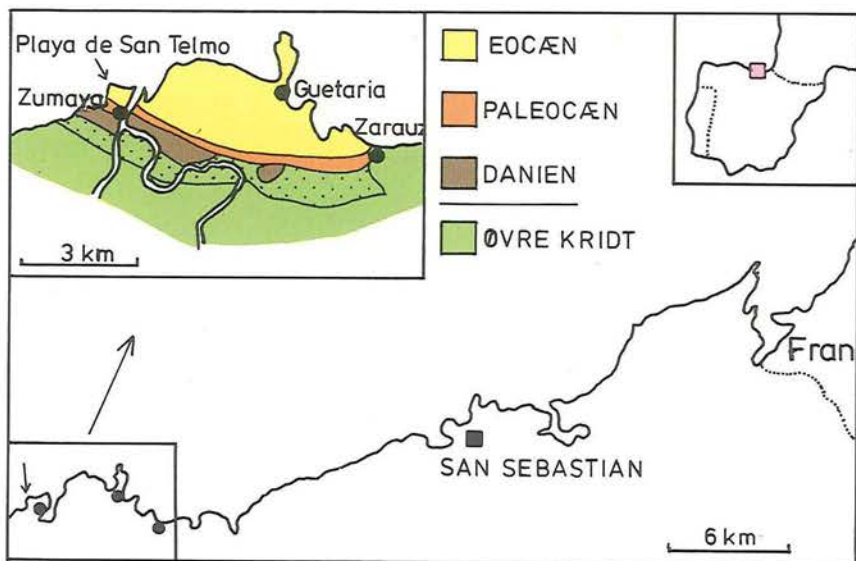


Landgang i Nordspanien

af Claus Beyer

Vi befinder os ved kysten i det nordlige Spanien, nærmere betegnet Playa de San Telmo ved Zumaya, ca. 30 km vest for San Sebastian. Kyststrækningen domineres af stejle klinter, og hvis man er uheldig og ikke holder øje med vandstanden, vil man nemt kunne få et ufrivilligt ophold i en af de små bugter, indespærret mellem højvandet og klinterne. Hvad der ville tage modet fra de fleste, vil dog ikke ærgre en VARV-læser, thi klinterne er fint blottede, og aflejringerne er fra ældre Tertiær (Paieocæn), og de er nok 5 timers studium værd. Desuden er lagserien kippet til næsten lodret stilling, så man på behagelig vis kan 'vandre op igennem' dem.



Figur 1. Lokaltetskort med angivelse af den overordnede stratigrafi.

Man vil straks konstatere, at man har en stærkt vekslende lagserie foran sig, med lagtykkelser fra over 1 meter til ganske få cm, og med kornstørrelser varierende fra ler til groft sand. Desuden vil man se et væld af strukturer i de forskellige lag, og har man medbragt saltsyre, vil man kunne konstatere, at størstedelen af lagserien er stærkt kalkholdig, medens enkelte grovkornede lag er kalkfrie. Umiddelbart kan lagserien karakteriseres som kalkrigt ler (ca. 90 % af lagserien) med indslag af sandsten.

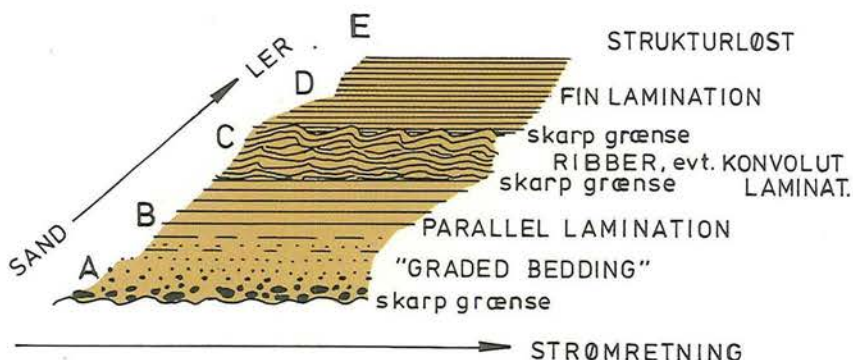


Figur 2. De stejltstillede Paleocæne lag i kysten ved Playa de San Telmo.

Hvilket miljø kan frembringe så hastigt varierende lagserie med en samlet tykkelse på over 1000 meter? Skyldes det vandstandsændringer? I så fald er der sket utallige ensartede skift med forholdsvis korte mellemrum. Trods det usandsynlige heri var det det bedste forslag før 1950. Det rigtige svar (?) blev først givet i begyndelsen af 50'erne ud fra et nærmere studium af sandstenslagenes strukturer i lignende aflejringer. Det viste sig, at visse strukturer er fælles og optræder i en bestemt rækkefølge.

