå sandsten. Granitten selv og de mange, tynde, næsten parallelle sprækker med stenstøv, må være resultatet af intensiv knusning. 3) Bred åre af hvid, marmorlignende calcit op til 65 mm bred der tolkes som omkrystalliseret calcit. I midten af udsnittet ses spredte klaster i calcitten, som må stamme fra den knuste kalksten. Det skal bemærkes, at der ikke findes småsten i oprindeligt sedimentær kalksten, så de må stamme fra meteornedslaget. Det er i øvrigt overraskende, at stenen har overlevet den lange transport, da den virker skrøbelig. Men den har muligvis været større. Fundet er i transporten formodentligt fra Rättvik, Siljan meteorokrateret. Stenen er fundet stranden ved Hornbæk Plantage.

Figur 6 viser en strandsten med brudstykker af lys kvarts i alle størrelser op til 50 mm, intensivt knust, i rødbrun kvartssmelte med bølgede flydelinjer. Brudstykkerne har mange, små, flerfarvede lysreflekser. I højre side af billedet ses en knust kvartskrystal. Desuden ses, at kernen i krystallen er mere translucent end den yderste del. Eksemplaret er fundet på en





Fig. 5. Omkrystalliseret calcit. A: 150 mm, B: udsnit 50 mm (fund nr. 3).

nordsjællandsk strand 1980'erne. Fundet er antageligt fra kraterbunden på grund af den massive smelte. Der er ikke noget der peger på et bestemt meteorkrater, bortset fra at kilden nok ikke er Gardnos i Norge.

Figur 7 viser en impactsmeltet granatamfibolit med stort jernindhold. Denne er en strandsten der repræsenterer en bjergart, der er intensivt knust. I 20 gange forstørrelse ses utallige små uregelmæssigt bølgede flydelinjer, dog med en vis gitteragtig ensretning på kryds og tværs (sml. Spicar 2012a, side 21, fig. 5, som har en lignende struktur). Den mørke smelte er iblandet knuste kvartskorn og mørke mineraler, heraf en del biotit. Der er en del små huller, hvor det gullige stenstøv er delvis eroderet. Desuden ses spredte, knuste røde korn af granat. Vægt 770 g, massefylde 3,67. Jernindholdet er 317,2 g eller 41,2 % (beregnet med ombyttningsmetoden). Det er formodentlig en sten fra Siljan meteorkrateret. Fundet er fra stranden ved Hornbæk Plantage.

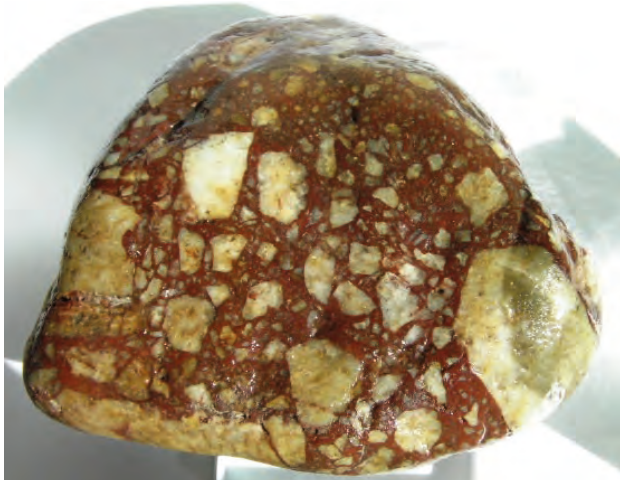


Fig. 6. Impactsmeltet breccie, 110 mm (fund nr. 4).

Figur 8 viser en spektakulær strandsten med brudstykker overvejende af grøn smelte, med brudstykker af rød granit, som ligner Siljangranit. Blokken er domineret af uregelmæssigt bølgede, tykke striber af grøn smelte i forskellige nuancer. Der er nogle få striber og blotlagte flader af rødbrun smelte. Der er også nogle ballistisk formede fragmenter. Stenen er formodentlig fra Siljan meteorkrateret. Blokken er fundet på stranden ved Hornbæk Plantage.

