

INSTITUTT FOR GEOLOGI NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE

Department of Geology, Agricultural University of Norway
Adress : N-1432 Ås-NLH . Telephone : (02) 940060



RAPPORT NR. 1
ÅS 1975

Jens Olaf Englund

1. En oversikt over de viktigste senprekambriske og «Eokambriske» lagrekker i områdene rundt Nord-Atlanteren utenfor Skandinavia.
2. Noen trekk ved gråvakke sandsteiner og ved deres dannelsesmåte.

Prøveforelesninger holdt for den filosofiske doktorgrad ved Universitetet i Oslo 1/11 1974

" EN OVERSIKT OVER DE VIKTIGSTE SENPREKAMBRISKE OG
"EOKAMBRISKE" LAGREKKER I OMRÅDENE RUNDT NORD -
ATLANTEREN UTENFOR SKANDINAVIA".

Av

Jens-Olaf Englund.

Avsetninger fra overgangen prekambrium - kambrium er kjent fra mange steder i verden. Ettersom disse lagrekker ligger under fosilførende kambrium ble de av Brøgger (1900) betegnet som eokambrium.

En liten men tydelig vinkeldiskordans opptrer under horisonten med tillitter i Finnmark, og dette ledet Høltedahl (1961) til å begrense betegnelsen eokambrium til avsetningene over vinkeldiskordansen. De underliggende avsetningene over krystalline prekambriske bergarter blir dermed å betrakte som senprekambriske.

Imidlertid er det vanskeligheter med å finne en kronostratigrafisk undergrense for det kambriske system, men i følge Harland (1974) er det ingen tvil om at de fleste stratigrafer ønsker å sette denne grensen et stykke over den nevnte tillitt-horisont, altså over avsetninger fra den såkalte Varanger istiden, - og under bergarter som fører olenellider samt andre flercellede organismer. Betegnelsen eokambrium synes derfor å ha en meningsfylt funksjon for bergarter eller begivenheter av alder svarende omtrent til grensen prekambrium - kambrium.

I dag har man for få aldersbestemmelser fra senprekambriske - eokambriske lagrekker til at disse kan brukes ved direkte korreleringer av grenser. I Sovjetsamveldet har man imidlertid i lengre tid benyttet en geokronologisk kalibrering av disse lagrekkene (Fig.1).

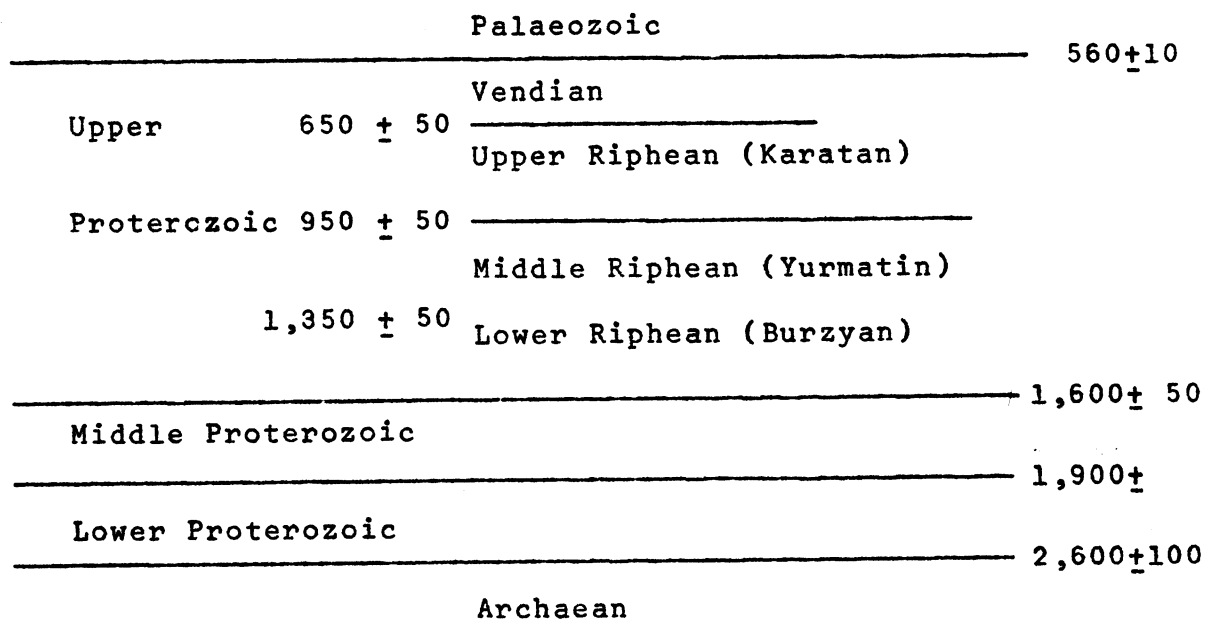


Fig.1. Inndeling av prekambrium etter Semikhatov (1966).

Undergrensen for paleozoikum settes ved 560 mill. år, og den eldre Vendiske periode går ned til 650 mill. år,- og svarer til eokambrium. Under her følger mange steder i verden tykke lagrekker, - tildels geosynklinale lagrekker ned til dyp av flere kilometer. Betegnelsen rifeisk har lenge vært i bruk på slike lagrekker i Sovjetsamveldet. Lokale navn på bergartsenheter som i tid kan korreleres med de rifeiske perioder er kjent fra bl.a. Grønland, Spitsbergen og de Britiske øyer. En kan ikke vente at disse enheters undre grense er stratigrafisk ekvivalente, selv om deres øvre grenser kan refereres til basis av eokambrium.

Den eldre del av prekambrium - archaicum - er etter sovjetisk nomenklatur eldre enn 2600 mill år, mens proterozoikum utgjør det store tidsintervallet mellom archaicum og paleozoikum.

Et trekk ved de eokambriske (Vendiske) lagrekker fra mange steder i verden er at de fører en eller to stratigrafiske horisonter med tilloide konglomerater. Disse har oftest blitt tolket som tillitter. Betegnelsen tillitt er da benyttet også på sedimenter hvori noe er vanntransportert materiale foruten en komponent som representerer isdroppet materiale.

Imidlertid opptrer tilloide konglomerater også dypt nede i senprekambriske (rifeiske) lagrekker både på Øst-Grønland og på Spitsbergen. Disse er også blitt tolket som tillitter, men ifølge Haller (1971 s.82) er deres glaciale opprinnelse usikker. De kan ha blitt avsatt ved andre transportmekanismer som eksempelvis fra "mud flows".

Ser man på den regionale fordeling av de eokambriske tillitter - fra Varanger istiden (Harland 1974, s.32). også kalt infrakambriske tillitter ifølge nomenklatur fra Nord-Afrika (Menchikoff 1949) og man tar hensyn til kontinentaldrift fåes et bilde av denne fordelingen som vist på Fig.2.



Fig.2. Wegener's arrangement av kontinenter med noen av de viktigste eokambriske tillittlokaliteter (trekanter) i verden. Etter Harland (1963).

Figuren er etter Harland (1963, s.131) og er basert på Wegener's arrangement av kontinenter hvori er innplottet (trekanter) noen av de viktigste tillittlokaliteter i verden. Den store regionale utbredelse av disse tillitter, som vist i Fig.2, gjør at de representerer en stratigrafisk horisont av stor betydning ved regionale korrelasjoner.

Paleomagnetiske målinger har vist at Sydpolen på den tid må ha befunnet seg i området rundt Syd-Afrika, og ekvator må ha gått gjennom nordlige Europa, Grønland og Nord-Amerika.

Som allerede nevnt må denne istiden ha hatt minst to hovedglaciasjoner med stor utbredelse og sannsynligvis av lang varighet.

En må regne med at transport av materiale ved flytende is over visse avstander på havet var en viktig transportmekanisme. På denne måten har muligens havstrømmer forårsaket dannelsen av marine tillitter langt fra isbreer. Imidlertid må der ha eksistert isbreer også langt mot nord. Den undre tillitten i Finnmark (Reusch, 1891, K.Bjørlykke 1967) hviler på et underlag med skuringsstriper, og i dette området synes derfor en aktiv isbre å ha befunnet seg.

En må videre anta at også avsetninger som ikke er tillitter ble dannet dengang. Denne mulighet må tas i betraktning ved stratigrafiske korreleringer. Eokambriske tillitt-avsetninger kan dessuten opptre mellom lag som er avsatt under varme betingelser,

og dette viser at raske klimaendringer må ha brakt is til områder med sedimentasjon under varme forhold. Tillittenes stratigrafiske plassering både over og under oolitt og stromatolitt-førende dolomitter viser dette.

Plutselige endringer i sedimentasjonsmiljøet som følge av omfattende tektonisk aktivitet ansees som lite sannsynlig for denne tiden (Harland 1963, s.124), fordi så mange eokambriske tillitter opptrer konformt i lagrekker. Mindre bikking av enheter av jordskorpen samt eustatiske nivåendringer kan forklare erosjon i tilgrensende landområder og i underliggende sedimenter.

Rundt Nord-Atlanteren opptrer

senprekambriske - eokambriske bergarter

på de Britiske øyer, vestlige Skandinavia, på Bjørnøya, Spitsbergen og østlige deler av Grønland. Disse inngår alt vesentlig i den kaledonske tektoniske provins, og er derfor mer eller mindre defformert i ordovicisk - devonsk tid. Den kaledonske fjellkjede på nordsiden av Grønland fortsetter vestover over de Kanadiske øyer, mens fjellkjeden på Øst-Grønland fortsetter sørover i Appalachene, det vil si en gren på hver side av det Kanadiske prekambriske skjold, og senprekambriske - eokambriske lagrekker er knyttet til disse geosynklinale beltene. Slike bergarter opptrer også sør for de Britiske øyer langs den grenen av den kaledonske geosynklinal som går gjennom Frankrike, Spania og langs vestkysten av Afrika.

I Fig.3 er vist hovedinndelingen av de viktigste senprekambriske - eokambriske lagrekker i Norge, på Spitsbergen, på Grønland og på de Britiske øyer.

