

hvile sig igen lidt højere oppe i et andet hvile-magmakammer og yderligere slanke sig lidt mere for at trænge helt op. Resultatet er, at man i et sådant område kan få dannet en række forskelligt udviklede magmaer og dermed en række forskellige, men beslægtede magmatiske bjergarter. Man kan modellere hvilke typer, der kan dannes, og monzonitter er et af dem!

Et magma vil selvfølgelig have lettere ved trænge op igennem en kontinentalskorpe, hvis der er trækspændingerne i området. Det modsatte er normalt tilfældet ved en subduktion og efterfølgende kontinentkollision. Men når to kontinenter kolliderer, går subduktionen i stå, fordi de lette kontinentmasser ikke kan presses ned i den tungere kappe, og vi får dannet et kollisionsbælte med to kontinenter stablet ovenpå hinanden, lidt som vi ser det i Himalaya i dag.

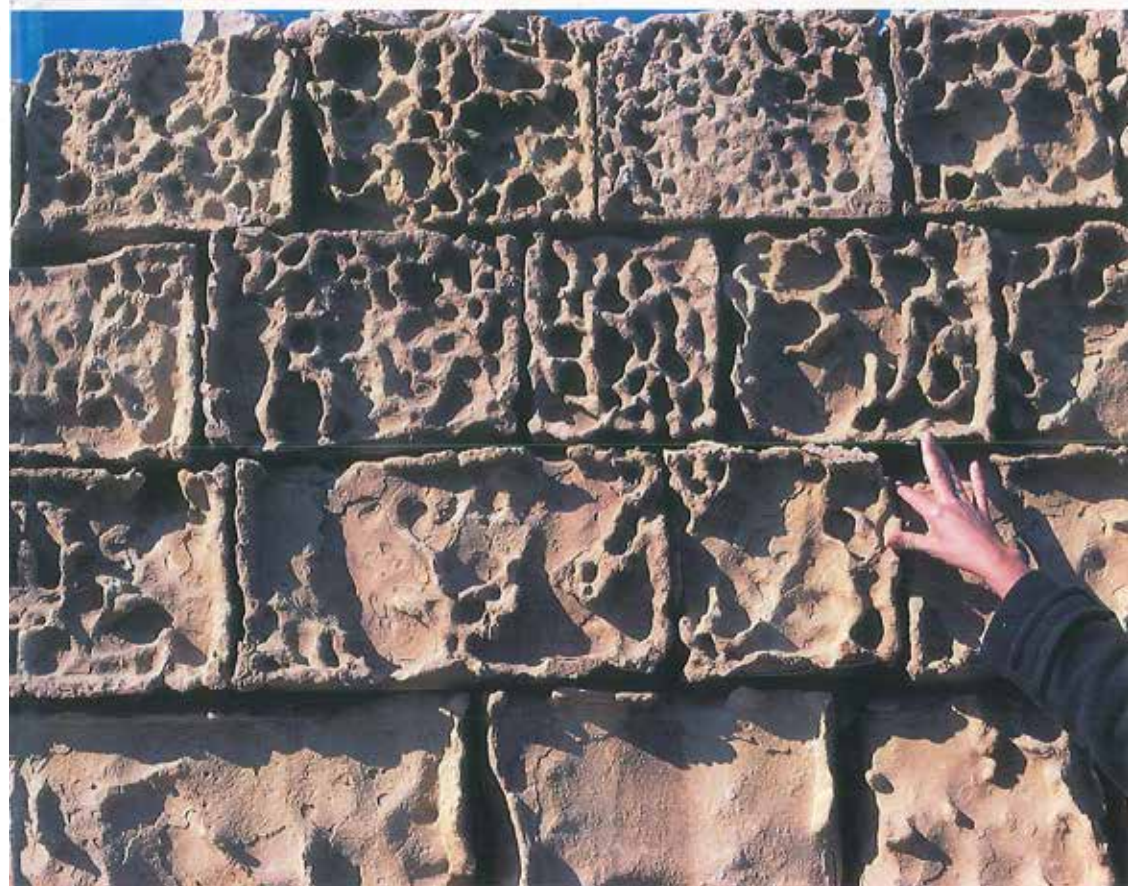
Efter kollissionen begynder bjergkæden af eroderes ned fra toppen, lige-som kontinenterne begynder at glide lidt fra hinanden igen for at få genetableret tyngdeligevægten i området. Dette betyder, at noget af den underliggende skorpe og kappe, der ved kollissionen blevet presset ned nu pludselig løftes hurtigt op mod overfladen. Bjergarterne udsættes derfor et hurtigt trykfald uden at temperaturen kan nå at følge med, og denne udvikling kan ligeledes resultere i opsmeltning af både den tidligere omdannede kappe og den nederste del af kontinentalskorpen. Resultatet er, at der efter en sådan kontinentkollision ofte er en periode med dannelse af både granittiske magmaer fra kontinentalskorpen og mere 'basaltiske' magmaer dannet ved opsmeltning af kappen. Det er dette magmadannelses-stadium, vi ser i Sydnorge, hvor de sene granitter og monzonitterne repræsenterer de to dannede smelter.

VARV

NR. 3

BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER

2003



ANTIKKE KVADRE OG SPORFOSSILER

MONZONITTER I SYDNORGE

HISTORIEN OM ET GIGANTISK FODSPOR

Forsidebillede: *Forvitrede kvadre i mur i Victoria, Gozo, Malta*. Foto: Richard Bromley og Ulla Asgaard

Forfatterens adresser: Richard Bromley, Ulla Asgaard, Jesper Milàn, Svend Pedersen og Jens Konnerup-Madsen: Geologisk Institut, Østervoldgade 10, 1350 Kbh. K.

Octavio Mateus: G.E.A.L. Museu da Lourinhã, Rua Joao Luis da Moura 3530-157 Lourinhã. Portugal

VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350 Kbh. K.
Telefon: 35 32 24 00, Geologisk Institut.
E-Mail: SvendP@Geo.Geol.KU.DK

Redaktion: Asger Berthelsen, Knud Binzer, Bjørn Buchardt, Bjørn Hageskov, Henrik Fougst, Mikkel Hede, Arne Thorshøj Nielsen, Mikael Pedersen (webmaster) og Svend Pedersen (ansvarshav.)

Bestyrelse: Asger Berthelsen, Valdemar Poulsen, Bjørn Hageskov og Svend Pedersen.

Tekstredaktør: Svend Pedersen

Lay-out og grafik: Bjørn Hageskov

Repro og tryk: Dansk Erhvervstryk A/S

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 140 kr i abonnement for 2003. Abonnement kan tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 160 SEK til VARV's svenske postgirokonto: 4388-5, eller 160 NOK til VARV's norske postgiro: 7877.08.15672.

På VARV's hjemmeside www.varv.dk er det bl.a. muligt at søge i VARV'S database, hvor referencer til alle artikler er lagt ind, ligesom der er et lille resume af artiklerne. Der er også oplysninger om priser på gamle numre, særnumre etc. som sammen med tegning af abonnement kan bestilles on-line.

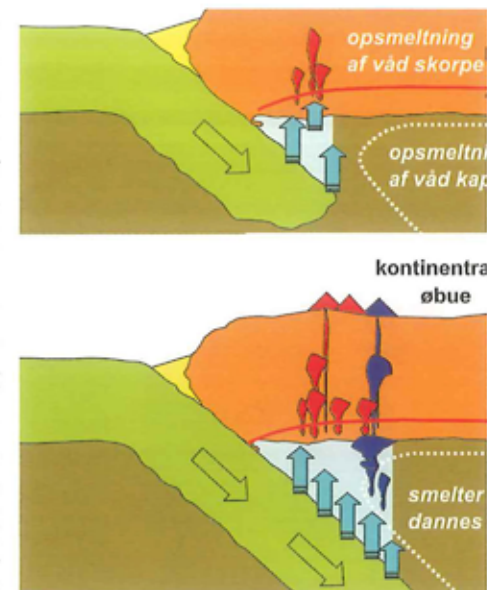
Adresseændringer bedes meddelt VARV

© VARV eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

Dette medfører, at mange af de mineraler, der er i den nedpressede ocean-skorpe og i sedimenterne, bliver ustabile og nedbrydes. I forbindelse med denne nedbrydning af mineraler sker en frigivelse af vand og en række grundstoffer, der er letopløselige i vand. Sammen danner de en kompleks opløsning, en fluid. Disse frigivne fluider simrer op i den overliggende kappe og omdanner den, og der dannes nye vandholdige mineraler.

Når man sætter vand til kappen, sænker man dens smeltetemperatur. Så på et tidspunkt efter subduktionen er startet, er der tilsat så meget vand til den overliggende kappe, at dens smeltetemperatur er sænket til et punkt, hvor opsmeltning begynder at ske. Samme processer sker i dag rundt om stillehavet, hvor vi mere direkte kan se de vulkanske processer i aktivitet og typerne af magmaer, der dannes. Og det er magmaer med en andesittisk sammensætning, dvs. smelter, der er rige på silicium og en række andre af de grundstoffer, der tilførtes kappen ved subduktionen. Dette i modsætning til basalter, der er dannet ved opsmeltning af en 'tør' kappe.