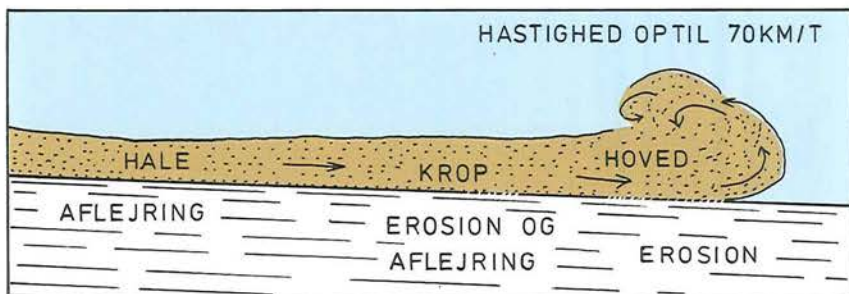
'Graded bedding', det indarbejdede engelske udtryk for opad aftagende kornstørrelse i det enkelte lag, optræder almindeligt og ses tydeligt i den nederste iøvrigt strukturløse del af laget. Dernæst kommer i rækkefølge: En mindre plan lamineret enhed (bestående af skarpt afgrænsede tynde plane lag), en enhed

med 'convolute lamination' (næsten roulade-agtigt krøllede lag), en utydelig lamineret silt-ler enhed og endelig en enhed med fint lamineret ler, der ofte danner en jævn overgang til det fine kalkholdige ler ("baggrundssedimentet").



Figur 3. Bouma-sekvens. Se nærmere beskrivelse i teksten.

Den nævnte rækkefølge, den såkaldte Bouma-sekvens, som blev beskrevet af Bouma i 1962, afspejler en sedimentation fra en strøm med jævnt aftagende hastighed karakteriseret ved, at der efterlades et lag med strukturer svarende til hvert hastighedsområde, idet den kornstørrelse, der kan holdes svævende i vandet (suspension), bliver mindre, jo lavere strømshastigheden bliver. Yderligere bestemmer kornstørrelsen af det aflejrede materiale sammen med strømshastigheden, hvilke strukturer der dannes. I løbet af 50'erne udvikledes teorien om submarine slamstrømme (turbiditer), der - som geologisk set meget kortvarige begivenheder - omlejrer grove shelvesedimenter til et dybhavsmiljø, der ellers er domineret af ekstrem finkornet sedimentation (de resterende 90 % af lagserien).



Figur 4. Turbidit-strøm. Figuren viser i skematisk form balancen mellem erosion og aflejring på langs af en turbidit-strøm som funktion af tid og strømshastighed.

Vægtfyldeforskellen mellem et lag med meget materiale i suspension ($1.5 - 2.0 \text{ g/cm}^2$) og det ovenliggende vandlag kan på grundlag af tyngdekraften forårsage strømbevægelse på en blot få grader hældende flade. Herved skabes turbulens, der igen medfører, at materiale rives op og bringes i suspension. Bevægelsen kan således holdes i gang længe, idet den eneste bremsende kraft er en, ofte ringe, friktion mod bunden og den ovenliggende vandmasse. Derfor kan det tage op til et par uger, inden den sidste fine kornstørrelsesfraktion falder til ro, mens den groveste fraktion aflejres i løbet af få timer.

Af denne grund kan hele Bouma-sekvensen sjældent ses i et og samme lag. Dels kan en senere turbiditstrøm helt eller delvis bortero dere den, og dels spiller afstanden fra startstedet en rolle. Turbiditer kan bevæge sig flere hundrede kilometer, i starten primært eroderende, dernæst aflejrende en stadig finere fraktion af suspensionsmaterialet. Dette forhold danner grundlag for at skelne mellem proximale og distale (nære henholdsvis fjerne fra startstedet) turbiditer. De proximale aflejringer består af de nederste enheder, AB, og de distale af de øverste, CDE. Der er selvfølgelig en jævn overgang imellem dem.

Vil det så sige, at man nødvendigvis skal have blotninger over et meget stort område for at udsige, hvorfra turbiditerne kom ?

Nej, det er ikke nødvendigt for at bestemme retningen på det enkelte sted. Heldigvis efterlader turbiditen mange strømretningsindikatorer i form af lagplansstrukturer på "sålen" af den enkelte aflejring. De vigtigste er nok "Groove Casts" og "Flute Casts".