Lagrekkene er oppstilt med referanse til den eokambriske Varanger-tillitthorisonen. Sur og basisk vulkansk aktivitet er angitt med henholdsvis A og B og tillitter med trekkanter. Krystalline prekambriske bergarter under disse lagrekkene er angitt ved skråskravering. Lagrekken i Syd-Norge, som er skjematisk vist til høyre (Fig.3), samt lagrekken i de sentrale deler av Sverige er avsatt på forlandet i sydøst, i utbuktninger av den kaledonske miogeosynklinal (Størmer 1967, s.190).

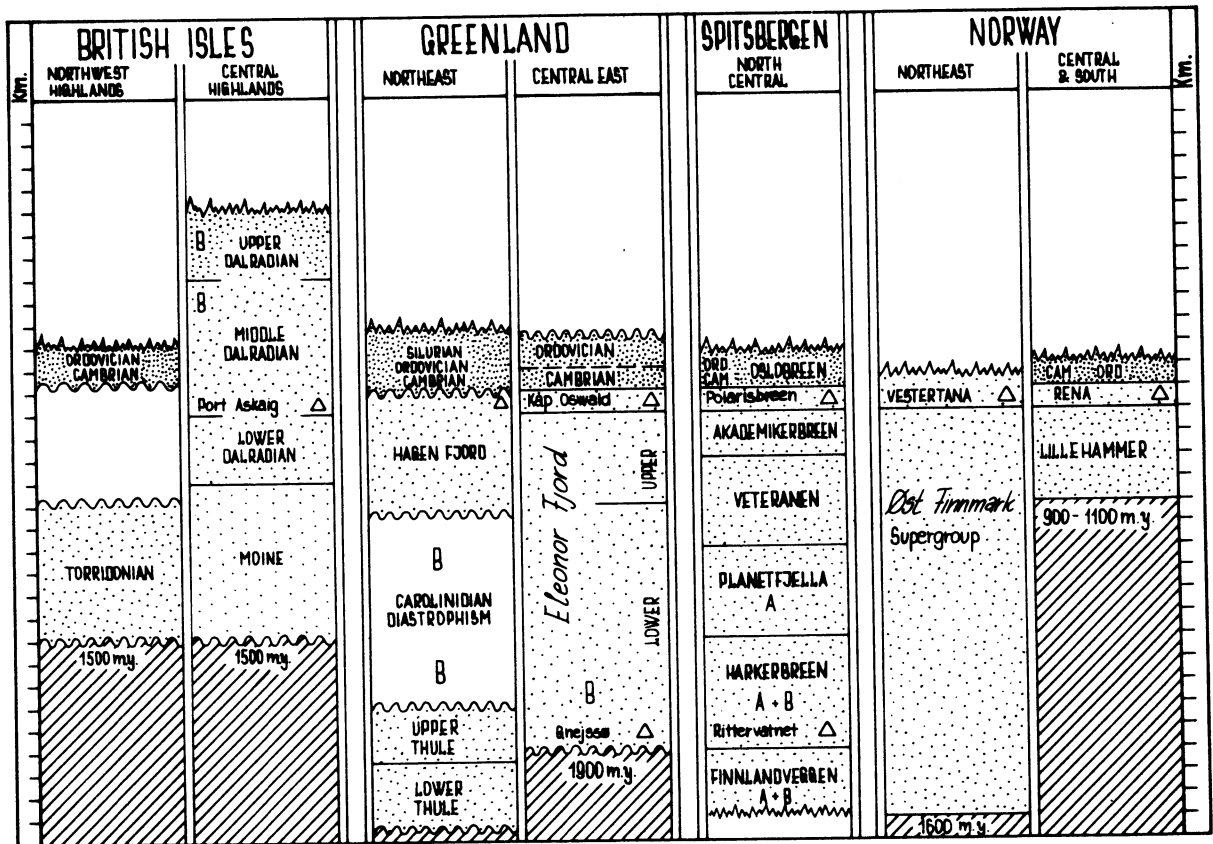


Fig.3. Skjematisk fremstilling av de senprekambriske-
eokambriske lagrekker i Norge, på Spitsbergen, på
Grønland og på De britiske øyer. Lagrekkene er
oppstilt med referanse til den eokambriske Varanger-
tillitthorisonten. Modifisert etter Harland m.fl.
(1966, s.93.).

Lagrekken nordligst i Finnmark, som vist i Fig.3, er ca 18 km mektig og viser miogeosynklinal karakter (Siedlecka og Siedlecki 1967). Den er avsatt langs nordøstskråningen av det fennoskandiske skjold. Bergartene på Spitsbergen viser også en utpreget geosynklinal-karakter. De inngår som den viktigste del av den metamorfe Heckla Hoeklagserien og opptrer både langs vestkysten, i nord og på Nordaustlandet av Spitsbergen. De beste profiler finnes i de sentrale deler i nord (Fig.3). Den totale mektighet av Heckla Hoek er her ca 20 km, hvorav den øvre 1 km er av underkambrisk - underordovicisk alder.

Det er noe uklart om det krystalline archaeiske underlag for Heckla Hoek er blottet på Spitsbergen. På Nordaustlandet opptrer bergarter som Sokolov m.fl. (1968) har henført til et archaeisk underlag, men Harland m.fl. (1966) parallelliserer disse bergartene med Undre Heckla Hoek, som i de sentrale deler i nord består av de tre undre gruppene vist i Fig.3. Ulike typer sandsteiner og siltsteiner dominerer i disse ulike gruppene.

Lys marmor opptrer som distinkte enheter gjennom hele Undre Heckla Hoek. Sedimentene i Harkerbre-gruppen viser tildels grunne avsetningsforhold - med skråsjiktning som vanlig opptrædende, men mesteparten av Undre Heckla Hoek er antagelig avsatt på relativt dypt vann.

Et tilloid konglomerat opptrer nær basis for Harkerbregruppen (Harland m.fl. 1966, s.76), muligens ekvivalent med Gnejssø-tillitten på Øst-Grønland og med 4 tillitt-lignende horisonter sydvest på Spitsbergen, beskrevet av Birkenmajer (1959). Disse konglomeraters glaciale opprinnelse er imidlertid, som nevnt, usikker.

Amfibolitter opptrer hyppig i Harkerbre-gruppen og i øvre del av Finlandvegg-gruppen. Mange av disse er tolket som pyroklastiske, mens endel oppfattes som lavabergarter eller intrusjoner.

Konkordante kvarts-feltspatrike bergarter, tolket som vulkanske, inngår i alle gruppene tilhørende Undre Heckla Hoek. I Harkerbre-gruppen veksler amfibolittene med de sure meta-vulkanske bergartene, og dette er forklart (Harland m.fl. 1966 s.76) ved basiske erupsjoner innen geosynklinalen og med tilførsel av surt vulkansk materiale fra erupsjoner i landområdene omkring.

Veterangruppen indikerer et dypt avsetningsbasseng med sedimenter dominert av gråvakke og leire.

Akademikerbre-gruppen består vesentlig av dolomitter med enkelte kalksteinsenheter. Disse viser oolitter og stromatolitter - altså evidenser på et varmt klima og gruntvannsmiljø.

Det generelle bildet av den senprekambriske lagrekken på Spitsbergen viser sedimentering i et basseng med noe varierende dybdeforhold. Mesteparten av sedimentene synes å være avsatt på relativt dypt vann, men deler av Harkerbregruppen indikerer grunne forhold. En tydelig oppfylling av bassenget fant sted mot slutten av senprekambrium, ved avsetningen av mektige dolomitter og kalksteiner tilhørende Akademikerbre-gruppen. Perioder med begrenset tilførsel av klastisk materiale er også typisk for Undre Heckla Hoek som vist ved endel marmorlag.

Den eokambriske

Polarisbre-gruppen inkluderer Polarisbre-tillitten som kan korreleres med Sveanor-formasjonen på Nordaustlandet og med andre tillitter på Vestspitsbergen.

Gruppen består av tre formasjoner som alle er mørke av farge og dominert av leirrike sedimenter. De er overleiret av lyse kambriske sandsteiner tilhørende Oslobre-gruppen.

I den midtre formasjonen av Polarisbre-gruppen opptrer betydelige mengder med konglomeratboller. Matrixen i konglomeratet har varierende kornstørrelse, og viser en tydelig lagdeling over store områder, typisk for vanntransportert og vannavsatt materiale. Bollematerialet - her tolket som droppmateriale fra flytende is - har av og til trengt igjennom den underliggende laminering - og lagningen bøyer ofte av på undersiden og oversiden av konglomeratbollene.

I den sydlige del av det sentrale nordlige Spitsbergen opptrer to tillitt-enheter både adskilt og begrenset nedad og oppad av tynne dolomittlag. I nord opptrer kun ett tillitt-nivå.

Den sedimentære utvikling av Polarisbre-gruppen harmonerer godt med paleomagnetiske evidenser som plasserer Spitsbergen ved lave breddegrader i tidlig eokambrisk tid. I følge Wilson og Harland (1964, s.218) består de fineste fraksjonene i tillitten av et rødt detritus som kan stamme fra erosjon av lateritt-jordarter

ved en eksepsjonelt stor utbredelse av de glaciale forhold til tropiske breddegrader.

Den stratigrafiske likhet mellom Øst-Grønland og Spitsbergens kaledonske bergarter har vært fremhevet av mange (som Harland m.fl. 1966).

I de sentrale deler på Øst-Grønland må geosynklinale betingelser antagelig ha eksistert over et stort område i senprekambrisk tid og sedimentasjonen må ha vært mer eller mindre kontinuerlig opp til mellom-Ordovicium (T.Birkelund m.fl. 1973).

Mesteparten av den 16 km tykke lagserien på Øst-Grønland representeres av den senprekambriske Eleonor-fjord-gruppen. Sedimentene i gruppen viser miogeosynklinale til shelf karakter.

Denne enheten, som hviler på et peneplanisert krystalint underlag med alder 1900-2000 mill.år, deles inn i to hoved-sedimentære sykluser, representert ved undre og øvre Eleonor-fjord-gruppe, som vist i Fig.3.