Hvor let sådan en smelte har ved at trænge op til Jordens overflade afhænger af, hvad den skal trænge igennem. Drivkraften er forskellen i massefylden af smelten i forhold til det, den skal trænge igennem. Ved subduktion under en kontinentalskorpe går det godt med at trænge op gennem den overliggende kappe, fordi den er ret tung, men når smelten når undersiden af skorpen, går den let i stå, fordi en lidt tung smelte nu skal op igennem noget meget lettere materiale. Og det er svært for selv en ivrig andesittisk smelte. For billedligt at slanke sig må smelten smide nogle af de tungere dele. Dette gør den ved at begynde at udkrystallisere tunge mineraler i et hvile-magmakammer ved bunden af kontinentalskorpen. Der udkrystalliseres mineraler som olivin, pyroksener, og måske amfiboler. Når dette har stået på lidt tid, er den resterende smelte blevet så tilpas lettere, at den kan trænge længere op mod overfladen. Den optrængende smelte har nu mistet noget af sit oprindelige (primære) udseende, fordi nogle mineraler er blevet fjernet. Afhængig af spændingerne i kontinentalskorpen kan den ændrede smelte måske trænge helt op til overfladen, men ofte må den

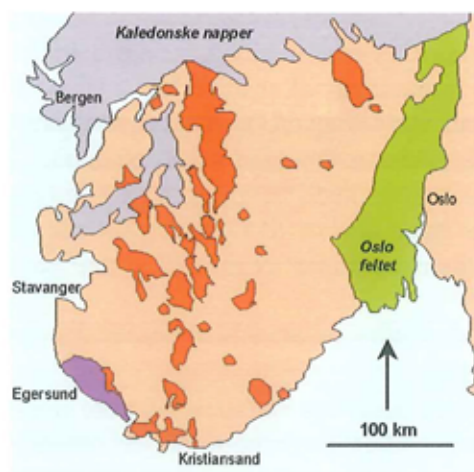


elementer) være karakteristisk for primære kappesmelter. Koncentrationerne af sporelementer i en dannet basaltsmelte vil kunne bruges til mere detaljeret at beskrive opsmeltningssprocessen i kappen.

Ser vi på magnesiumtallet for de sydnorske monzonitter, er deres værdi meget lavere end primære kappesmelters. Det kan skyldes flere ting. Enten er den primære smelte blevet ændret på vejen op fra opsmeltningssstedet, eller også er smelten dannet ved opsmeltning af en ændret kappe. Begge muligheder kan have spillet ind i Sydnorge!

Det sydnorske grundfjeldsområdes udseende i dag ved man efterhånden er resultatet af mange hundrede millioner års geologiske processer. Aldersbestemmelser på bjergarter og mineraler viser, at der måske allerede for mere end 1.500 millioner år siden var et grundfjeldsområde, der med gnejser, magmatiske bjergarter og sedimenter meget ligner det, vi kender i dag.

I de efterfølgende 400-500 millioner år blev dette grundfjeldsområde, der var under stadig nedbrydning, hjemsted for flere perioder med vulkansk aktivitet og aflejring af sedimenter. Men for godt 1.000 millioner år siden blev området involveret i en kollision med et andet kontinentområde. Hvilket andet område



ved man ikke, men muligvis var det Amazonasområdet! Og før selve kollisionen var der subduktion af oceanskorpe under området. Disse overordnede pladetektoniske processer kan især aflæses af sammensætningerne af de magmaer, der på disse tidspunkter trængte op og størknede i den gamle norske skorpe.

Det sydnorske grundfjeldsområde. De orangerøde legemer repræsenterer de yngste granitter, som intruderede for 800-900 millioner år siden og efter kollisionen.

SUBDUKTIONSDANNEDE MAGMAER

I forbindelse med en subduktion presses en oceanskorpe ned i Jordens kappe. I det sydiskandinaviske område skete dette under en kontinentalskorpe, som vist i figuren på næste side..

Ved subduktionen bliver således en i forvejen meget omdannet oceanskorpe og nogle af de sedimenter, der er aflejret på kontinentranden og i dybgraven presset ned i Jordens kappe og udsat for meget høje tryk og også højere temperaturer.

HISTORIEN BAG ET MØNSTER

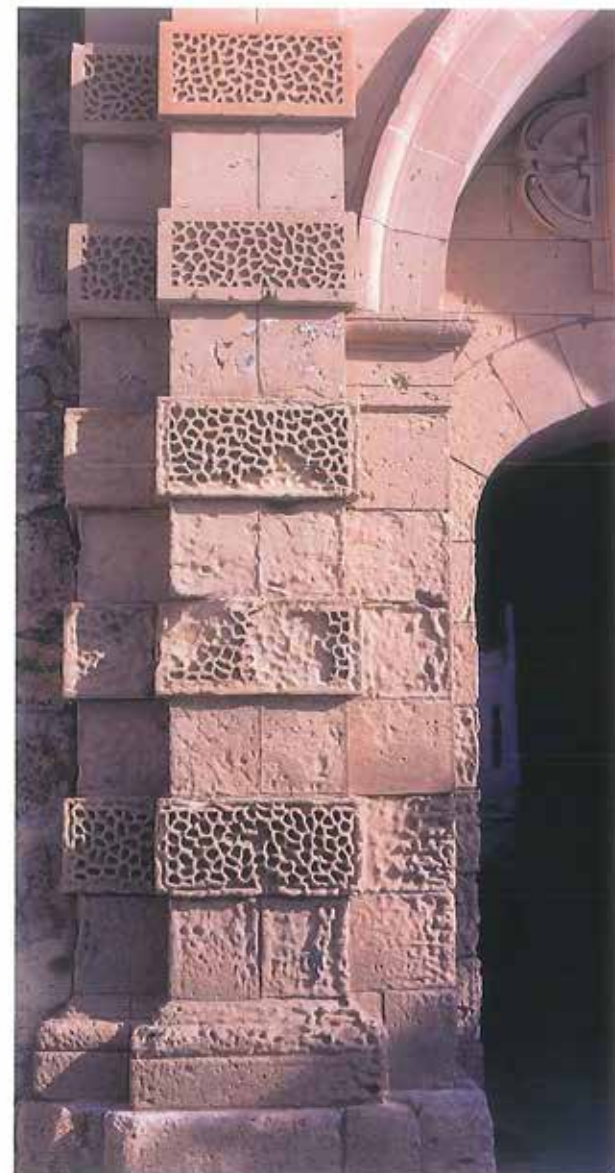
Richard Bromley og Ulla Asgaard

Jagten på søpindsvin og korsriddere på Malta (Varv 2001,3) bragte det næstsidsste stykke på plads i et puslespil, der længe havde optaget os; nemlig de karakteristiske kvadre med en solid ydre kant omkring et fletværk eller grenværk, der ses i renæssance- og især barokbygninger, hvor de indgår i vandrette borter på bygninger og i karme og pilastre omkring døre og vinduer (figur 1).

Det ses tydeligt, at den øverste del af porten på figur 1 er blevet renoveret med nye, uforvitrede blokke. De to øverste borter er moderne sjusk. Mønstrrets overflade er todimensionalt i modsætning til de oprindelige blokkes levende overflade. Læg mærke til de forvitrede blokke der aldrig har haft et mønster, men nu viser krebsdyrgravegange der ikke er synlige i friske blokke (se også figur 2).

Vi havde længe syntes, at mønstret lignede gravegange, men affærdigede det med, at vi nok havde sporfossiler på hjernen.

Figur 1. Den græske Port, M'dina, Malta. Stenene er af Globigarina kalksten fra Mellem Miocæn.



Var der noget om det? Renæssance betyder genfødsel. Det var en genopdagelse af den romerske kunst, og indenfor arkitekturen var det et kvantespring fra den romanske og gotiske stil, idet romerne havde nogle detaljer i de bærende konstruktioner, der ikke var anvendt i middelalderen. Nu blev de taget op og forbedrede. Barokken var en videreudvikling, der blandt andet gjorde mere ud af ornamentikken, der i kontrast til den senere rokoko var gentaget uendeligt og strengt symmetrisk.