Fund nr. 7 (Fig. 9) er en spektakulær strandsten bestående af rød granit, intensivt knust, med brede striber af lys og mørk grøn smelte. Der er revner på kryds og tværs. Desuden er der en smule, spredt hydrotermal kvarts. Til gengæld er der mange huller og



Fig. 7. Impactsmeltet breccie med stort jernindhold, 85 mm (fund nr. 5).



striber med grøn chlorit, som er delvis borteroderet. Dette eksemplar er den største klump af grøn smelte blandt forfatterens fund. Det er samtidigt det eneste fund, som har både synlig chlorit og grøn smelte. Ifølge Svedlund & Lundqvist (2010) antages, at grøn smelte i pseudotachylyt kan stamme fra diabas eller gabbro. Men kvarts bliver grøn af tilstedeværelsen af findelt, spredt chlorit. Fundet viser måske 'The Missing Link', dvs. overgangen fra en bjergart, som kan identificeres som ophav til grøn smelte. Eksemplaret er antageligt en sten fra Siljan meteorkrateret og den er fundet på stranden ved Hornbæk Plantage.

Strandstenen i Fig. 10 viser en usædvanligt stor, impactsmeltet breccie. Denne består af brudstykker af Siljangranit i alle størrelser op til 100 mm, farveløs kvarts og mindre stykker af forskellige mørke bjergarter. Brudstykkerne er fuldstændigt knust, og indlejret i gråbrun, rødbrun og mørk smelte. Desuden er der også smelte som lange, uregelmæssige årer i brudstykkerne og nogle få årer af farveløs, hydroter-



Fig. 10. Stor impactsmeltet breccie af Siljangranit, 200 mm (fund nr. 8).



Fig. 8. Grøn og rød impactsmeltet breccie. A: 110 mm, B: udsnit 48 mm (fund nr. 6).



Fig. 9. Impactsmeltet breccie med grøn smelte og chlorit. A: 170 mm, B: udsnit 42 mm (fund nr. 7).



mal kvarts. Det hele ser turbulent ud. Der er sandsynligvis tale om en istransporteret sten fra Siljan meteorkrateret. Stenen er fundet på stranden ved Hornbæk Plantage.

Figur 11 viser en Gardnossuevit. Det er en strandsten, som ligner sort basaltmandelsten, men fundet består af ekstremt knust og helt og delvis smeltet mørk bjergart, måske gnejs. Der er ingen synlige krystaller, fx fænochryster (strøkorn som i porfyr). Der er nogle spredte ballistisk formede fragmenter. Desuden ses nogle områder med sintret, lyst stenstøv, som er karakteristisk nedfald på suevitten i Gardnos (Kalleson *et al.* 2013).

Der er antagelig tale om en istransporteret sten fra Gardnos meteorkrateret i Norge. Stykket er formo-



Fig. 11. Gardnossuevit med stenstøv, 90 mm (fund nr. 9).



Fig. 12. Impaktit af fuldstændigt smeltet diabas, 120 mm (fund nr. 10).

dentligt fra kraterbunden, da der er tale om blandet smeltet og usmeltet materiale. Der er et andet tilsvarende fund, hvor overfladen er rødligt anløbet, hvilket også er karakteristisk for forvittring af denne type suevit. Stenen er fundet på stranden ved Hornbæk Plantage.

Fundet Fig. 12 viser er en impaktit af fuldstændigt smeltet bjergart. Det er en flad, broget strandsten, som minder om hornfels, men den har ikke gennemgående striber efter lagdeling. Blokken består af grøn og grå smelte med en fløjlsagtig, mat overflade. Der er mange, uregelmæssigt bølgede flydelinjer og enkelte tynde revner udfyldt af grøn smelte. De spredte, små, mørke korn  $\leq 6$  mm, som har været under smeltning, er antageligt diabas. Den grå smelte stammer måske ikke fra den samme bjergart som den grønne. Men det kan fx være Åsbydiabas, som har lyse listeformede krystaller af plagioklas. Denne forekommer i nærheden af Siljan krateret, men det kan også være en tilsvarende bjergart. Der er formodentlig tale om en sten fra Siljan meteorkrateret og den er fundet på en strand ved Nordsjællands kyst.



Fig. 13. Impaktit af delvis smeltet Siljangranit med inklusion af hærdet stenstøv, 91 mm (fund nr. 11).



Fig. 14. Impaktit af delvis smeltet Siljanpegmatit, 98 mm (fund nr. 12).