Rester av et konglomerat er bevart i fordypninger i det krystalline underlaget - Gnejssø-tillitten, men dens glaciale opprinnelse er, som nevnt, usikker.

Den undre gruppen viser betydelige laterale variasjoner, men er dominert av gråvakker og leirsedimenter avsatt på relativt dypt vann. Kalkholdige lag opptrer - både nær basis og nær toppen av enheten. Basiske vulkanske lag er observert i de lavere deler.

Selvom disse sedimentene er avsatt langs den østlige kanten av det Kanadiske prekambriske skjold viser de betydelig transport av materiale også fra nordlige og østlige kilder (Haller 1971, s.76). Dette antas å henge sammen med nedbrytning av landområder dannet som følge av den carolinidiske orogenese i nord.

Øvre Eleonor-fjord-gruppens sedimenter stammer derimot alt vesentlig fra vestlige kilder. En tydelig forandring i sedimentasjonsforholdene fant sted over hele det sentrale Øst-Grønland ved innledningen til øvre Eleonorfjord-gruppe. Epeirogene bevegelser må ha funnet sted både i kildeområdene og i innsynkningsbassenget.

Sedimenter tilhørende denne øvre gruppen er av transgressiv karakter og starter med lag av kvartsitt som går over i dolomittiske sandsteiner overleiret av kalksteiner og dolomitter.

Den øvre del av de senprekambriske lagrekker både nordligst i Norge, på Spitsbergen og i sentrale deler på Øst-Grønland viser den samme sedimentologiske utvikling dominert av dolomitter med stromatolitt- og oolittstrukturer.

Kap Oswald-gruppen av eokambrisk alder, består av leirsedimenter, sandsteiner og to tillittførende nivåer, hvert omtrent 50 m tykke, som er adskilt av sandsteiner og dolomittførende skifre.

I deler av Øst-Grønland synes sedimenteringen å ha foregått kontinuerlig fra den underliggende Eleonordfjord-gruppe og opp i tillitt-gruppen, mens i andre deler av dette bassenget må betydelige hevinger med etterfølgende erosjon ha funnet sted ved overgangen til tillitt-gruppen. Et stort innhold av bolle-materiale fra Eleonorfjord-gruppen i det undre tillittnivået gjenspeiler dette, foruten en observert diskordans mellom disse gruppene. Det øvre tillittnivået er overleiret av leirsedimenter, siltsteiner og dolomitter. En delvis tørrlegging av disse sedimentene med etterfølgende erosjon markerer overgangen til underkambriske sandsteiner.

Mot forlandet i vest innen det sentrale Øst-Grønland mangler bergarter tilhørende Eleonorfjord-gruppen, og de eokambriske tillitter hviler direkte på det krystalline prekambriske underlag. De overliggende kambriske sandsteiner viser her Scolithus strukturer.

Foruten i de sentrale deler på Øst-Grønland viser de senprekambriske - eokambriske lagrekker en hovedutvikling i nordøst (Fig.3). Lagrekkene på de to steder viser svært forskjellig utvikling, men på begge steder synes den største sedimentakkumuleringen å ha funnet sted i områder som senere ble posisjonen for det kaledonske foldebelte, og som forårsaket at disse bergartene idag vesentlig inngår i tektoniske dekkeenheter skjøvet vestover.

I den nordlige del av Grønland ble senprekambriske sedimenter tilhørende undre og øvre Thulegruppe avsatt i et geosynklinalt ca øst-vestorientert basseng, som ble deformert ved den carolinidiske deformasjonsfase (Fig.3). Begge grupper viser regionale

sedimentære faciesvariasjoner svarende til geosynklinale forhold og til forlandsforhold.

Undre Thule-gruppe har lag av kvartsitter og kalksteiner samt noe dolomitt ved basis, men gruppen domineres av leirsedimenter og siltsteiner som indikerer avsetning på relativt dypt vann. Ifølge Harland m.fl. (1966) kan undre Thule-gruppens sedimenter være eldre enn de undre sedimentene i Eleonorfjord-gruppen. Øvre Thule-gruppe domineres av sandsteiner, og disse er transgressive i forhold til de finkornige sedimentene under. Disse sandsteinene er for en del røde (redbeds) og synes for en stor del å være avsatt i et ikke-marint miljø.

Den markerte lithologiske overgang mellom undre- og øvre Thule-gruppe skyldes antagelig en økning i relieffet i de sedimentgivende områdene.

Etter avsetningen av Thule-gruppene ble disse sedimentene gjennom-satt av basiske intrusjoner, så deformert av den carolinidiske oragenese etterfulgt av forkastninger og ny intrusjonsfase med basiske bergarter. De to intrusjonsfasene er avmerket med to B-er i Fig.3. Deretter fulgte en fase med heving og erosjon, hvilket frembragte en peneplanisert øvre grense for øvre Thule-gruppe. Yngre senprekambriske og eokambriske lagrekker overleirer øvre Thule-gruppe med en tydelig vinkeldiskordans, disse er sammenfattet i Hagenfjord-gruppen. Denne gruppen viser regionale sedimentære faciesvariasjoner knyttet til oppstikkende landområder som følge av den carolinidiske oragenese. Dens miogeosynklinale utvikling, som er minst 5 km mektig, domineres av leirsedimenter og gråvakker. Disse er overleiret av kalksteiner og dolomitter med stromatolitt-strukturer. En konglomeratisk enhet, tolket som eokambrisk tillitt (T. Birkelund m.fl. 1973) opptrer lokalt og stratigrafisk plassert under den nevnte kalk-dolomitt-enheten.

Toppen av Hagenfjord-gruppen er markert ved et erosjons-intervall forut for den undre kambriske transgresjonen.

På De britiske øyer opptrer viktige senprekambriske - eokambriske lagrekker i de nordvestre og sentrale deler av Skottland, kjent som Torridonian i nordvest og som Moine - Dalradian i de sentrale deler (Fig.3). Ekvivalente enheter er kjent fra de nordvestre

deler av Irland. Mesteparten av Torridonian er avsatt på forlandet til den Kaledonske geosynklinal, mens de metamorfe Moine-sedimentene opptrer i alloktone dekkeenheter skjøvet mot forlandet i vest. Det er antatt at Torridonian og Moine ble avsatt i omtrent samme tidsperiode, - for ca 800-1000 mill. år siden (Johnsen, 1965, s.79) - svarende til mellom - over rifeisk tid etter den sovjetiske inndeling av senprekambrium. Begge disse lagserier hviler med vinkeldiskordans på det samme gneisunderlag med alder ca 1350 - 1500 mill. år. Torridonian og Moine er deler av samme bergartsenhet, avsatt i forskjellige områder og senere brakt sammen ved kaledonske skyvebevegelser.

Torridonian lagrekken deles inn i 4 grupper, og disse viser tre sedimentære hovedfacies med en generell Ø-V faciesforandring. Den undre del av lagrekken i SØ består av ca 2000 m mektig turbiditt - gråvakkert avsatt på dypt vann. En overliggende og like mektig sandstein - skifer facies er sannsynligvis avsatt under grunne marine eller alternativt fluviale forhold.

Den stratigrafisk høyeste sedimentære hovedfacies i Torridonian er en arkose spesielt godt utviklet på forlandet i vest, hvor den er avsatt direkte på de krystalline gneisene.

Arkosene er røde og brune og med samlet mektighet opptil ca 6000 m. De er fluvialt avsatt under betingelser som tillot oksydasjon (Stewart 1962). Den sedimentære lagrekke som her er omtalt for Torridonian svarer til en ideell geosynklinal sekvens med en gradvis oppfylling av et sedimentært basseng. Det er imidlertid en ufullstendig lagrekke, den øvre del er bortrodert før avsetningen av de kambriske sedimenter. Disse hviler på et erosjonsplan som kutter gjennom Torridonian og ned i de underliggende gneisene. Det store tidsgapet som synes å eksistere mellom avsetningen av Torridonian og de under-kambriske bergartene indikerer senprekambriske bevegelser.

De metamorfe Moine bergartene består av en alternerende serie av sandsteiner og skifre minst 6-7 km mektig. De representerer antagelig bassengsentrale avsetninger ekvivalente til de marginale Torridonian - sedimentene (Johnson 1965, s.84). Urene kalkholdige bergarter utgjør en meget liten del av Moine-lagrekken.

Evidenser på gruntvannsforhold er observert, men det er antatt at turbiditt gråvakker avsatt på relativt dypt vann - utgjør en vesentlig del av lagrekken.

En seksdeling av enheten er utarbeidet (Ramsay og Spring (1963). Lokalt opptrer et konglomerat ved basis, deretter følger 5 grupper dominert av henholdsvis sandig materiale eller leirholdig materiale. Den øverste gruppen er en sandig enhet.

Moine-lagrekken er overleiret av den metamorfe Dalradian-gruppen, som deles inn i Undre, Midtre og Øvre Dalradian. Utviklingen av denne gruppen må sees i sammenheng med dannelsen av et geosynklinalt belte i det sentrale høyland av Skottland.

Undre Dalradian, - med mektighet ca 1000 - 3000 m, består av skifre, skråsjiktete kvartsitter, kalksteiner og øverst av dolomitter med stromatolittstrukturer. Enheten er avsatt i et grunt havområde. De overliggende bolleførende lagene, Port Askaig-formasjonen ved basis av Midtre Dalradian, og med mektighet opptil 750 m, er av antatt glacial opprinnelse og parallellisert med de eokambriske tillittene i Skandinavia av Høltedahl (1939).

Formasjonen viser stor regional utbredelse både i Skottland og i Irland. Den utgjør ingen stratigrafisk sammenhengende enhet i form av et konglomerat, men er stedvis utviklet som en grovkornet sandstein. Spencer (1971) har diskutert avsetningsmekanismen for denne formasjonen og konkluderer med at den har vært svært kompleks og knyttet til en større shelf-is som må ha hatt minst 17 mindre lokale fremstøt. Smeltevannsavsetninger og marine avsetninger utgjør dermed en vesentlig del av formasjonen ved siden av tillitter, dannet vesentlig som bunnmorener. Topografien på den tid må ha vært svært flat og lavtliggende. I tillegg må det ha foregått en gradvis innsynkning av bassenget for å kunne forklare avsetningen av de mektige og utbredte tillittførende enhetene. Formasjonen overleirer, og blir overleiret av dolomitter med stromatolitt-strukturer.