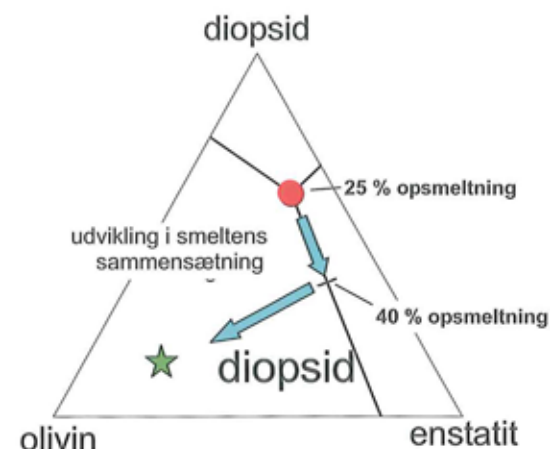
Den sidste brik i puslespillet faldt på plads to år senere, da vi så på sporfossiler i marine kalksten fra Plio-Pleistocæn i Apulien (Italiens støvlehæl). Denne vidt udbredte kalksten i middelhavsområdet blev oprindeligt anset for en stratigrafisk enhed for sig selv kaldet Calabrien efter typeområdet: Italiens støvlesnude. Denne kalksten er i frisk tilstand blød og let at hugge ud. Den er den foretrukne bygningssten til alt ikke pompøst byggeri. Man finder civile romerske bygningsværker side om side med renæssance- og barokhuse. De viser alle den samme fremforvitring af krebsdyrgravengange (figur 3).

Lad os nu gå i detaljer med det enkelte modul af det gentagne mønster – én kvader. Tag den nederste på figur 1. Der er en tydelig ramme om ornamentet. Rammen er her tydeligt fremhævet, og dens mest frembuede del er på højde med det højeste af grenmønstret. En anden, forsænket ramme ses om de uornamenterede kvadre på figur 3. En ramme er altid til stede.

Figur 2. Dorkarm i Victoria på øen Gozo, Malta. Globigarina kalksten i forskellig forvitringsgrad.

Begynder en lherzolit at smelte op, kan opsmeltningens forløb aflæses i et smeltediagram. Et smeltediagram for en bjergart, der består af olivin, diopsid og enstatit, er vist i næstående figur.

I figuren er kappens indhold af olivin, diopsid og enstatit vist med den grønne stjerne. Begynder en sådan bjergart at smelte, vil den første smeltning ske, hvor alle tre mineraler er i kontakt med hinanden. Sammensætningen af smelten er vist med den røde cirkel i figuren. Man kan beregne, at op til de første ca. 25% smelte vil have denne sammensætning. Når en så stor del af kappen er opsmeltet, vil kappen bestå af 'rød' smelte og en ikke-opsmeltet restbjergart med mineralerne olivin og enstatit.



Restbjergarten kaldes en harzburgit. Smelter man mere op, vil opsmeltningen foregå langs den lyseblå pil med opsmeltning af enstatit. Når godt 40% opsmeltning har fundet sted, vil alt enstatit være brugt op, og vi har en restbjergart, der udelukkende består af olivin. En sådan restbjergart kaldes en dunit.

Små fragmenter (xenolither) af de ikke-opsmeltede restbjergarter harzburgit og dunit fra kappen bliver nogle gange bragt med op til Jordens overflade af basaltiske smelter. Undersøgelser af disse xenolither er med til at øge vort kendskab til kappens opbygning.

KENDETEGN VED EN PRIMÆR KAPPESMELTE

Den først dannede 'røde' smelte kan også beskrives ved dens kemiske sammensætning og ved nogle kritiske forhold mellem de grundstoffer, der indgår i smelten. Det er således muligt at teste om en magmatisk bjergart, vi ser i felten kan, være en primær kappesmelte.

Et første karaktertræk ved smelten er dens magnesiumtal. Magnesiumtallet angiver smeltens forhold mellem magnesium (Mg) og jern (Fe) udtrykt som forholdet mellem MgO og MgO+FeO. En smelte dannet ved opsmeltning af kappen skal have et magnesiumtal mellem 0.66 og 0.75. Er en smeltes magnesiumtal mindre, må den være ændret ved for eksempel fjernelse af nogle tidligt udfældede magnesiumrige mineraler fra den dannede smelte.

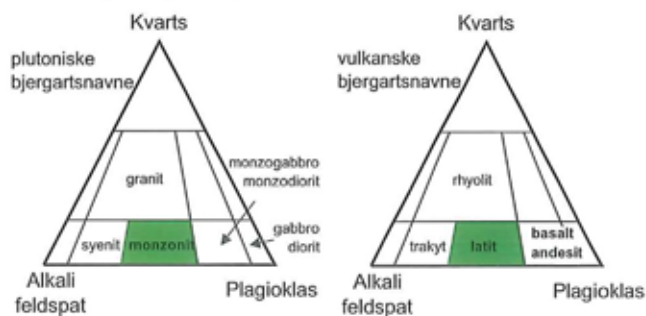
Udover magnesiumtallet vil indholdet af en række andre grundstoffer (spor-

SMELTER I KONTINENTSKORPEN

Jens Konnerup-Madsen

De fleste forbinder jo nok Tyrol i Italien med musik og hjemstedet for tyrolerbukserne. Men nogle geologer kommer også til at tænke på andre ting, nemlig bjergarten monzonit, der har fået navn efter stedet for dens første beskrivelse, Monzoni i Sydtyrol. En monzonit er en plutonisk magmabjergart med lige dele alkalifeldspat og plagioklas (se figuren nedenfor), ligesom den vulkanske magmabjergart latit (efter Latium i Italien). Bjergarten latit kaldes også traktyandesit for at angive, at den er en mellemting mellem de vulkanske bjergarter andesit og trakyt.

Men bjergarter som monzonit, latit og traktyandesit findes ikke kun i Italien. De findes faktisk alle de steder, hvor geologien og dannelsen af magmabjergarter på en eller anden måde er knyttet til opsprækning af et kontinentalt skorpeområde, måske efter en periode præget af subduktion af oceanisk skorpe under kontinentalskorpe. En sådan pladetektonisk ramme fandtes i Sydnorge for godt 1 milliard år siden!

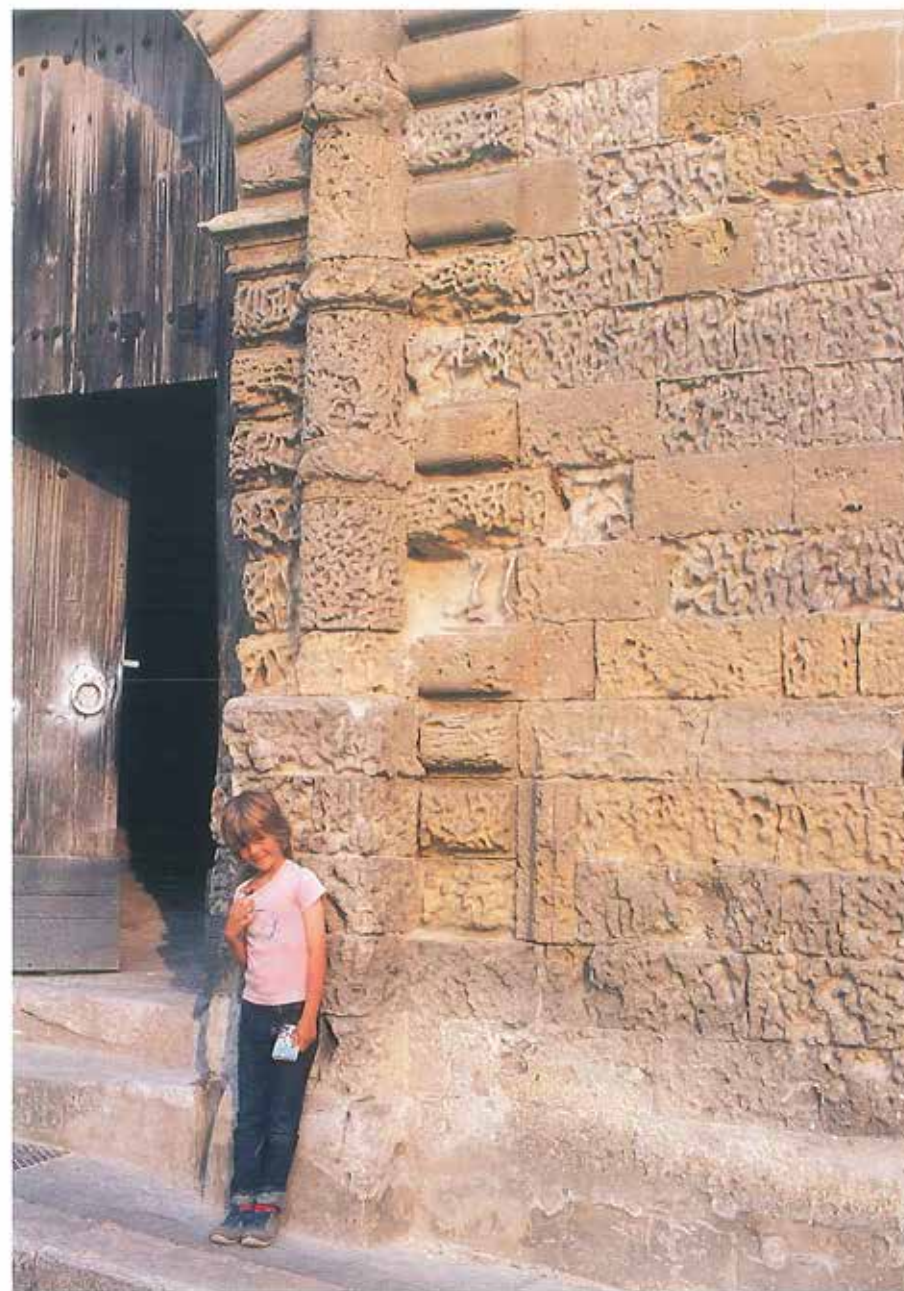


Streckeisen's klassifikationsdiagram for magmatiske bjergarter med monzonit og granit indsat.