Figur 13 viser en impaktit af delvis smeltet Siljan-granit med inklusion af hærdet stenstøv. Denne er en marksten bestående af brudstykker af knust og delvis smeltet, rød granit. Der ses talrige, små, fine revner på kryds og tværs, og adskillige lysreflekser fra knust kvarts. Der er en stor, porøs inklusion af hærdet, lyst støv 55 mm. Desuden rummer fundet meget rødbrun og farveløs kvartssmelte med uregelmæssige flyde-linjer. Fundet er antageligt istransporteret fra Siljan

meteorkrateret. Eksemplaret er et markfund fra Kokkedal.

Strandstenen Fig. 14 viser en impaktit af delvis smeltet Siljan pegmatit (grovkornet granit). Farverne er bemærkelsesværdige: Rosafarvet med gule pletter. Den rosa farve skyldes antageligt jernholdig mikro-linfeldspat. Bjergarten er intensivt knust og delvis smeltet. Desuden ses et lille, mørkt område med delvis borteroderet muscovit og biotit. De cirkulære

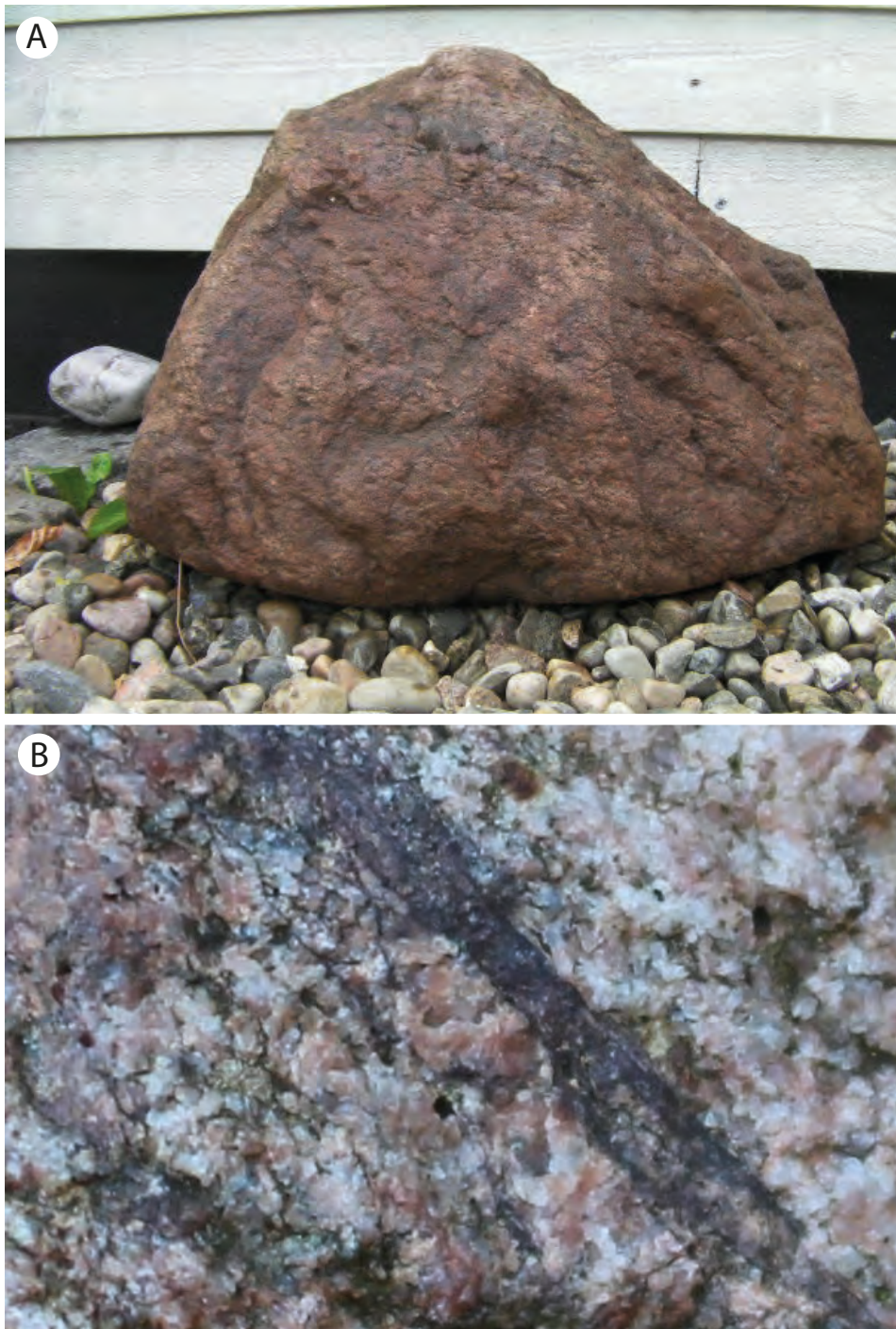


Fig. 15. Mikrokataklasisk injek-tit af Siljangranit. A: 510 mm, B: åren 20 x 1,6–2,6 mm (fund nr. 13).