Midtre Dalradian, med mektighet omkring 5000 m, består vesentlig av skifer, og kvartsitter med gradert lagning som indikerer forholdsvis dype avsetningsforhold. Den øvre del av Midtre Dalradian består igjen av mørke skifre, kalksteiner og skråsjiktete kvartsitter indikerende et grunt avsetningsmiljø.

Basiske tuff-bergarter opptrer i denne del av lagrekken (Sturt 1961). Et viktig skifte i sedimentasjonsforholdene fant sted ved slutten av midtre Dalradian, ved dannelsen av et stort basseng- eller muligens et system av mindre sedimentasjonsbassenger hvori betydelige mengder turbiditt - gråvakker ble avsatt, og på mange steder kom basiske vulkanske avsetninger i tillegg. Øvre Dalradian fører lag med underkambriske trilobitter og det meste av enheten antas å ha kambrisk alder.

For De britiske øyer skal tilslutt nevnes at i Wales hviler underkambriske sandsteiner og konglomerater på en vulkansk serie av antatt senprekambrisk - eokambrisk alder, dominert av basiske tuffer. Det er en gradvis overgang mellom disse to bergartsenheter som vist ved veksling mellom sandige og tuffholdige lag (Bassett 1963, s. 63).

I Bretagne, Nordvest Frankrike opptrer en geosynklinal-serie kjent under betegnelsen "Brioverian". Den hviler med vinkeldiskordans på sterkt metamorfe gneiser, og består av gråvakker og basisk vulkanske bergarter i de lavere deler og av skifre og karbonat-holdige kvartsitter i de øvre deler. Et tillitt-nivå svarende til Varanger-istiden inngår høyt oppe i lagrekken. En markert vinkeldiskordans mellom disse bergartene og overliggende flattliggende og transgressive Paleozoiske sedimenter indikerer en orogen fase rundt begynnelsen av kambrisk tid, kjent som den cadomske (Cado-mian) orogenese.

I oppbygningen av den Appalachiske fjellkjede langs østkysten av USA og Kanada, inngår senprekambriske og eokambriske bergarter som et viktig element. Fordelingen av disse bergarter er vist på den neste figuren (Fig.4), som er etter Rodgers (1972).

Langs den nordvestre siden av Appalachene inngår enheter fra det krystalline underlag i kjernen av en rekke antyklinal-strukturer som ble dannet i paleozoisk tid. De krystalline bergartene er angitt med signatur 1 på kartet. Antyklinal-strukturene opptrer fra Newfoundland i nordøst for Great Smoky mountains i Tennessee i sydvest.

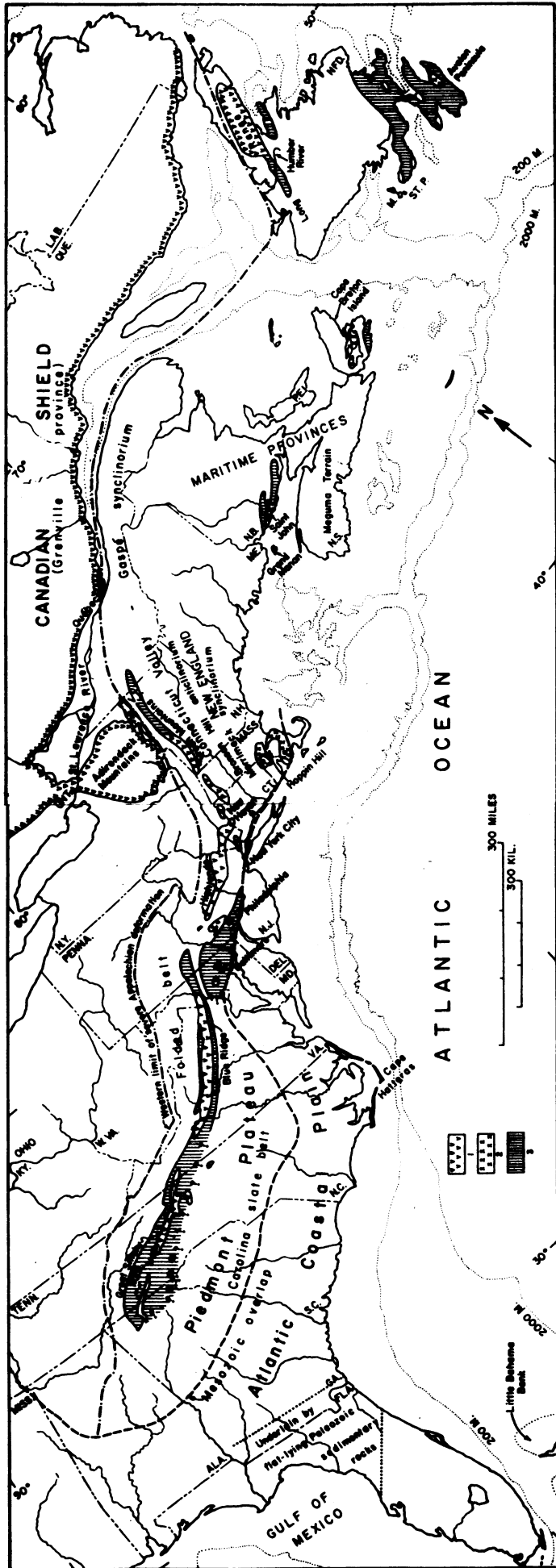


Fig. 4. Skjematisk kart som viser fordelingen av prekambriske - eokambriske bergarter i den Appalacheske fjellkjede. Etter Rodgers (1972). 1. Krystalline bergarter tilhørende Grenville orogenesen (950 mill.år og eldre). 2. Krystalline bergarter i den nordøstlige del av fjellkjeden (530-600 mill.år). 3. Prekambriske - eokambriske sedimentære og vulkanske bergarter som ikke ble metamorfosert i senprekambrisk - tidlig kambrisk tid (endel ble metamorfosert senere i paleozoisk tid).

De krystalline bergartene tilhører Grenville orogenesisen med alder 950 mill.år og eldre. Innen det Kanadiske skjold videre mot nordvest opptrer igjen bergarter av denne alder.

Langs antiklinalstrukturene er de krystalline bergartene overleiret av en sedimentær lagrekke med en markert vinkeldiskordans. På en rekke steder utgjør kambriske eller ordoviciske sedimenter de undre deler av disse lagrekker, men i de vertikalt skraverte feltene på kartet - (signatur 3) - inngår under-kambriske fossiler nær toppen av tykke klastiske lagrekker hvori vulkanske enheter opptrer lokalt. Tykkelsen av disse lagrekker varierer mye både langsmed og på tvers av antiklinalene.

Maximal tykkelse:

Newfoundland	= 200 m
Green Mountains	= 1000 m
Nord for Baltimore	= 1500 m
Blue Ridge	= 2500 m
Great Smoky Mountains	= 8000 m

Et skjematisk hovedprofil for den nordvestre del av Appalacheene er vist i Fig.5.

Den øvre del av lagserien utgjøres overalt av en kvartsitt - med mektighet over 100 m hvori under-kambriske fossiler samt Scolithus strukturer opptrer nær toppen. Disse kvartsittene er tolket som avsatt i et grunt marint eller muligens også fluvialt miljø. Hvor man har de tykkeste lagrekker opptrer en gråvakke-skifer-sekvens i de lavere deler, med strukturer som viser avsetning på dypt vann. Disse er overleiret av siltsteiner, feltspatiske sandsteiner og feltspatrike konglomerater. Skråsjiktning og andre evidenser på gruntvannsforhold opptrer i de øvre deler mot kvartsitten.

De vulkanske bergartene som er knyttet til disse lagrekkene, opptrer lokalt langs hele fjellkjeden, hvor de inngår i de stratigrafisk lavere deler. Deres mektigheter kan gå opp i 3 km, og de består av basalter, andesitter og rhyolitter. Aldersbestemmelser indikerer over-rifeisk tid (820 mill.år) for mye av denne vulkanske aktiviteten.

Det er tydelig at de lagrekker som her er omtalt fra de nevnte antiklinalstrukturer, er avsatt i uregelmessige bassenger.