PRIMÆRE MAGMAER

Et primært magma er en naturligt dannet bjergartssmelte, hvis kemiske sammensætning ikke er ændret efter smelten forlod stedet i Jordens kappe eller skorpe, hvor opsmeltningen fandt sted. Selve den kemiske sammensætning af en sådan dannet smelte afhænger af trykket og temperaturen for opsmeltningen, af sammensætningen af den bjergart der smelter op, og endeligt af, hvor stor en del af bjergarten, der smelter.

Primære magmaer dannet i Jordens kappe skabes ved opsmeltning af den bjergart, der kendetegner kappen, nemlig bjergarten lherzolit. Lherzolit er betegnelsen for en bjergart med mineralerne olivin og pyroksenerne enstatit og diopsid. Derudover kan en lherzolit indeholde mineralerne plagioklas, spinel eller granat afhængig af dybden i kappen.



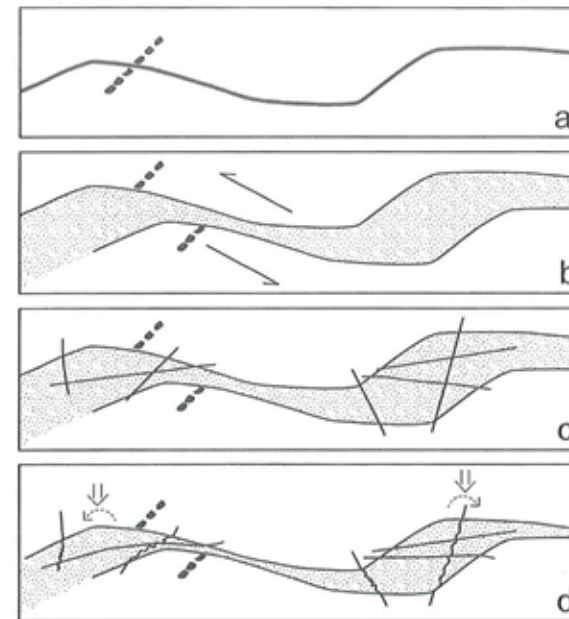
Figur 3. Oprindeligt glat dørparti og mur i Matera. Det er en by i Apulien, hvor mange af boligerne er huler direkte hugget ud i kalk-stenen. Filmen 'Kristus standsede ved Eboli', som nogle måske husker, blev optaget her.



Figur 4. Forvitret mur i Victoria, Gozo, Malta.



Figur 5. Mur i voldgraven nær Sankt Paul Porten, Rhodes.



De komplicerede strukturer kan forklares på følgende måde (figur 18): Den monzonittiske smelte er trængt ind i en uregelmæssig sprække, der har åbnet sig med en sideværts bevægelse. Dette giver det uregelmæssige forløb, der ses på lokaliteten.

Dernæst skæres gangen af lyse granittiske årer og synker derefter lodret ned. Dette giver ptygmatiske folder i granittiske årer, der er lodrette og boudiner i årer, som er vandrette.

Figur 18. Tolkning af den geologiske udvikling, der førte til dannelsen af strukturerne i gangen i vejprofilet på forrige side..

Sammenfattes de observationer på monzonitgange, der er beskrevet i denne artikel, er der en række gennemgående træk:

De monzonitiske smelter er intruderet i en varm sidesten. Dette giver sig udtryk ved gangformede legemer ofte af en begrænset længde og med uregelmæssige kontakter.

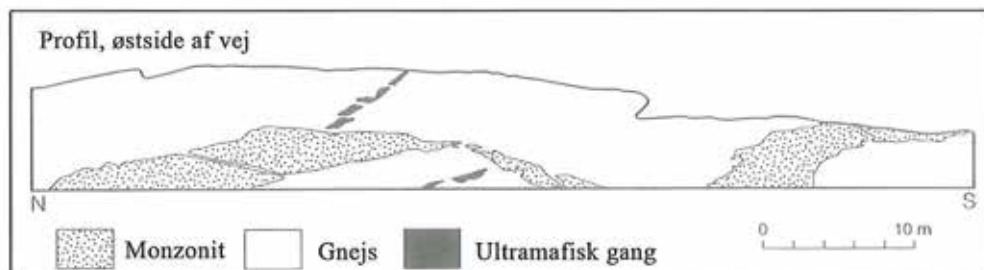
De iøjnefaldende strukturer oftest i form af ptygmatiske folder, som ses i næste alle gange, skyldes at stive blokke af sidesten har bevæget sig langs de bløde gange efter dannelsen af mange af de lyse årer.

Tilstedeværelsen af gangbjergarter i varierende mængde udenfor de magmatiske legemer viser efter alt at dømme, at der i dybet er andre tilsvarende legemer.

Endelig - så er subvulkanske strukturer som beskrevet her ikke så almindelige i det skandinaviske Prækambrium.

Man finder gangene næsten overalt, og får man øjnene op for, at disse grå, småplettede bjergarter med et lidt kedeligt udseende kan indeholde mange spændende strukturer og relationer, tror jeg på, at læseren af denne artikel vil finde ud at han/hun er i godt selskab med de monzonittiske bjergarter i Setesdalen.

Varv udgav i øvrigt for nogle år siden en guide for Setesdal.



Figur 16. Østsiden i en 35 år gammel vejskæring. Sammenlign med figur 11.

da den varme monzonittiske smelte trængte ind i gnejsen. Monzonitten udgjorde ganske vist ikke noget stort legeme, men smelten har tilsyneladende kunnet yde et tilstrækkeligt varmetilskud til opsmeltning.



Den næste lokalitet er en mere end 35 år gammel vejskæring i en grå gnejs (figur 11 og 16). I gnejsen ses en uregelmæssig ultramafisk gang, der skæres og forsættes af en grå monzonittisk gang. I den monzonittiske gang ses mange eksempler på ptygmatiske folder og nogle enkle eksempler på boudinage. Iøjnefaldende er det forhold at gangene skærer retlinede - tilsyneladende ude-formerede - pegmatittiske og aplittiske årer i gnejsen, mens andre der skærer monzonitten er ude-formerede i gnejsen og deformerede i monzonitten. Udløbere af monzonit er tilsyneladende også upåvirkede (figur 17).

Figur 17. Detaljer fra monzonitgang. Samme lokalitet som figur 16

På figur 4 ses en naturligt forvitret mur i Miocæn *Globigerina* kalksten. Grenmønstret er fremforvitrede krebsdyrgravegange.

På figur 5 er vi tilbage med korsriddere og søpindsvin på Rhodos (Varv 1996,2) i kalksten, der tidligere blev anset for 'Calabrien'. Her udgøres mønstret af søpindsvingravegange og skrålejrning i sedimentet (den midterste kvader). Læg mærke til rammen om hver eneste kvader i de to figurer!

Hvis en porøs, fugtig kalksten bliver hugget eller savet ud til bygningssten, foregår der en naturlig overfladehærdning af stenen, når den ligger udsat for regn og luft i stenbruddet, på byggepladsen – og senere i den frie flade i muren. Porerummene i de yderste centimeter bliver fyldt op med kalcit krystaller. Langt før har slim og stofskifteprodukter fra de gravende dyr styret en lignende proces i og omkring gravegangene. Resultatet af forvitring gennem hundreder af år giver kvadre med et grenmønster og en ramme omkring.

Så mønstret var måske ikke en nyskabning indenfor arkitekturen. Renæssance- og barokarkitekterne havde tusindvis af kilometer af bygninger og akvadukter i det store romerske imperium at se på. De kopierede et gentaget ornament, som de troede var menneskeskabt.

Mønstret bruges stadig. Det har gennem det sidste århundrede ligesom mistet sit liv. Et grelt eksempel kan ses på figur 6!



Figur 6. Et bud på mønstret fra det tyvende århundredes København.

Fra strandbred til museum på syv dage

-HISTORIEN OM ET GIGANTISK DINOSAUR FODSPOR

Jesper Milàn og Octavio Mateus

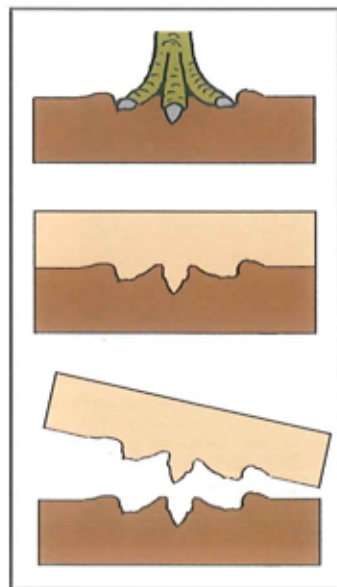
Den Øvre Jurassiske Lourinhã Formationen (150 millioner år) ved Portugals vestkyst er en af Europas rigeste dinosaurlokaliteter, og de seneste år er der blevet udgravet skeletter fra mange forskellige dinosaurer, lige fra gigantiske sauropoder til små og store rovdinosaurer. Mest interessant er nok fundet af reder med æg og fostre fra en mellemstor rovdinosaur. Lourinhã Formationen består af tykke røde og grønne lerlag, der udover dinosaurskeletterne indeholder talrige fossiler af planter, skildpadder og krokodiller, hvilket vidner om et frodigt flodslettemiljø. Lerlagene afbrydes af periodiske tykke sandstenslag dannet i perioder med øget nedbør, hvor floderne er gået over deres bredder og har oversvømmet flodsletten.