strukturer, enkelte krystalflader af feldspat og mørke mineraler skyldes muligvis gendannelse af granitten. Stenen har antageligt oprindelse i Siljan meteorkrateret og er fundet på stranden ved Nakkehoved i Lilleleje.

Blokken Fig. 15 er formodentlig en mikrokataklastisk injektit; den vejer 45 kg og er forfatterens største fund. Blokken består af Siljan granit, som er intensivt knust. Der er mange tynde revner på kryds og tværs. Men det mest karakteristiske er de mange forgrenede årer og blotlagte flader. Det skal bemærkes at årerne ser lilla ud både umiddelbart iagttaget og på foto, men i lup er farven rødbrun. Stenen stammer sandsynligvis fra Siljan meteorkrateret. Fundet er interessant, fordi blokken i kraft af størrelsen giver en fornemmelse af de store kræfter, der har sat sit præg på den. Desuden kan Siljangranitten identificeres med god lighed.

Den afslidte flade, som blokken hviler på, har antageligt været oversiden og kan skyldes den almindelige erosion, men måske også afslidning fra istrans-

porten. De øvrige flader er brudflader med mindre erosion, som er karakteristisk for marksten. Blokken er fundet på en mark i Kokkedal.

Strandstenen Fig. 16 er en pseudotachylit som består af intensivt knust rød granit, formodentlig Garberggranit. Der er talrige revner på kryds og tværs. Nederst på foto ses en 17 mm bred, uregelmæssigt bølget åre af mørk, glasagtig smelte. Endvidere er der spredte rester af lyst stenstøv på en blotlagt flade, hvilket kan bestyrke en antagelse om smeltning som følge af seismiske rystelser. Det er antageligt en sten fra Siljan meteorkrateret og den er fundet på stranden ved Hornbæk Plantage.

Strandstenen Fig. 17 er en usædvanlig impaktit af omkrystalliseret granit. Den ligner Digersbergkonglomerat med to stykker grønklitporfyr og flere af granit. Bjergarten er intensivt knust. Der er en del klumper af olivengul smelte med gendannede, røde feldspatkrytaller med lysreflekser. Der er en krystallinsk bjergart på 25 mm af mørk, rødbrun smelte. Det bemærkes, at

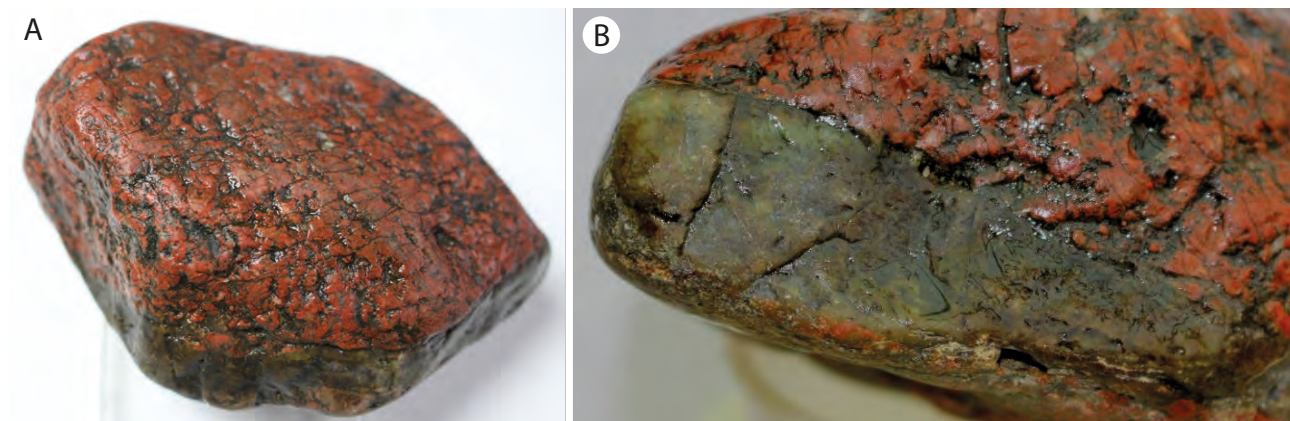


Fig. 16. Pseudotachylit af Garberggranit. A: 115 mm, B: udsnit 65 mm (fund nr. 14).