Figur 5. Groove Casts ses tæt ved tommestokken. De øvrige aftryk er frembragt af dyr (sporffossiler).

Groove casts (fig. 5) dannes ved at et fragment føres hen over bunden og den eroderede retlinede furestruktur dernæst udfyldes. De ses som små forhøjninger af forskellige længde. Da det ansvarlige redskab sjældent findes, giver en groove cast to muligheder for palæostrømretningen.



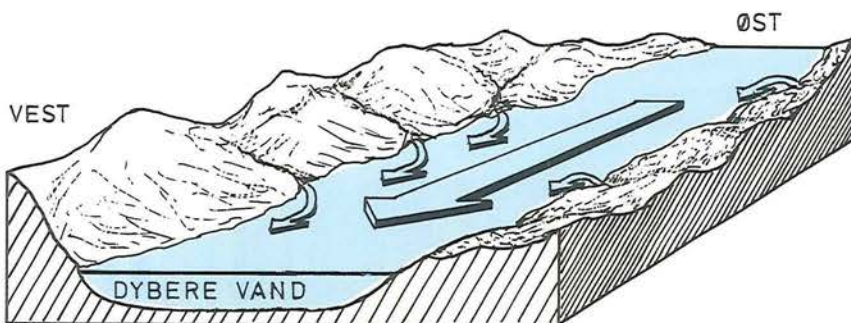
Figur 6. Flute casts.

Flute casts (fig. 6) er forhøjninger med stejl og højest væg opstrøms og går jævnt over i selve lagplanet nedstrøms, hvor strukturen også er bredest. De er således svagt trekantformede med en mere eller mindre spids vinkel i det retning hvorfra turbiditen kom. De er dannet ved strømhvirvlens erosion i underlaget og efterfølgende udfyldning.

Begge strukturer indeholder lagets groveste kornfraktion.

Turbiditafløjninger forekommer lige fra Prækambrium til i dag, men vor viden om dem er næsten udelukkende baseret på ældre afløjninger. Det er vanskeligt at forudsige turbiditdannelsen, og hvor det er lykkedes, har den voldsomme begivenhed med hastigheder op til 70 km/t ødelagt eller totalt fjernet måleinstrumenterne.

Ved Zumaya ses både distale og proximale afløjninger, de sidste hovedsageligt forekommende i den nedre del af lagserien. Således falder A og B enhedernes andel af det enkelte lag op igennem lagserien samtidig med at C enhedens vokser. Desuden er kalkstensens andel størst i den nederste del af lagserien, mens turbiditafløjningernes er tykkeste i midten. Disse imponerende blotninger, nok Europas bedste af sin art, er selvsagt blevet grundigt studeret og forskellige tolk-



Figur 7. Model for turbiditbassinet ved Zumaya med hovedtilstrømning fra øst mod vest, og ved periodiske tilskud fra siderne.

ninger har været fremført. Een går ud på at den nederste del af lagserien er en lavtvandsaflejring. Denne tolkning bygger på en tolkning af sporfossilerne, dvs bevarede spor af krybende og gravende organismer på den daværende havbund. Der er så sket en gradvis uddybning af bassinet med turbiditer strømmede mod vest (fig. 7). Herved forklares ændringen fra proximale til distale aflejringer op gennem lagserien. De stedvise indslag af tykkere proximale aflejringer længere oppe i serien kunne skyldes tilstrømning fra siderne af bassinet, hvilket også forklarer de afvigende palæostrømretninger.



Figur 8. En typisk del af sekvensen ved Zumaya. Yderst til højre ses et proximalt indslag.



Figur 9. Stejlkysten ved Playa de San Telmo. Størrelsen angives af personerne i kløften øverst i billedet.

En anden tolkning (også baseret på sporfossil undersøgelser) er, at der ikke er sket en indsynkning, og at aflejringen, der hele tiden er sket på forholdsvis dybt vand, er et resultat af udbygningen af en submarin vifte, dvs en kegleformet sedimentakkumulation ved foden af en submarin skråning. Sådanne floddannede sedimentpakker (med arealer op til 2500 x 1000 km store) er almindelige ved kontinentrande, og omlejringen af disse sedimenter sker bl.a. ved turbiditstrømme.

Zumaya lokaliteten er nok en af de bedst undersøgte af sin art, hvilket der, som det ses af billederne, kan være mange grunde til, ud over det overrumplende tidevand ! Den gode blotningsgrad og tilgængelighed gør også stedet velegnet som ekskursionsformål, og baggrunden for denne artikel var netop en ekskursion med Geologisk Institut ved Århus Universitet.