De periodiske oversvømmelser af flodsletten, hvor der er aflejret sand ovenpå ler, har skabt ideelle betingelser til at få bevaret fodspor fra de dyr, der levede der. For at et spor kan blive bevaret og genfindes fossilt, skal det helst afsættes i sediment af én type og udfyldes med sediment af en anden type. Derved dannes der en lithologisk grænse, langs den overflade sporet er afsat i. Når

sedimenterne er hærdnet vil det oftest være muligt at splitte dem langs denne grænse, hvorved sporet kan findes både som det oprindelige fodaftryk og som en udfyldning af fodsporet i det overliggende sediment (figur 1).

Der findes fem hovedgrupper af dinosaurer hvis spor med rimelig sikkerhed kan skelnes fra hinanden (figur 2). Theropoderne eller rovdinosaurerne er for det meste tretåede med lange slanke tæer med skarpe kløer. Theropoderne havde en lille fjerde tå, men den

Figur 1. En dinosaur træder i et blødt lerlag, hvorved der bliver dannet et fodspor. Sporet bliver derefter dækket af et sediment af en anden type, således at overfladen med sporet danner en lithologisk grænse. Når sedimentet efter millioner af år genfindes, kan det spaltes langs den lithologiske grænse, og sporet kan findes både som det rigtige spor og som en udfyldning



Det drejer sig om en klokkeintrusion, som er næsten vandret og gennemsat af en mængde foldede granittiske årer.

Strukturerne kan her forklares - ligesom på den første lokalitet - som et resultat af, at sidestensblokkene på hver side af gangen har bevæget sig i forhold til hinanden. Her har den øverste blok flyttet sig mod NNV.

Gange uden synlig tilknytning til de magmatiske legemer

Langs hovedvejen gennem Setesdalen ses mange forskellige gangtyper og interessante relationer til sidestenen. Her skal nævnes to eksempler:

Den første lokalitet er en lang vejskæring i en rød mellem-grovkornet granittisk gnejs. Her ses to tætliggende forekomster af monzonittisk materiale: Den sydligste forekomst udgøres af uregelmæssige partier i den røde gnejs, mens den nordligste er en ca. 4 meter bred regulær gang.

Den sydligste udviser veldefinerede kontakter mellem monzonit og gnejs på trods af det uregelmæssige forløb, hvilket betyder, at den monzonittiske smelte er trængt ind i en varm sidesten, der har været så plastisk, at den har afsnøret smeltepartier. At sidestenen har været varm ses også ved kontakten til den nordlige monzonit. Her optræder den grå monzonittiske gang med grå tungeformede legemer ud i sidestenen, som til gengæld sender tunger den modsatte vej.

Sidestenen er nu ikke længere gnejs, men granit. Gnejsen ses ca. 8-10 centimeter fra gangkontakten (figur 15). Det fænomen der illustreret ved denne kontakt er begrebet 'back veining'. Back veining dannes, når en smelte opsmelter den sidebjergart, den trænger ind i.

Dette resulterer i to samtidige smelter, som ikke nødvendigvis blandes. Den ene trænger ind i den anden og omvendt. På figuren ses fra venstre gnejs, opsmeltet gnejs i form af granit og monzonit. Gnejsen har været meget tæt på smeltepunktet og er smeltet op,



Figur 15. Kontakt mellem den nordligste monzonit og gnejsen. Der ses tydeligt 'back veining'.



Figur 14. Et ældre billede af lokaliteten fra det ydre cone sheet system. I dag er der ikke så meget sand på lokaliteten. Helt yderst i øverste højre hjørne ses sidestenen (en amfibolit). Den skæres af en pegmatit, som ses boudineret i gangen. Bemærk de store mængder granitisk materiale i gangen.

NØ-SV- lig orientering og hælder mod nordvest. Sidestensblokken, der ligger over gangen, har bevæget sig mod ØNØ i en bevægelse der både er sideværts og opadrettet.

I det indre keglegangsystem optræder en serie af gange, der skærer såvel en homogen monzonit som en svagt porfyrisk udviklet granit. Gangene er for fleres vedkommende ganske tynde, og der ses ikke på lokaliteten noget finkornet granitisk materiale af den type, der sås i gangen i det første eksempel. Systemet af keglegange er et andet end det, der er beskrevet fra den første lokalitet - det ligger nærmere intrusionens centrum. To fænomener er af interesse her: dels relationerne til den mellem-grovkornede granit og dels strukturerne i keglegangene versus strukturerne i den monzonit, de skærer.

Relationerne til den ældre granit er komplicerede og et resultat af, at monzonitten er trængt ind i en varm sidesten. Relationerne til den monzonit, der udgør sidestenen viser en strukturløs bjergart (sidestenen) og bjergarter med en kraftigt udviklet struktur.

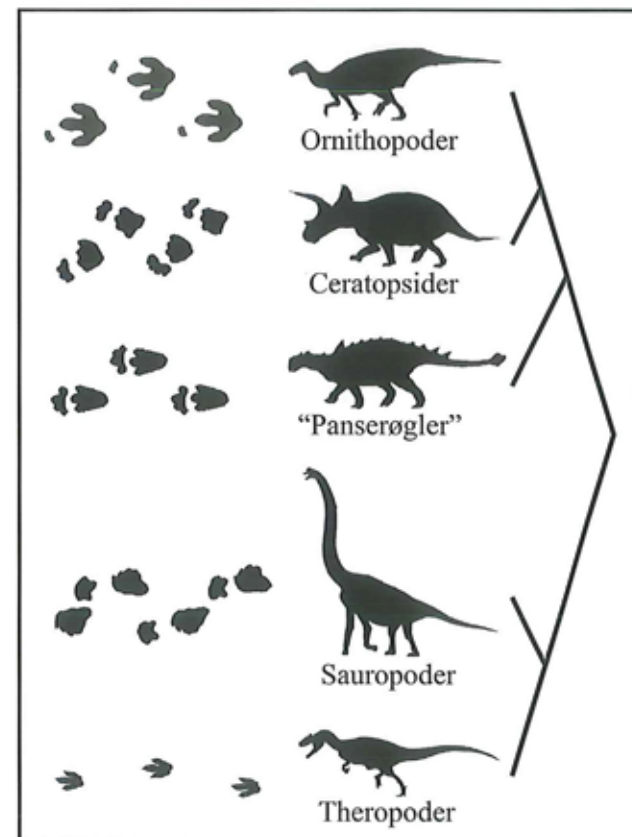
I det magmatiske legeme er det også muligt at studere en anden type gang.

sad i en løftet position oppe på mellemfoden og var ikke i kontakt med jorden under normal gang. I specielle tilfælde, som f.eks. hvis dinosauren trådte i dybt mudder, er der bevaret aftryk af den lille tå. Den midterste tå i theropodspor stikker betydeligt længere frem end de to ydre tæer, og generelt er sporet længere, end det er bredt. Hvor hele sporserier er bevaret, ses det at rovdinosaurerne satte deres fødder i en meget smal sporserie med den ene fod næsten lige foran den anden. Spor fra theropoder kendes i størrelser fra 4-5 centimeters længde for de mindste former og op til 86 centimeter for spor der formodentligt er fra en *Tyrannosaurus*.

Sauropoderne var enorme skabninger, der gik på alle fire. Deres bagfod havde et asymmetrisk trekantet til ovalt omrids, med spor efter korte tykke tæer med stumpe kløer. Forfoden derimod havde et hovformet omrids uden separate fingre. Kun den inderste finger bar hos nogle former en indadvendt klo, der i nogle tilfælde har efterladt aftryk. Forfoden hos sauropoderne er betydeligt mindre end bagfoden, i nogle tilfælde udgør forfodens areal helt ned til en femtedel af bagfodens. Da sauropoderne som nævnt var enorme, er det ikke usædvanligt at finde spor fra bagfødderne på over en meters længde.

De pansrede øgler, Thyreophora, der omfatter stegosaurer og ankylosaurer, er den gruppe, hvis spor er dårligst kendt. Generelt består sporene af en aflang bred symmetrisk bagfod med tre til fire tæer og en halvmåneformet forfod med svage aftryk af korte fingre. Forfoden er placeret næsten direkte foran aftrykket fra bagfoden.