Fig. 17. Impaktit af omkrystalliseret granit, oprindeligt Digersbergkonglomerat, 95 mm (fund nr. 15).



Fig. 18. Unakitlignende, intensivt knust bjergart med hydrotermal kvarts, 120 mm (fund nr. 16, C1899).



den skadede Digersbergkonglomerat er omkrystalliseret som granit. Alderen af Digersbergkonglomeratet i Siljanstrukturen er 1600 millioner år, så det er væsentlig ældre end kraterdannelsen. Det almindelige konglomerat såvel som det skadede fund er sandsynligvis istransporteret fra Siljan meteorkrateret. Stenen er fundet på en strand i Nordsjælland.

Figur 18 viser en stor, spektakulær strandsten, som både ligner smykkestenen unakit, men også pegmatit og breccie. Blokken består af brudstykker af kraftig rød og lysere rød mikrolin i alle formater op til 38 mm. Det meste af feldspatten er kraftigere rødfarvet end normalt. Mellemrummene er udfyldt af grøn epidot med lysere reaktionsrande. Fundet svarer til Erich Spicars beskrivelse og foto (2012a, side 47, fig. 27c). Det beskrives at bjergarten kan være dannet af calcitstøv og rapakivigranit, hvor epidoten har været smeltet og senere er blevet opløst og udfældet hydrotermalt. Det nævnes også, at grunden til, at der ikke er



Fig. 19. Impaktit: bjergart af farvet kvarts, 90 mm (fund nr. 17).

nogen kvarts, er at den efterhånden er blevet opløst og ført bort. På dette punkt er der ikke tale om en unakit, som er en granit og derfor burde indeholde farveløs kvarts. Fundet ligner et tilsvarende fra det mulige Lake Ljukaren astrobleme. Stenen er fundet på stranden ved Hornbæk Plantage.

Stenen Fig. 19 ligner kvartsit, men har små lysreflekser, som set i lup ikke er glimmer, men små revner i kvartsen med flerfarvede reflekser. Kvartsglassets røde farve er usædvanlig kraftig, og der ses ikke krystalkorn, selv i 20 ganges forstørrelse. Den rosa farve skyldes antageligt jernholdig mikrolin. Den grønne epidot har været smeltet, hvilket ses af de markante, lysere reaktionsrande ind mod den røde kvartssmelte. Til forskel fra fundet af den unakitlignende, intensivt knuste bjergart med hydrotermal kvarts (fund nr. 16, fig. 18), har epidoten kun været smeltet, ikke hydrotermal omdannet, da den ikke ses i kvartssmelten. I epidoten er der desuden nogle få pletter af blålig kvarts, hvilket tyder på højt tryk. Der er ikke fundet fotos eller yderligere beskrivelser af denne type i litteraturen, men der er anvendt noget af det foreliggende materiale fra bestemmelsen af fund nr. 16. Denne har også epidot, men af en anden karakter. Fundet er formodentlig en istransporteret sten fra Siljan meteorkrateret og er fundet på stranden, Hornbæk Plantage.

Strandstenen Fig. 20 ligner lys sandsten med meget uregelmæssig sortering. Materialet består både af brudstykker og lidt rullede korn fra sandkornsstørrelse op til ca. 15 mm, hovedsageligt af lys kvarts og rødbrun smelte. De røde småsten blev oprindeligt bestemt til at være rosakvarts eller rød kvartsit, men det undrede, at de ikke var kornede eller krystallinske, men glasagtige. Der er en del ballistisk formede strukturer (pile), fortrinsvis kugleformede, hvor klasterne