Appalachiske fjellkjede

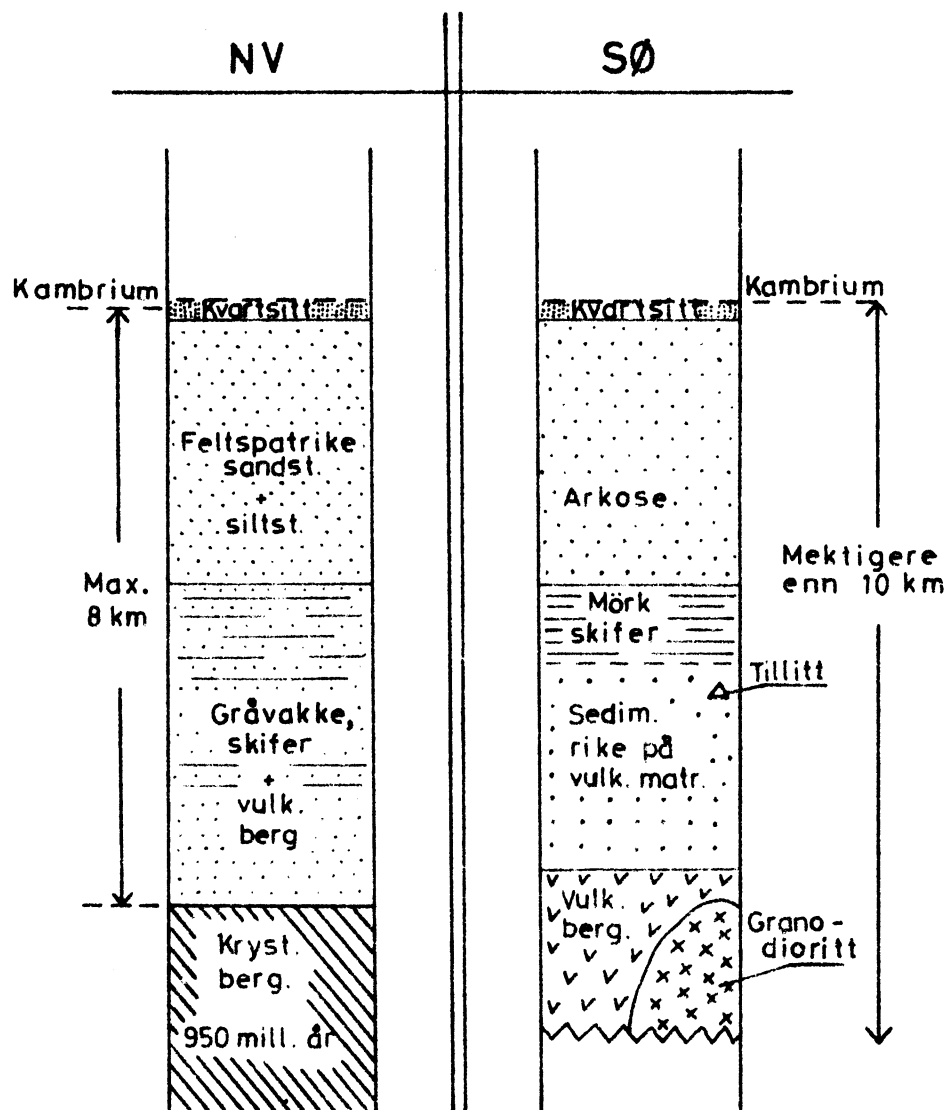


Fig.5. Hovedinndeling av de senprekambriske - eokambriske bergarter langs den nordvestre og sydøstre siden av den Appalachiske fjellkjede.

Mye grovt materiale, et høyt feltspatinnhold og tildels dårlig sorterte sedimenter indikerer et høyt relieff i omgivende landområder dominert av gneis og granitt. Bassengene ble gradvis oppfylt fra dypt til grunt vann. En kort periode i tidlig kambrisk tid ga kystnære modne sedimenter, men disse blir igjen overleiret av dypvannsedimenter.

I følge Rodgers (1972) synes disse senprekambriske - eokambriske avsetninger enten å være avsatt i bassenger som havet kunne trenge inn i, altså lik de antatte forhold ved sparagmitt-bassengene på den Skandinaviske halvøy, eller de er avsatt på en uregelmessig måte langs en kontinental terasse. Den siste forklaringen medfører at et proto-Atlantisk osean må ha eksistert i sydøst i senprekambrisk tid, nærmere bestemt i over-rifeisk tid. Senprekambriske-eokambriske bergarter av en helt annen karakter er kjent fra en rekke områder langs den sydøstre siden av Appalachene, fra Newfoundland, Nova Scotia og Massachussettes og disse fortsetter sannsynligvis videre mot sydvest til Piedmont plattået (Fig.4). Dette bergartskomplekset har størst mektighet og er best studert på Avalon-halvøya på Newfoundland hvor følgende enheter opptrer (disse er vist skjematisk i Fig.5).

Eldst er en ca 2 km mektig og svakt metamorfosert vulkansk serie, deretter følger granodioritt-intrusjoner (signatur 2 på kartet) og derover finkornige sedimenter rike på vulkansk materiale (opptil 3 km mektige).

Innleiret i disse vulkanske sedimentene opptrer tillitter, antagelig svarende til Varanger-istiden. De er tolket som dannet av droppmateriale fra flytende is.

I følge Hughes og Brückner (1971) representerer disse tre gruppene henholdsvis vulkanske øybuer, hypabyssiske intrusjoner under disse øyene og sedimentering av vulkanrikt klastisk materiale på bratte skråninger langs tilgrensende dype bassenger.

Disse tre enhetene er overleiret av normale klastiske sedimenter (opptil 5 km mektige) bestående av mørke skifre som går over i røde arkoser og med kvartsitt øverst (100 m mektig), som igjen er overleiret av kambriske lag. Denne klastiske sedimentserien gjenspeiler både erosjon av de vulkanske øyene og av krystalline bergarter i vest.

De her nevnte kambriske lag over kvartsitten hviler en rekke steder på ulike typer eldre bergarter med en vinkeldiskordans. Dette indikerer en orogen fase før avsetningen av de kambriske lagene, noe også en metamorfosealder på 550-640 mill. år gjør. Forholdene her kan svare til den cadomske orogenese i Northwest-Frankrike.

Aldersdateringer har vist at de vulkanske øyene ble dannet for ca 750 mill. år siden, altså i over-rifeisk tid, mens granodiorittene er overveiende av vendisk alder, ca 530-600 mill. år gamle.

De bergartene som her er omtalt fra Avalon-halvøya, og som fortsetter i et belte videre sydvestover, synes å gjenspeile en vulkansk øyrekke flankert av opprinnelige dype bassenger dannet i senprekambrisk tid. Det har vært antatt av flere, bl.a.

Williams (1964) at disse bergartene dannet den sydøstlige kanten av den appalachiske geosynklinal, men i lys av kontinentaldrift-rekonstruksjoner i Atlanterhavsregionen, synes disse øybuer å være dannet i de sentrale deler av den appalachiske geosynklinal eller av et proto-Atlantisk osean. Den sydøstlige begrensningen av denne geosynklinalen burde derfor være å søke i de nordvestlige deler av det Afrikanske prekambriske skjold (Rodgers 1972).

I denne forbindelse skal nevnes at eokambriske tillitter inngår i lagrekker i Marokko, hvor vulkanitter utgjør en vesentlig del av den lavere del av lagserien, mens kalk og dolomitter opptrer i de øvre deler under tillitten. Den nordøstlige forlengelse av bergartene på Avalon-halvøya kunne tenkes å være representert ved de foran nevnte basiske bergarter i Wales, samt i ekvivalente avsetninger i sydøstre Irland.

Forholdene på Spitsbergen og på Grønland viser at den kaledonske geosynklinal med sine mektige geosynklinale sedimenter ble anlagt før sparagmittgruppens lagrekke ble avsatt i sydlige Norge og i Sverige. Det proto-Atlantiske osean kan ha startet en gang i intervallet for 570-800 mill. år siden - altså i over-rifeisk tid.

Ut fra de data som man idag har over senprekambriske - eokambriske bergarter rundt Nord-Atlanteren kan antagelig flere forskjellige "modeller" konstrueres for palaeogeografien på den tid. Enkelte hovedtrekk ved dette bildet synes imidlertid nå å ta form.

Etterat de orogene faser i det vesentlige var avsluttet som gav opphavet til de krystalline bergartene innen de prekambriske plattformene slik vi idag finner de rundt Atlanterhavet, må det ha funnet sted en oppbrytning av et større kontinent, det som ble vist i Fig.2.

Den østlige begrensningen av kontinentet i vest må ha gått umiddelbart sydøst for de nevnte antiklinoria (Rodgers 1972). Disse strukturer kan skyldes oppbuling av kanten av dette kontinent ved tektoniske bevegelser i Paleozoisk tid. Mot nord fortsetter denne strukturlinjen langs østsiden av Grønland.

Kontinentet i øst må ha hatt sin vestlige begrensning utenfor vestkysten av Skandinavia, over eller øst for De Britiske øyer og videre sydover langs vestkysten av Afrika. I det ekspanderende proto-Atlantiske osean - som antagelig startet mere enn 100 mill. år før Kambrium - kan det ha blitt dannet en oseanbunn bestående av basalt som trengte frem langs en midt oseanisk rygg. Rester av denne ryggen finnes langs sydøstsiden av Appalachene, representert ved bergartene på Avalon-halvøya, Newfoundland, og muligens i Wales og i Irland. Dens nære plassering til det Amerikanske kontinent idag skyldes at det dannede osean med sine vulkanske og klastiske sedimenter ble sammenpresset i paleozoisk tid. Langs kanten av kontinentene ble det dannet en rekke bassenger - antagelig for en stor del forkastningsbetingete, slik vi finner de i Skandinavia og tildels langs nordvestsiden av Appalachene. Disse bassengene mottok tykke mengder av klastiske terrigene sedimenter fra de krystalline kontinentene.

Langs de marginale deler av kontinentene, altså ut mot dypt vann, ble store mengder med klastisk materiale avsatt og dannet sannsynligvis en kontinental plattform, med et grunt shelf-område og kontinentalskråning.

Avsetningene langs nordvestsiden av Appalachene kan delvis være av slik opprinnelse (Rodgers 1972), det samme gjelder endel avsetninger på Øst- Grønland og deler av Torridonian på de Britiske øyer, samt lagrekken i Finnmark knyttet til det østlige kontinent.

Imellom kontinentene og den midt-oseaniske ryggen ble så mektige geosynklinale klastiske sedimenter og vulkanske avleiringer avsatt, - Spitsbergen har kanskje hatt en slik plassering samt de østlige deler av Grønland. Avsetninger knyttet til minst to hovedglasiasjoner karakteriserer de øvre deler av disse lagrekkene mange steder.

Til slutt skal nevnes at lagrekken nordligst i Finnmark ifølge A. Siedlecka (1973), kan knyttes sammen med mellom og over-rifeiske, samt med vendiske sedimenter videre sydøstover langs den nord-østlige skråningen av det fennoskandiske skjold og den Russiske plattform. Disse sedimentene er avsatt i et NV-SØ orientert basseng som i russisk litteratur betegnes den Timaniske aulakogen, et sedimentært basseng genetisk beslektet med og som grener av fra den pre-Uralske geosynklinale. Dette basseng ble antagelig dannet samtidig med det proto-Atlantiske osean, men synes å ha blitt oppfylt og avsnørt fra dette i vendisk tid. Sedimentene i bassenget ble deformert, metamorfosert og gjennomført av gabbroide bergarter ved den Baikalske orogenese forut for kaledonske orogene bevegelser.

De senprekambriske - eokambriske lagrekker som her er omtalt fra områdene rundt Nord-Atlanteren gjenspeiler både betydelig tektonisk uro og store klimaendringer på den tid. Tidsperioden som disse sedimentene ble avsatt i synes å representere en urolig og variert tid av jordens historie.