Ceratopsiderne eller næsehornsøglerne, hvor *Triceratops* er den mest kendte, har korte brede bagfødder med fire korte tæer med stumpe



Figur 2. Sporene fra de fem hoved-grupper af dinosaurer har hver deres karakteristiske form og mønster.

kløer. Forfoden er ligesom hos de pansrede øgler halvmåneformet med svage aftryk af fingre. Forfodens aftryk er placeret yderligt i forhold til bagfodens.

Den sidste gruppe er Ornithopoderne, hvor *Iguanodon* og hadrosaurerne med deres mærkelige hovedprydelser er de mest kendte. Ornithopodernes spor er ligesom theropodernes tretåede, men hvor theropodernes tæer var lange og slanke med skarpe kløer, har ornithopoderne korte brede tæer med afrundede korte kløer. Sporserier fra ornithopoder viser, at de satte deres ben i en bredere sporserie end theropoderne. I nogle ornithopodsporserier er der yderligere fundet aftryk fra en lille hovlignende forfod eller hånd, der viser at de i nogle tilfælde gik på alle fire. Ornithopodspor kendes fra slutningen af Kridttiden i størrelser fra 10 centimeters længde til op omkring en meter. De helt små ornithopodspor kan være meget svære at kende fra theropodspor da de små former havde relativt lange og slanke tæer. Ornithopodspor er generelt bredere end de er lange.

Indenfor de seneste år er der blevet fundet adskillige dinosaurspor i Lourinhã Formationen. Hyppigst er sporene fra små til mellemstore theropoder og ornithopoder, men der er også fundet enkelte stegosaur- og sauropodspor.

Under feltarbejde i sommeren 2003 blev der på en af de populære badestrande fundet et gigantisk fodspor fra en ornithopod-dinosaur (figur 3). Sporet måler ca. 70 centimeter i længden, hvilket betyder at sporsætteren har haft en anslået hofteøjde på tre til fire meter, hvilket virkeligt er i den store ende for jurassiske ornithopoder. Der er ikke fundet skeletrester fra ornithopoder i Portugal, der bare kommer nær denne størrelse.

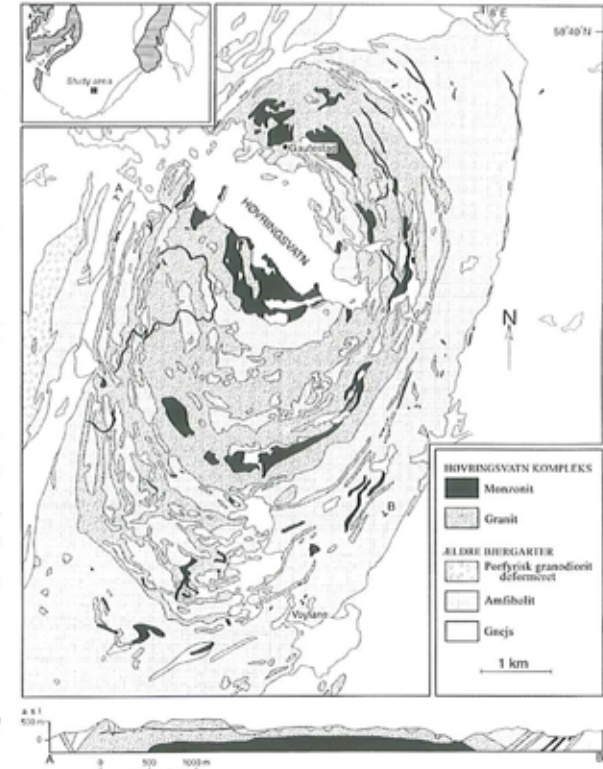
Figur 3. Det gigantiske ornithopodspor, som det blev fundet i vandkanten på badestranden.



findes et utal af mindre legemer dannet ved at især monzonittiske smelte har kunnet trænge ind alle steder, hvor der var en svaghedszone.

I det følgende er tre lokaliteter beskrevet. Den første er en lokalitet med keglegange fra det yderste system, den anden en lokalitet fra det inderste system og endelig en lokalitet med en klokkeintrusion.

Det generelle mønster omkring den geologiske udvikling i gangbjergarterne er følgende: Smelterne trængte op i en varm og til dels plastisk jordskorpe. På et senere tidspunkt hvor skorpen var koldere og mere sprød, dannedes der granitiske og pegmatittiske gange i området. Disse gange skærer monzonitterne og de tilknyttede finkornede granitter, da de er yngre. Ved en sådan skæring vil man se de yngre gange deformeret i monzonitten, men ikke i sidestenen.



Figur 13. Geologisk kort over det sydligste magmatiske legeme.

GANGE KNYTTET TIL DE MAGMATISKE LEGEMER

På den første lokalitet ses en række monzonitgange, der tilhører det ydre keglegangsystem (figur 14). Gangene her er intruderet i en amfibolit, er få meter brede og kan normalt kun følges over korte afstande, maksimalt 100 meter. Gangene er mere glimmerrige end de fleste andre monzonitgange og med flade glimmeraggregater på op til 1 centimeters længde. De er yderligere karakteriseret ved at have et forholdsvist stort indhold af finkornet granittisk materiale. Det finkornede materiale er knyttet intimt til gangene. Udover finkornet granittisk materiale ses også pegmatittisk materiale i gangene. Dette kommer udefra, er materiale der har skåret gangene før den sidste deformation fandt sted, idet de alle er deformeret. Denne deformation ses dog kun i gangen, i sidestenen er der ingen påvirkning. Deformationen af bjergarterne skyldes bevægelser i den sidesten gangene er intruderet i. Gangene har overordnet en



Figur 12. Tynd gang af monzonit i granit. Man ser en lille forsætning langs gangen. Bemærk de tynde årer, de viser forsætningen.

DE MAGMATISKE LEGEMER

Af de 5 legemer, der indtil nu er påvist i Setesdalen, er det sydligste studeret i størst detalje. Intrusionen er bygget op omkring to typer mellemkornede homogene monzonittiske bjergarter - en mørk og en lys type - og en granit, der varierer i kornstørrelse fra grovkornet til fin-mellemkornet. Kortbilledet (figur 13) viser et elliptisk legeme med en central del med monzonittiske og granittiske bjergarter samt et stort sammenhængende legeme af den metamorfe bjergart amfibolit. Dette er en ældre bjergart, som enten er sunket ned i smelterne, da de nåede til den nuværende position i jordskorpen, eller også repræsenterer den en del af taget over smelten, som i øvrigt så ikke har flyttet sig meget. Den nuværende topografi skærer rimeligvis toppen af legemet, således at kortbilledet viser et snit meget tæt på taget af intrusionen. I den marginale del af intrusionen eller lige udenfor finder man gange af granit og monzonit der er udviklet som keglelange og klokkeintrusioner (figur 2). Monzonitterne ligger i tre systemer, mens granitterne kun ses i de to yderste. Udover de tre hovedsystemer af monzonittiske keglelange, undertiden med granittiske gange i de samme systemer,

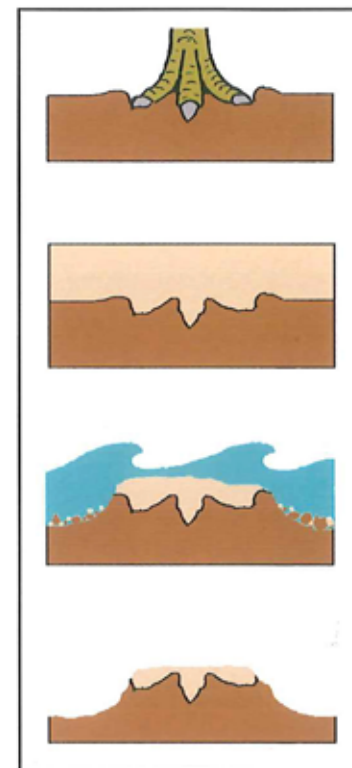
Der er tidligere gjort mange vigtige fund af dinosaurknogler på den pågældende strand, og ansatte fra Museu da Lourinhã patruljerer stranden periodisk for nye fund. Det kraftige tidevand og de store bølger fra Atlanterhavet gør imidlertid at sandet lejlighedsvis vaskes væk fra dele af stranden, hvorved de massive sandstens- og leraflejringer fra Juratiden blottes på tidevandsfladen. Derfor er et så stort og velbevaret spor ikke tidligere blevet opdaget - trods de regelmæssige undersøgelser af stranden.

Bevaringen af sporet er i sig selv lidt usædvanlig, idet det hverken er bevaret som aftryk eller udfyldning, som er den mest normale måde fossile fodspor findes på. I dette tilfælde står sporet bevaret som en piedestal hævet op fra lerlaget. Denne usædvanlige bevaringsform er opstået som en kombination af flere forskellige forhold (figur 4).