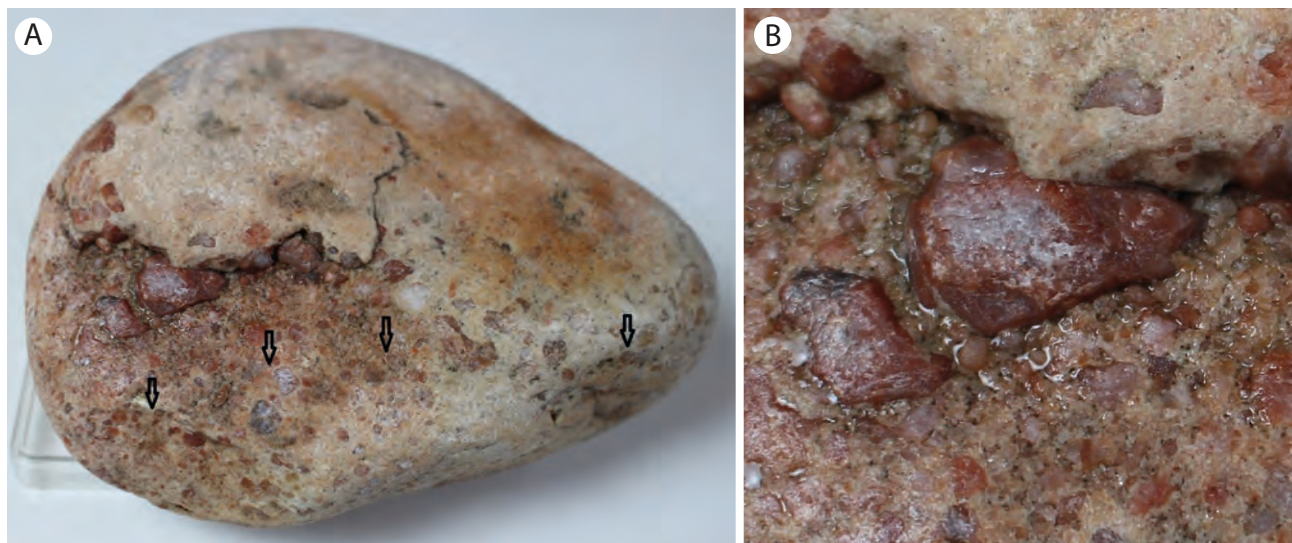


Fig. 20. Impaktit af materiale dannet i vand med klaster af rødbrun smelte. A: 125 mm, B: udsnit 27 mm (fund nr. 18).

ses som perlekranse i snitfladen, fx i rækkefølge fra nederst tv. ca. 15 mm, 32 mm, 10 mm, og 10 mm. Der er mange små, spredte, sorte korn af goethit < 0,5 mm (som desværre ikke kan vises på foto). Stenen kan være fra det mulige Flossjön-astroblet (lidt syd for Siljan krateret), hvor der har været vand tilstede ved meteornedslaget (jf. Spicar 2012). Fundet på strand, Hornbæk Plantage.

## Afslutning og perspektiver

I ovenstående redegørelse er præsenteret en del forskellige impaktitter og impaktderiverede sten og blokke, men dette er dog kun en begrænset del af de mangeartede, danske fund. Det har overrasket forfatteren adskillige gange, at fund, som ligner særprægede, almindelige bjergarter, kan vise sig at rumme nye, overraskende perspektiver. Betingelsen er åbenbart, at finderens kan fastholde sin undren og sætte noget ind på at afdække en sammenhæng. Med baggrund i forfatterens interesse for geologi har ovenstående redegørelse forhåbentlig vist en ny side af Danmarks geologi og forbindelse mellem den danske og den skandinaviske geologi. Den æstetiske side ved mange af fundene er forhåbentlig også blevet anskueliggjort. Uanset om det er den umiddelbare attraktion ved et fund, eller om det er fascinationen ved at forsøge at gennemskue endnu en kompleks sammenhæng. Det er forfatterens håb at lede andre på sporet af de usædvanlige og mærkværdige bjergarter relateret til meteorkratere. Det kan måske også interessere svenske og norske stenhjægere, at de er gået glip af en del spændende bjergarter og naturarv, som nu ligger på Danmarks marker og strande.