Litteraturliste.

- Bassett, D. A. 1963: The Welch palæozoic geosyncline: A review of recent work on stratigraphy and sedimentation. I: The British Caledonides. s. 35-60. Redaktører M.R.W. Johnson og F.H.Stewart. Oliver & Boyd. Edinburgh - London.
- Birkelund, T., Perch-Nielsen, K., Bridgwater, D. & Higgins, A.K. 1973: An outline of the geology of the Atlantic coast of Greenland. I: The ocean basins and margins, vol.2., s.125-159. Redaktører A.E.M.Nairn og F.G.Stehli.
- Birkenmajer, K. 1959: Report on the Geological Investigations of the Hornsund Area, Vest-Spitsbergen, in 1958. Part I. The Hecla Hoek Formation. Bull. Acad. polon. Sci. Sér. chim. géol. geog., vol.7, nr.2. s.129-136.
- Bjørlykke, K. 1967: The Eocambrian "Reusch Moraine" at Bigganjargga and the Geology around Varangerfjord, Northern Norway. Norges Geol.Unders. 251. s.18-44.
- Brøgger, W.C., 1900: Norges geologi. I: Norge i det 19.aarhundrede. I. s.1-32. Kristiania.
- Haller, J., 1971: Geology of the East Greenland Caledonides: Interscience, London, 413 s.
- Harland, W.B., 1963: Evidence of Late Pre-Cambrian glaciation and its significance. I: Problems in Palaeoclimatology (Proc.NATO Palaeoclimates Conference, Newcastle, Jan.1963) s.119-149. Redaktør A.E.M.Nairn. Interscience, London. 530 s.
- Harland, W.B., Wallis, R.H. & Gayer, R.A. 1966: A Revision of the Lower Hecla Hoek Succession in Central North Spitsbergen and Correlation Elsewhere. Geol.Mag., vol.103, nr.1. s. 70-97.

- Harland, W.B., 1974: The Pre-Cambrian - Cambrian boundary.
I: Cambrian of the British Isles, Norden, and Spitsbergen.
 s.15-42. Redaktør C.H.Holland. John Wiley & Sons. London -
 New York - Sydney - Toronto.
- Holte dahl, O. 1939: Correlation notes on Scottish - Norwegian
 Caledonian geology. Norsk geol. Tidsskrift., nr.19,
 s.326-339.
- Holte dahl, O. 1961: The "sparagmite formation" (Kjerulf) and
 "Eocambrian" (Brøgger) of the Scandinavian Peninsula.
 Symp.XX. Congr.Geol.Intern.part.III.s.9-43. Moskva.
- Hughes, C.J. & Brückner, W.D.1971: Late Precambrian rocks of
 eastern Avalon Peninsula, Newfoundland - a volcanic
 island complex. Canadian Jour.Earth.Sci.vol.8. s.899-915.
- Johnson, M.R.W. 1965: Torridonian, Moinian og Dalradian. I:
 The geology of Scotland. s.79-156. Redaktør G.Y.Craig.
 Oliver & Boyd. Edinburg - London.
- Menchikoff, N. 1949: Quelques traits de l'histoire géologique
 du Sahara occidentale. Ann. Hébert et Haug, vol.7, s.303.
- Ramsay, J.G. & Spring, J. 1963: Moine stratigraphy in the western
 Highlands of Scotland. Proc.Geol.Ass.Lond.,vol.73, s.295-
 326.
- Reusch, H. 1891: Skuringsmerker og morenegrus eftervist i
 Finnmarken fra en periode meget eldre end"istiden"
 Norges Geol.Unders.Årbok 1891,s.78-85, s.97-100.
- Rodgers, J. 1972: Latest precambrian (post-Greville) rocks of
 the Appalachian Region. American Journal of Science,
 vol.272. s.507-520.
- Semikhatov, M.A. 1966: The suggested stratigraphic scheme for the
 Pre-Cambrian. Izvestiya Akademia Nauk. S.S.S.R. Series
 Geological, no.4, s.70.

- Siedlecka, A. & Siedlecki, S. 1967: Some new aspects of the geology of Varanger Peninsula (Northern Norway), Preliminary report. Norges Geol. Unders. 247, s.288-306.
- Siedlecka, A. 1973: Late Precambrian stratigraphy and structure of the northeastern margin of the Fennoscandian Shield (East Finnmark - Timan Region). Foredrag på oljekonferanse ved Universitetet i Bergen, des. 1973.
- Sokolov, V.N., Krasiltchikov, A.A. & Livshitz, Ju.Ja. 1968: The main features of the tectonic structures of Spitsbergen. Geol.Mag.vol.105, nr.2, s.95-115.
- Spencer, A.M. 1971: Late Pre-Cambrian glaciation in Scotland. Memoirs of the Geological Society of London, no.6. 100 s.
- Stewart, A. 1962: On the Torridonian sediments of Colonsay and their relationship to the main outcrop in North-west Scotland. Liverpool - Manchester geol.Journ., vol.3 s. 121-155.
- Stewart, A. 1962. Greywacke sedimentation in the Torridonian of Colonsay and Oronsay. Geol.Mag., vol.99, s.399-419.
- Sturt, B.A. 1961: The geological structure of the area south of Loch Tummel. Quart.Jour.geol.Soc.Lond., vol.117, s.131-156.
- Størmer, L. 1967: Some aspects of the Caledonian geosyncline and foreland west of the Baltic Shield. Quart.Jour.geol. Soc.Lond., vol.123. s.183-214.
- Williams, H. 1964: The Appalachians in northeastern Newfoundland - a two-sided symmetrical system. Am. Jour. Sci., vol.262, s.1137-1158.
- Wilson, C.B. & Harland, W.B.1964: The Polarishreen Series and other evidences of Late Pre-Cambrian Ice Ages in Spitsbergen. Geol.Mag., Vol.101, nr.3, s.198-219.

NOEN TREKK VED GRÅVAKKE SANDSTEINER
OG DERES DANNELSESMÅTE

Av

Jens-Olaf Englund

Betegnelsen gråvakke har vært gjenstand for mange nyanserte deffinisjoner. En oversikt over problemet med å deffinere gråvakke ble gitt av Dott (1964) og av Pettijohn, Potter og Siever (1972). Betegnelsen ble innført så tidlig som i 1789 av Lasius og anvendt på mørke tatte Paleozoiske sandsteiner i Harz området i Tyskland. Betegnelsen ble her benyttet som en feltbeskrivelse. Ifølge Cummins (1962) er en gråvakke en type sandstein bestående av sandkorn med forskjellig størrelse, som er bundet sammen av leire-skifer som gir bergarten dens grå farge og fasthet. Denne deffinisjonen er i overensstemmelse med en tidlig beskrivelse av den opprinnelige gråvakke-sandsteinen fra Harz i Tyskland, gitt av Naumann (1858), og er dessuten i overensstemmelse med bruken av betegnelsen gråvakke slik de fleste geologer har anvendt denne betegnelsen i de siste 150 år. En mørk finkornig matrix hvori sandkornene er plassert er altså en karakteristisk egenskap ved gråvakkene.

Betegnelsen sandstein knytter seg, som kjent, til kornstørrelsesgrenser, og de grenser for sand som idag er vanlig akseptert av sedimentologer er en nedre grense på 1/16 mm, og en øvre grense på 2 mm.

En rekke klassifikasjonssystemer for terrigene sandsteiner er blitt utarbeidet og ved hjelp av disse kan en karakterisere gråvakkene kvantitativt i relasjon til andre typer sandsteiner. I tidsrommet 1940-1968 ble det publisert ikke mindre enn 20 forskjellige klassifikasjonsskjemaer på engelsk og et mindre antall på andre sprog (Chen 1968). Et av de siste forslagene er blitt presentert av Pettijohn, Potter og Siever (1972 s.158), basert på et tidligere utarbeidet system av Dott (1964, Fig.3). Dette systemet skiller mellom ren sand(arenitter) med mindre enn 15 % matrix, og urene sandsteiner, (wackene), med mere enn 15 % matrix. Blant petrografer er det imidlertid en viss uenighet om hvor den øvre grensen for kornstørrelsen på matrix bør settes. I Wentworth's (1922) skala ble grensen satt ved 4 μ (=1/256 mm) De fleste setter grensen høyere som ved 20 μ , 30 μ , 50 μ eller 62,5 μ . Også den mengde matrix som skal inngå i en sandstein for å kunne kalle den en gråvakke varierer noe med de ulike forfattere, men minimumsverdier på 15-20 % er vanlige.

Det er imidlertid en klar sammenheng mellom kornstørrelse og sammensetning i terrigene sandsteiner. Mengde leire øker gjerne med avtagende kornstørrelse mens mengde observerbar polykrystallin kvarts og bergartsfragmenter tiltar med økende kornstørrelse. Betydningen av å trekke inn klastisk matrix som en komponent ved klassifikasjon av sandsteiner er fremhevet av flere, som Krynine (1948) og Pettijohn (1954). I 1957 benyttet Pettijohn denne parameteren som en index på fluiditet av det transporterende medium nær beslektet med transportmekanismen for en turbidity current med stor tetthet av leire i suspensjon.

Ifølge det forannevnte klassifikasjonssystemet til Pettijohn, Potter og Siever (1972, s.158) hører gråvakkene hjemme i gruppen wacke sandsteiner, dvs. de fører mer enn 15 % matrix hvis øvre kornstørrelsesgrense er lik 30 μ .