Da ornithopoden afsatte sporet var det i et fugtigt lerlag, der tillod foden at synke et stykke ned i sedimentet. Dernæst blev flodsletten overskyttet, hvorved der blev aflejret et lag sand, der udfyldte sporet. Da laget, hvori sporet blev afsat, i dag er blottet indenfor tidevandszonen, bliver det dagligt udsat for kraftig erosion fra havet. Sandstenslaget der ligger ovenpå lerlaget med sporet er helt borteroderet, men selve sandstensudfyldningen af sporet er blevet tilbage. Sandstensudfyldningen af sporet beskytter derved det underliggende lerlag mod erosion fra havet, mens lerlaget omkring sporet er blevet eroderet ned til et niveau under den lagflade, hvori sporet oprindeligt blev afsat. Derved fremstår sporet i dag som en sandstensudfyldning på en piedestal af ler.

I et aktivt tidevandsmiljø med konstant påvirkning fra Atlanterhavets bølger, var det selvfølgelig kun et spørgsmål om tid før sporet ville blive eroderet helt væk, så vi besluttede derfor øjeblikkeligt at sporet skulle indsamles og indgå i museets udstilling.

Figur 4. Den usædvanlige bevaringsform er fremkommet ved, at sporet, efter det blev afsat på den lerede flodslette, blev udfyldt med sand. Da havet i dag eroderer i lagene omkring sporet, beskytter sandstensudfyldningen de underliggende lerlag mod erosion. Sporet kommer derfor i dag til at fremstå som en sandstensudfyldning på en piedestal af ler.





Figur 5. Den ene af artiklens forfattere (OM) i fuld gang med at hakke sporet frit.



Ved næste periode med ebbe stod vi derfor klar bevæbnet med hamre og mejsler for at hugge sporet frit. Sporets bevaring (på en piedestal af ukonsolideret ler) gjorde selve udgravningsarbejdet meget let. Der skulle ikke graves særlig dybt ned, før vi kunne komme til at grave under sporet (figur 5). Da udgravningen foregik omkring middagstid på en dejlig varm dag, var der mange lokale badegæster på stranden, og det varede ikke længe før gravearbejdet var overtaget af ivrige strandgæster, og vi kunne trække os afslappet tilbage til rollen som udgravningsledere.

Under udgravningen brækkede blokken med sporet i tre store stykker, men da det var pæne lige brud betød det ikke noget, da det ikke ville kunne ses, når sporet blev limet sammen igen. Desuden var blokken med sporet alt for stor til at blive transporteret væk fra stranden med håndkraft, hvis den havde været i et stykke. Selv i tre stykker var det stadig en særdeles hård opgave at få transporteret sporet over 100 meter sandstrand og op ad en stejl trappe. Ved at lægge stykkerne enkeltvis i et net, og lade fire mand bære det, lykkedes det efter noget besvær at få stykkerne op til en bil og kørt hjem til museets laboratorium.

Figur 6. Sporet blev monteret i en kasse og indstøbt i gips for at stabilisere det. Det borthakkede materiale blev genskabt ved at opblende det øverste gipslag med knust ler.



Figur 10. Kraftigt deformet gangbjergart med en monzonittisk komponent (grå) og en granittisk komponent (meget lys grå til svagt rødlig). Foto: D.L. Rasmussen.



Figur 11. Gang, der udelukkende har en monzonittisk komponent. Det granittiske materiale, der ses i gangen kommer udefra. Midt i billedet anes en sort ultramafisk gang, (se tekst)

Gange uden tegn på deformation eller med svag deformation: Gange eller i dette tilfælde mere korrekt mindre legemer uden tegn på deformation eller med svag deformation er tit udviklet som en kombination af granit og monzonit. Her skal nævnes et eksempel fra det sydligste af de magmatiske legemer (figur 9), hvor man ser et lille legeme med en usystematisk blanding af en lysegrå bjergart (monzonit) og lys rødlig bjergart (granit). Den struktur man ser er resultat af en intrusion af to samtidige, men ublandbare smelter. En velkendt analogi har man i de forsøg, man gør, når man forsøger at blande olie og eddike ved fremstillingen af en salatdressing.



Figur 9. Mindre legeme der er opbygget af monzonit og granit. Sidestenen er mellem-grovkornet granit.

Monzonit/granit gange med deformationsstrukturer: Gange, hvor man ser granit og monzonit udtalt deformerede, er almindelige og ses eksempelvis i den sydøstlige del af det sydlige magmatiske legeme og flere steder langs vejene i Setesdal (figur 10). Da monzonitterne indeholder flere mørke mineraler ses deformationsstrukturerne (foliation/lineation) tydeligst i disse, hvorimod det granit-tiske materiale er foldet og boudineret (strækningsstrukturer, se VARV 1987, 1).

Gange uden den finkornede granit er hyppigt forekommende. Er der en sådan komponent, er det granittiske materiale yngre end monzonitten. Et eksempel kunne være den smukke gang på figur 11, som vil blive behandlet senere. Ofte er gangene udviklet med en foliation, der danner en skæv vinkel med kontakten, hvilket er et tegn på bevægelser parallelt med gangkontakten, efter gangen er dannet (figur 12).



Figur 7. Mindre end en uge efter fundet indtager sporet en prominent plads i dinosaurudstillingen på Museu da Lourinhã.

På laboratoriet blev de tre dele af sporet omhyggeligt limet sammen igen med epoxylim, og limningerne blev skjult ved at gnide lerstøv på overfladen af limen, før den hærtnede. For at stabilisere blokken med sporet og forberede det til udstillingsbrug, blev der konstrueret en solid træramme omkring det (figur 6). De dele af lerfladen, der blev hugget væk under udgravningen, blev genskabt i gips op til det oprindelige niveau, sporet blev fundet ved. For at genskabe omgivelserne, som de så ud, da sporet blev fundet ved stranden, blev der i det øverste lag gips iblandet knust ler. Dette genskabte udseendet fra den autentiske overflade.

Mens sporet var blottet i tidevandszonen, var det blevet koloniseret af en gruppe albueskæl og nogle grønalg. Vi besluttede, at disse skulle blive siddende (medmindre de pludselig gav ophav til lugtgener), så sporet fremstod, som var det taget direkte op fra stranden.

Selve transporten fra laboratoriet til udstillingslokalet skulle vise sig at blive lidt af en udfordring, da kassen med sporet - nu indstøbt i gips - vejede mellem 150 og 200 kilo. Transportvejen gik et stykke ned ad gaden og ind gennem museets hovedindgang for at sporet kunne komme på plads i udstillingen. Men ved hjælp af fire mænd og en gammel trillebør, der næsten selv burde have

indgået i udstillingen, blev sporet kørt hen til hoveddøren, hvor det blev rejst på højkant og rullet på plads på plastikruller. Sporet indtager nu en prominent plads i dinosaurudstillingen på Museu da Lourinhã sammen med alle de andre fantastiske fund fra området (figur 7).

At sporet, mindre end en uge efter det blev fundet, befandt sig i monteret stand på en prominent plads i museet, er nok en effektivitet meget få geologiske museer i verden kan prale med.

VARV ønsker sine læsere en God Jul og et Godt Nytår

Abonnementsprisen for 2004 er uændret
140kr

dog 160 Skr og Nkr for vores svenske og norske abonnenter

De forventede udgivelsesdatoer i 2004 er
1/5, 1/8, 1/10 og 1/12



Figur 7. Uregelmæssig kontakt mellem monzonittisk gangbjergart og grovkornet granit.



Figur 8. Hybridlignende bjergart dannet på grænsen mellem en grov granit og en gangformet monzonit.



SÅDAN FOREKOMMER GANGENE

Gangene har alle monzonit som et dominerende element. De kan så indeholde granit i vekslende mængder. De fleste er udtalt deformerede, men ganske få har ikke umiddelbare tegn på deformation. Hyppigt bliver man opmærksom på gangene ved enten at se et mindre, ofte kraftigt folieret/linieret legeme, som er intruderet i små svaghedszoner (figur 5) eller en finkornet grå bjergart med ptygmatiske folder (VARV 1987,1 og figur 6). Kontakterne til sidestenen kan være uregelmæssige (figur 7), og undertiden kan der være udviklet hybridlignende bjergarter (figur 8). Hybridlignende vil her sige, at der på grænsen mellem visse monzonittiske gangtyper og de grovkornede granitter udvikles bjergarter, der er finkornede og lysegrå som monzonitterne, men som indeholder mere eller mindre opløste mineraler, som stammer fra granitten.

Figur 5. Mindre uregelmæssigt legeme af monzonit intruderet i en svaghedszone.

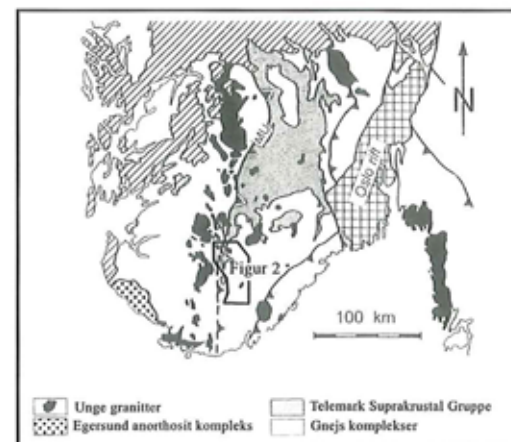


Figur 6. Uregelmæssigt legeme af en lys grå monzonit med ptygmatiske folder.