## Tak

Forfatteren takker de følgende personer for hjælp, nyttig viden, gode råd og anden inspiration, der har gjort det muligt at publicere denne artikel. Docent emeritus, Dr. scient. Asger Ken Pedersen, Geologisk Museum takkes for undersøgelse af udvalgte fund af impaktitter, et imødekomende og nyttigt, skriftligt svar. Seniorforsker, Dr. scient. Adam A. Garde, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), takkes for et inspirerende møde, diverse artikler, og gode råd til at komme videre i arbejdsprocessen. Redaktør af Geologisk Tidsskrift, seniorforsker, Ph.D. i Geologi Ole Bennike takkes for hjælp til manuskriptet, samt gode råd ved publiceringen.

## Referencer

- Buchwald, V.F. 1992: Meteoritter – nøglen til Jordens fortid, 247 pp. København: Gyldendal.
- Brüel, S. 1972: Gyldendals fremmedordbog, 677 pp. København: Gyldendal.
- French, B.M. 1998: Traces of catastrophe: a handbook shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact craters, 120 pp. Houston: Lunar and Planetary Institute.
- Garde, A.A. 2014: Maniitsoq-strukturen i Vestgrønland: De dybt nederoderede rester af Jordens ældste kendte meteoritkrater. Geologisk Tidsskrift 2014, 1–18.
- Garde, A.A., Boriani, A. & Sørensen, E.V. 2015: Crustal modelling of the Ivrea-Verbano zone in northern Italy re-examined: coseismic cataclasis versus extensional shear zones and sideways rotation. Tectonophysics 662, 291–311.
- Garde, A.A. & Klausen, M.B. in press: A centennial re-appraisal of the Vredefort pseudotachylytes (Shand 1916): shaken, not stirred by meteorite impacting. Journal of the Geological Society, London.
- Henkel, H. & Aaro, S. 2005: Geophysical investigations of the Siljan impact structure – a short review. I: I.C. Koeberl, I.C. & Henkel, H. (red.): Impact tectonics, 247–283. Berlin: Springer-Verlag.
- Kalleson, E., Jähren, T. & Dypvik, H. 2013: Excursion guide to Gardnos meteorite crater, 24 pp. Oslo: Department of Geoscience, University of Oslo.
- Karson, J.A., Brooks, C.K., Storey, M. & Pringle, M.S. 1998: Tertiary faulting and pseudotachylytes in the East Greenland volcanic rifted margin: seismogenic faulting during magmatic construction. Geology 26, 39–42.
- Koeberl, C. 2002: Mineralogical and geochemical aspects of impact craters. Mineralogical Magazine 66, 745–768.
- Lundqvist, J., Lundqvist, T., Lindström, M., Calner, M. & Sivhed, U. 2011: Sveriges geologi – från urtid till nutid, 628 pp. Lund: Förlaget Studentlitteratur.
- Machado, R., Lana, C., Stevens, G., Filho C.R.S.; Reimold W.U. & McDonald, I. 2009: Generation, mobilization and crystallization of impact-induced alkali-rich melts in granitic target rocks: evidence from the Araguinha impact structure, central Brazil. Geochimica et Cosmochimica Acta 73, 7183–7201.
- Milthers, V. 1935: Nordøstsjællands geologi. Danmarks Geologiske Undersøgelse 5. Række, nr. 3, 192 pp.
- Naterstad, J. & Kalleson, E. 2006: Gardnoskratret. I: Ramberg, I.B., Bryhni, I. & Nøttvedt, A. (red.): Landet bliver til, Norges geologi, side 145. Trondheim: Norsk Geologisk Forening.



- Reimold, W.U. & Gibson, R.L. 2005: Pseudotachylites in large impact structures. I: Koeberl, I.C. & Henkel, H. (red.): Impact tectonics, 1–53. Berlin: Springer.
- Smed, P. 1989: Sten i det danske landskab, 181 pp. København: Geografforlaget.
- Spicar, E. 2012a: Several recently discovered supposed astroblemes in Dalecarlia, Sweden, 75 pp. Version 4.3.
- Spicar, E. 2012b: Ett försök att förstå Orsa sandstenens tillkomst, 8 pp, version 1.0.
- Svedlund, J.-O. & Lundqvist, T. 2010: Fynd av bergarter bildade vid meteornedslaget i Siljansområdet. SGU-rapport 21, 28 pp. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.

#### Om forfatteren

Forfatteren har været interesseret i geologi og sten-samling siden barndommen. Uddannet lærer i fysik og kemi og har undervist i naturfag på pædagoguddannelsen. Cand. psych. og forfatter. Rejser til mange lande med besøg ved geologiske seværdigheder.