Gråvakker er kjent fra eldste prekambrium til tertiær. De opptrer typisk i geosynklinale områder, med eller uten assosierte vulkanitter. De er den mest karakteristiske sandsteinstype i eugeosynklinale belter hvor de er assosiert med pute-lavaer og grønnsteiner (Turner og Verhoogen, 1960 s. 270). Slike sandsteiner er imidlertid også kjent fra en rekke miogeosynklinale soner mange steder i verden. Enkelte tuff-lag kan forekomme her, men ingen utbredt submarin vulkanisme. Gråvake-sandsteiner opptrer karakteristisk i orogene belter av Alpin type og mangler i lagrekker avsatt på stabile plattformer. De kan imidlertid også inngå i forkastningsbetingete bassenger dannet på slike plattformer. Deres opptreden i mektige lagrekker er alltid i de stratigrafisk lavere deler, som gjerne ble avsatt på dypt vann. Og de er stratigrafisk ofte overliret av sedimentær som gradvis viser tiltagende gruntvannskaraktter. Gråvakker er vanligvis marine, og viser ofte sedimentære strukturer som indikerer at de representerer turbiditt-avsetninger. De inngår som en vesentlig del av hva som gjerne kalles flysch facies. Imidlertid er ikke all flysch sandstein, selv de av turbiditt opprinnelse, gråvakker. Heller ikke er all sandstein i orogene belter gråvakker, men gråvakker synes praktisk talt ikke å opptre utenfor slike belter. Betegnelsene flysch og gråvake er ikke synonyme. Den første angir en bestemt sedimentær facies og den andre en bestemt type sandstein.

Gråvakkene indikerer et spesielt tektonisk miljø. Deres begrensning vesentlig til geosynklinale områder og deres dominans i flysch og i eldre ekvivalente enheter indikerer at de for en stor del er turbiditt avsatt.

Selvom det er mange komplekse og ukjente trekk ved "turbidity current" teorien, er der for tiden ingen bedre teori som kan forklare en rekke karakteristiske trekk ved disse sedimenttyper. Mange flysch- og gråvake-lagrekker viser en rytmisk gjentakelse av sandsteiner og skifre. Et sandsteinslag med dens overliggende finkornige sedimenter blir vanligvis referert til som en rytmisk enhet, skjønt de episoder som produserte hver enhet var tilfeldig fordelt i tid.

En rekke forfattere har registrert tilstedeværelsen av større cycliske eller rytmiske enheter i slike lagrekker, bestående av mange lag. En av disse typene er karakterisert ved plutselig opptreden av grovkornige og tykke lag, den annen type ved en gradvis opptreden av slike lag. I begge tilfeller indikerer disse enhetene økende erosjon i kildeområdene som følge av økende og gradvis gjentakende tektonisk aktivitet. De vertikale variasjoner som kan observeres i komplette ideelle rytmiske turbiditt-enheter er skjematisk fremstilt i Fig.1.

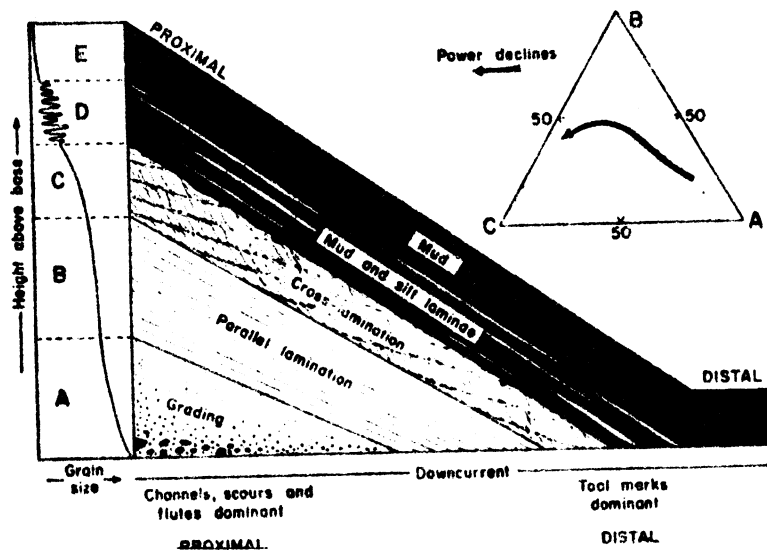


Fig.1. Vertikale og laterale variasjoner i ideelle turbiditt avsatte lag. Etter Allen (1970, s.205).

En komplett utviklet turbiditt-enhet består av de 5 delene betegnet A-E i Fig.1, slik de ble presentert av Bouma (1962). Delene A til C representerer den groveste del av enheten, varierende fra middels til grov sand, med enkelte konglomeratlag i del A via finsand med noe silt i del B og til finsand - silt i del C. Delene D og E er dominert av silt og leire. Også horisontalt i strømrretningen langs bunnen av avsetningsbassenget opptrer de 5 delene A-E. Lengdeskalaen assosiert med den horisontale trenden i slike turbiditt-enheter er mye mere usikker enn de vertikale variasjonene. Antagelig skjer forandringer horisontalt på strekninger mellom noen få ti-talls kilometer og til noen hundre kilometer, avhengig av sedimentasjonsbassenget, ifølge Allen (1970 s.205).

Enheten A er massiv og vanligvis uten indre lagdeling, men gradert lagning er karakteristisk. Den kan være opptil flere decimeter tykk. Målinger har vist at jo tykkere laget er jo grovere er materialet. Store skiferfragmenter kan opptre. Det er vanlig å tolke denne enheten som avsatt av en strøm med stor strømstyrke.

De overliggende enhetene er adskillig tynnere enn A og sjelden over 50 cm tykke. Parallell laminering dominerer i del B, men gradering forekommer. I del C opptrer små skrålaminerte enheter, mens parallell-laminering dominerer i del D og E. I de tilfeller hvor gråvake-sandsteiner er tolket som turbiditt-avsatt inngår disse vesentlig i del A, men kan også høre hjemme i del B. I den utstrekning slike sandsteiner er turbiditt-avsatt representerer hvert lag en rask sedimentær begivenhet.

Det skal nevnes at sedimentære strukturer som gradert legning, lagdeling, asymetriske strømningsmerker, sammenbrettet laminering (convolute lamination), samt strukturer ved basis av sandlagene ikke er begrenset til gråvakkene, men er svært ofte knyttet til slike sandsteiner. Disse strukturer inngår ikke i deffinisjonen av gråvaker, men er av viktighet for å forstå avsetningsmiljøet for mange gråvaker.

Som det fremgår av Fig.1, vil strukturer ved basis av sandlagene, fremkommet av gjenstander som fulgte med strømmen ("tool marks"), - dominere over strukturer fremkommet ved erosjon av selve strømmen (flutes, channels, scours cl.) etterhvert som turbiditt-

lagene blir tynnere, det vil si i transportretningen for strømmen.

Som nevnt er et av de mest karakteristiske trekk ved gråvakke-sandsteiner det høye matrix-innholdet. Matrixen er dominert av en sammenvoksning av kloritt- illitt og kvarts-feltspat av silt-størrelse i eldre gråvakker, og av zeolitt og montmorillonitt i yngre bergarter. Ifølge deffinisjonen til Pettijohn, Potter og Siever (1972) skal mengde matrix i en sandstein være over 15 % for å kunne kalle den en gråvakke. I enkelte tilfeller er matrix-mengder på over 50 % blitt oppgitt i litteraturen for slike bergarter. Imidlertid har de Booy (1966) poengtert at på grunn av uklare korngrenser som følge av rekrystallisering er matrix-mengdene i gråvakke-bergarter vanligvis blitt overestimert. Han mener at matrix-mengden i mange typiske gråvakker ikke er mere enn noen få prosent.

Man har tidligere villet henføre det høye matrix-innholdet i gråvakker til selve transport- og avsetningsmekanismen, nemlig til "turbidity current" teorien. Det tradisjonelle bildet man har av en slik strøm er ifølge Kuenen og Menard (1952) slik: " I løpet av transporten vil kornene bli arrangert avhengig av deres hydrauliske størrelse: d.v.s. de største kornene vil etterhvert vise en relativ anrikning i den fremre delen av strømmen. Disse kornene beveger seg hurtigere og lengre enn deres mindre naboer. De største kornene vil imidlertid først sedimenteres og blir dermed innhentet av mindre korn som passerer videre. Dette vil føre til både en vertikal og en lateral gradering, slik det skjematisk er fremstilt i Fig.1".

Gradert lagning, deffinert ved en gradvis avtagen av kornstørrelsen innen et lag, kan vise mange varianter. Birkenmajer (1958) har beskrevet ialt 32 typer. De aller fleste lag viser enten en jevn avtagen i kornstørrelsen fra basis til topp, eller en gjentakende gradering innen et gråvakke-lag. Innvers gradering i deler av slike lag er imidlertid ikke ualminnelig. Strømforholdene kan altså variere noe forskjellig i ulike typer av turbiditt-avsatte gråvakke-lag.

Studier over sedimentasjonshastigheter fra eksperimentelt dannede "turbidity currents", med et strømningsbilde som nevnt ovenfor, viser imidlertid at forholdsvis lite leirmatrix avsettes sammen

med sandfraksjonen. Allerede i 1966 konkluderte Kuenen med, både ut fra teoretiske betraktninger over sedimentasjonshastigheter og bassert på laboratorieeksperimenter, at mengde matrix i turbiditt-avsetninger primært må være godt under 10 % i de mest grovkornige avsetninger, del A i Fig.1. Imidlertid opptrer der ulike typer av gravitative massebevegelser i flysch-gråvakkedassenger, avhengig av kohesjonen i sedimentet. En sliding-slumping bevegelse kan ved økende turbulens gå over i en "turbidity current", men slike bevegelser vil vanligvis ikke bedre sorteringen i et utgangsmateriale i samme grad som det en turbidity current kan gjøre. Det knytter seg imidlertid stor usikkerhet til tolkningen av en komplett turbiditt-enhet som vist i Fig.1, og diskusjonen dreier seg vesentlig om transport og avsetningsmekanismene for en "turbidity current". Sanders (1965) tolkning av en slik komplett enhet er at materialet i den undre graderte gråvake-sandsteinen ikke, eller kun delvis, ble transportert i suspensjon og at rulling og sklidning langs bunnen, lag av korn som flyter på hverandre, sliding m.m. dominerte transportbildet. Men også slike transportmekanismer synes å føre til at relativt lite finmateriale avsettes sammen med sand og grus. Derimot kan relativt store skiferflak avsettes sammen med dette grove materialet.

Som fremhevet av Cummins (1962) og Hubert (1964, s.776) er tertiære og recente turbiditt-avsetninger oftest fri for klastisk matrix i motsetning til eldre turbiditt-avsetninger.