SENPRÆKAMBRISKE SUBVULKANSKE GANGSYSTEMER I SYDNORGE

Svend Pedersen

Under den geologiske kortlægning af Sydnorge i den sidste del af 1960'erne og begyndelsen af 70'erne blev der nord for Kristiansand i den sydlige del af den store nord-sydgående Setesdal observeret nogle senprækambriske bjergartstyper, der ikke tidligere havde været beskrevet. Det drejede sig om nogle mindre magmatiske legemer på 25-30 km², der består af to bjergartstyper, en granittisk type og en monzonittisk type med ledsagende gangsystemer (figur 2).



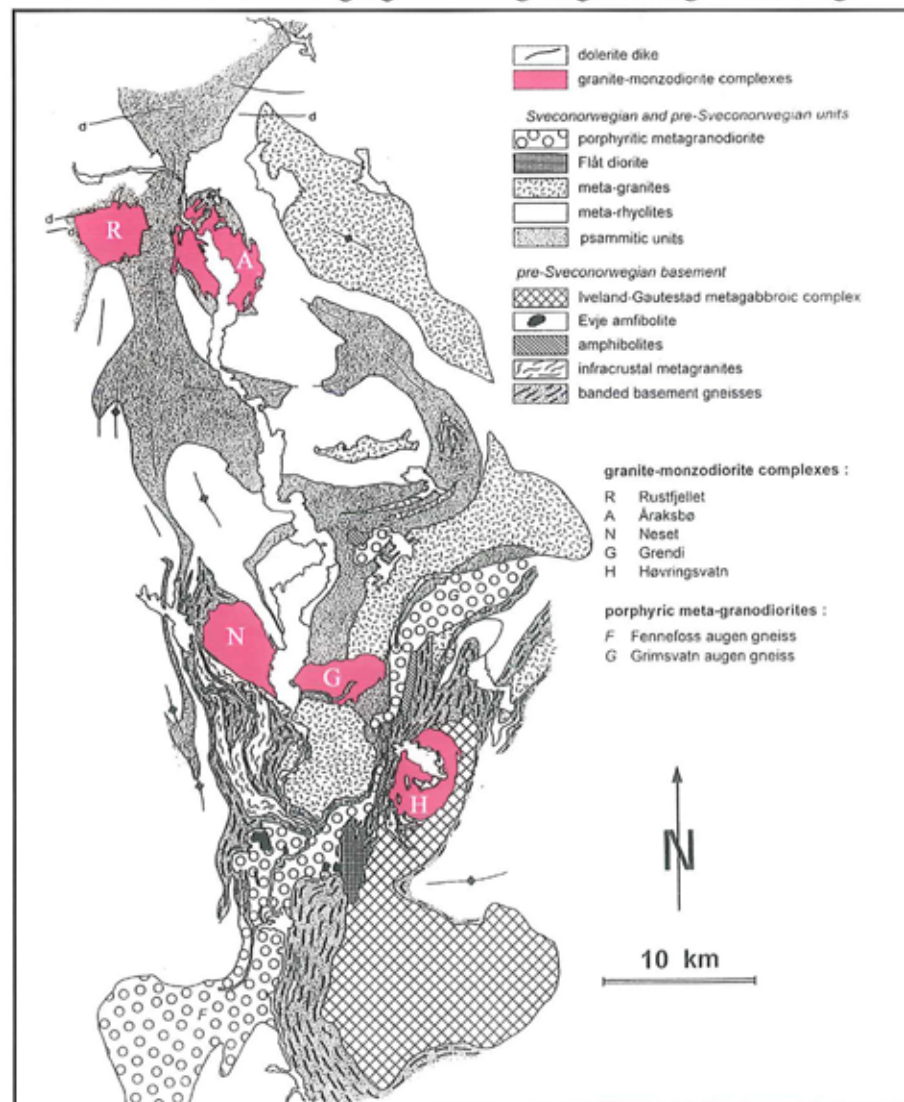
Figur 1. Skitsekort over det sydnorske grundfjeld med placeringen (figur 2) af Setesdalsområdet.

Monzonitter er bjergarter med mindre end 20% kvarts (totalt af de lyse mineraler) og nogenlunde lige store mængder af plagioklas og alkalifeldspat (om klassifikation af magmatiske bjergarter se VARV 2002,4 og artikel på side 28). Bjergarterne er dannet sent under den yngste prækambriske bjergkædedannelse i Skandinavien - den sveconorvegiske, der er omkring 1 milliard år gammel.

Det der gjorde bjergarterne spændende ved et første øjekast, var de overordnede strukturer kortlægningen afslørede i form af subvulkanske gangsystemer, der er knyttet til enkelte af bjergartskomplekserne, dels de strukturer man så i gangene først og fremmest i form af ptygmatiske folder i lyse skærende granittiske bånd.

De magmatiske legemer repræsenterer således magmakamre, der ikke har ligget særligt dybt. De gangsystemer, der er tale om, er 1) keglegange (cone sheets) dvs. kræmmerhusformede sprækker, hvor spidsen peger ind mod magmakammerets centrum, 2) radierende sprækker, dvs sprækker, der radierer ud fra magmakammerets centrum og 3) samt klokkestrukturer (bell jar) der er udviklet i forbindelse med en indsynkning af området over magmakammeret. Keglegangene og de radierende sprækker er dannet i forbindelse med udløs-

ningen af et overtryk i magmakammeret og efterfølgende udpresning af smelte i sprækkerne. Tilsvarende sprækker dannes, når et tykt vindue revner f.eks. i forbindelse med et stenslag (figur 3). Klokkestrukturene finder man som ganske få forholdsvis tynde horisontale gange af stor udbredelse. Der er kun ganske få radierende sprækker, så de dominerende strukturer er keglegangene (figur 4). Herudover findes et utal af gangformede og uregelmæssige mindre legemer,



Figur 2. Geologisk kort over Setesdal med de mindre magmatiske legemer lagt ind. Granit-monzonit legemerne er fremhævet med røde farve

som tilsyneladende afspejler en hel serie af afsnøringer af smelte fra større underliggende magmakamre. Gangbjergarter er iøjnefaldende, når man går rundt i området, da de som oftest indeholder en række spændende strukturer.

Efterhånden, som de monzonittiske bjergarter er blevet undersøgt, har det vist sig, at de på en lang række områder ikke ligner samtidige magmatiske bjergarter andre steder i Sydvestskandinavien. Udover strukturerne er det først og fremmest kemien i bjergarterne der er speciel, med høje koncentrationer af grundstofferne kalium, fosfor, titan, lanthan, strontium, barium og zirkonium.

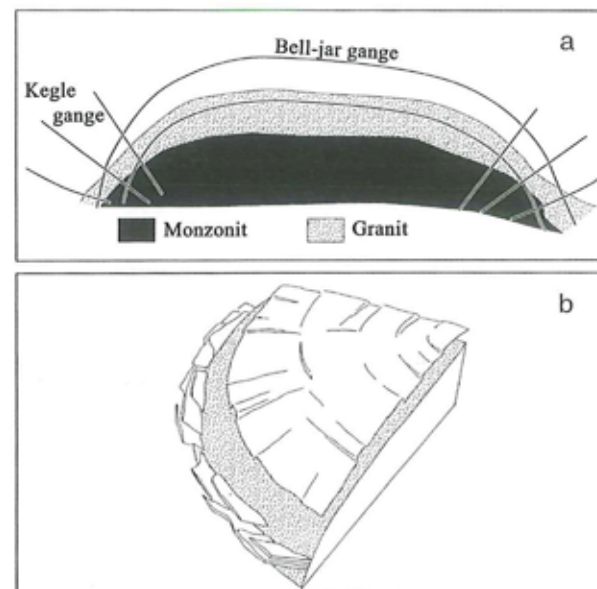
De magmatiske legemer udmærker sig ved hvert deres kendetegn, men er alle opbygget omkring en mellemkornet homogen oftest strukturløs monzonit og en generelt svagt porfyrisk granit. Alderen på bjergarterne er ca. 950 millioner år.

I gangene er der tit også de to bjergartstyper, granit og monzonit. Begge typer er finkornede, men især de monzonittiske bjergarter varierer i udseende. Helt generelt har de monzonittiske bjergarter en udtalt foliation og/eller lineation.

Denne artikel vil handle om strukturer, der er knyttet til gangsystemerne med relation til de sydligste af de magmatiske legemer. Der vil endvidere blive suppleret med informationer fra andre lignende gange, hvor tilknytningen til et magmatisk legeme ikke er åbenlys.



Figur 3. Sprækkedannelser i rude udsat for stenkast. Bemærk de radierende og cirkulære til elliptiske sprækker. Sidstnævnte svarer til omtalte keglegange



Figur 4. Simplificeret profil og blokdiagram der viser keglegangene og klokkeintrusionerne (bell-jar gange) ved det sydligste magmatiske legeme.