I Fig. 2 til venstre er vist mengde matrix i turbiditt-gråvaker fra paleozoikum, kritt og eldste tertiær (miocene), mens høyre diagram viser turbiditt-avsetninger fra yngste tertiær (pliocene) Atlanterhavet og fra laboratorieeksperimenter (grov sand > 0,25mm, finsand 0,25-0,05 mm og matrix < 0,05 mm = 50 μ).

Tendensen til et høyt matrix-innhold i de eldre gråvakkene (venstre trekant) sammenliknet med det lavere innhold i de yngre gråvakkene (høyre diagram) fremgår tydelig. En viktig faktor som antagelig har influert på sedimentdannelsen i eldste paleozoikum og i eldre tider er mangel på flora i kildeområdene. Mangel på vegetasjon har sannsynligvis ført til økende erosjonshastigheter noe som kan ha ført til et høyt innhold av finmateriale i de "turbidity currents" som ble dannet i de tidsrom (Dzulynski og Walton 1965, s.29).

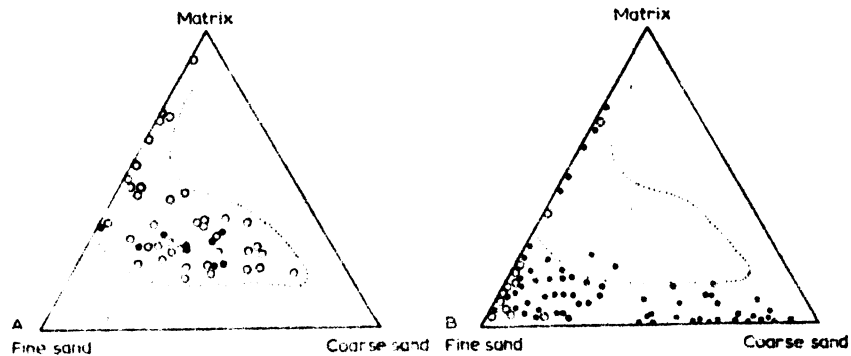


Fig.2. Forholdet mellom grovsand ($> 0,25$ mm), finsand ($0,25 - 0,05$ mm) og matrix ($\leq 0,05$ mm) i endel turbiditt avsetninger. Etter Cummins (1962). Forklaring, se teksten.

Sandfraksjonen i gråvakke-sandsteiner er vanligvis rik på kvarts, har varierende forhold mellom feltspat og bergartsfragmenter og fører vanligvis litt klastisk glimmer. Kvartskornene varierer endel både i størrelse og form, men er oftest ganske kantede og viser undulerende utslukning. Generelt synes kornenes rundhet å øke med økende kornstørrelse. Feltspaten er vesentlig sur plagioklas. Et høyt natrium-innhold er typisk for disse bergartene, noe som indikerer at feltspatene er nesten rene albitter. K-feltspat kan mangle helt eller være tilstede i meget små mengder (Bailey og Irwin 1959). Feltspatene er vanligvis friske, men endel fører inneslutninger av illitt, kloritt, epidot eller kalkspat. De siste to mineralene er muligens ofte et resultat av dekalciseringen av plagioklasene. I likhet med kvartskornene, er feltspatenes grenser ofte gjennomsatt av kloritt og illitt fra matrixen.

Bergartsfragmentene stammer vesentlig fra sedimentære og metamorfe kilder og består av leirstein, skifer, siltstein, fyllitt og glimmerskifer. Chert, mikrittisk kalkstein, polykrystallin kvarts og finkornig kvartsitt er også vanlig opptredende. Mange gråvakker fører fragmenter av finkornige eruptivbergarter. Gråvakker kan gradvis gå over i vannavsatte tuffer og tuffholdige sandsteiner. Typisk for endel gråvakker er at skiferfragmentene kan bli meget store, med lengder over 1 m.

Som vist av Cummins (1962) øker frekvensen av gråvakke-sandsteiner mot de eldre perioder av jordens historie (Fig.3 til venstre). Gråvakker dominerer i paleozoiske lagrekker (LP=undre paleozoikum, UP= øvre paleozoikum) mens sandsteiner med lite eller ingen matrix (<15 %), her angitt som arenitter, dominerer i mesozoikum og i tertiær (M= mesozoikum, T=tertiær).

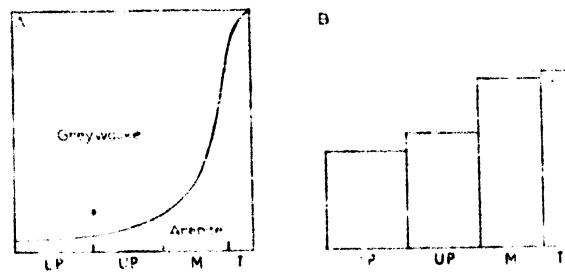


Fig.3. A. Forholdet mellom gråvakker og arenitter i relasjon til geologisk alder. B. Relasjonen mellom frekvensen av 12 ustabile mineraler og geologisk alder. Etter Cummins (1962). Forklaring, se teksten.

Også frekvensen av ustabile klastiske silikatmineraler avtar med økende alder, som vist i Fig.3, til høyre. Frekvensen av 12 ustabile mineraler er her frekstillt, med den laveste frekvens i undre paleozoikum (LP) og den høyeste frekvens i tertiær (T). Øvre paleozoikum (UP) og mesozoikum (M) viser intermediære frekvensverdier. Generelt mangler, eller opptrer i små mengder i eldre bergarter de mineraler som er minst stabile ved jordoverflaten, som eksempelvis pyroksener og amfiboler. Også den store variasjon i mineralsammensetning av hovedbestandelene i gråvakke-sandsteiner er avhengig av alderen (Fig.4). Etter Cummins (1962) viser paleozoiske gråvakker (midtre og øvre del av diagrammet i Fig.4) stor variasjon i forholdet kvarts, feltspat og bergartsfragmenter, mens gråvakker fra kritt- og tertiær faller nær linjen mellom feltspat og bergartsfragmenter (nedre horisontalt skraverte feltet i diagrammet).

Diagrammet viser at kvarts er et dominerende mineral i eldre gråvakker mens bergartsfragmenter og feltspat dominerer i de yngre gråvakkene.

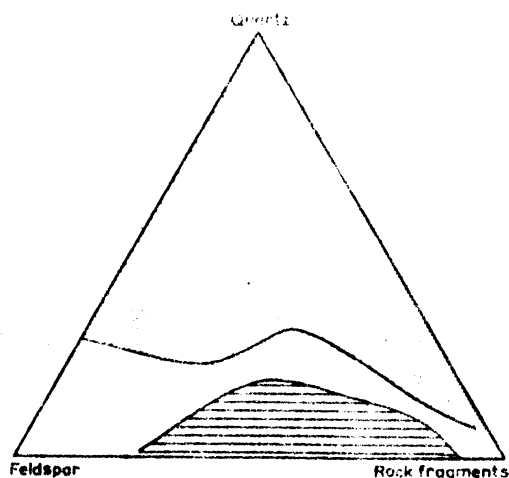


Fig.4. Sammensetningen av sandfraksjonen i endel gråvakker. Horizontal skravering: Kritt og tertiær, Prikking: Paleozoikum. Etter Cummins (1962).

De aller fleste beskrivelser av gråvakker viser at matrixen i slike bergarter vesentlig representerer rekrystallisert materiale. Cummins (1962) mener at all, eller nesten all matrix er et resultat av diagenetiske prosesser. Eksperimenter som understøtter ideen om at matrix kan dannes ved omvandling av bergartsfragmenter er utført av Hawkins og Whetten (1969). De viste at sandprøver fra Columbia River, U.S.A., som fører mye vulkansk materiale og som er lik gråvakkene i mineralogisk og kjemisk henseende, men fører for lite matrix materiale, dannet leirmineraller og zeolitter fra de vulkanske fragmentene ved 150-300°C og et vanntrykk på 1 kilobar i løpet av 21 til 60 dager. Dette svarer til en dybde med 3-4 km overleirede sedimenter. På slike dyp vil også porøsiteten av sedimentet være blitt betydelig redusert når man går ut fra en porøsitet på det opprinnelige sedimentet på opptil 50-60 %. Ifølge Meade (1964) er dette en rimelig utgangsporøsitet for en løst pakket leirholdig sandavsetn. En ny-orientering av leirpartikler og utskvisning av vann vil antagelig raskt redusere porøsiteten til 30-40 %, men på noen km dyp vil porøsiteten ikke være mere enn opptil noen få prosent. Porevannet vil her være saltholdig, og leirmineraller vil dermed kunne omdannes. De her nevnte laboratorieforsøk understøtter antagelsen om at matrixen i gråvakker ikke trenger å være rekrystallisert finfraksjon.

Som nevnt er gråvakker ofte overleiret av tykke lagserier. Det opprinnelige sandmaterialet blir ikke bare sammenpakket, men leirfragmenter som utsettes for omvandling blir også deformert og presset inn i porene mellom mer motstandsdyktige korn, og kan på denne måten danne matrix. Lovell (1969) som studerte tertiære gråvakker i Oregon, U.S.A. (Tyee-formasjonen) fant at forholdet mellom identifiserbare bergartsfragmenter og matrix avtok nedover i formasjonen. Betegnelsen "pseudomatrix" ble innført av Dickinson (1970) på denne ^{type} matrix. Han skiller forøvrig denne typen fra tre andre hovedtyper av matrix representert ved klastisk leire (protomatrix), rekrySTALLISERT finmateriale (orthomatrix) og endelig matrix dannet diagenetisk på bekostning av korn i sandfraksjonen (epimatrix).

En rekke observasjoner fra gråvakker har vist at "pressure solution", altså oppløsningsfenomener på kornkontakter, samt omvandling av labile bestanddeler som endel bergartsfragmenter og feltspat, alltid synes å inngå som viktige prosesser ved dannelsen av gråvakker.

Etter Pettijohn, Potter og Siever (1972), Fig.5, kan dermed ustabile og meget ustabile sandkorn gi matrix materiale etter avsetningen, enten direkte eller ved at de først går i oppløsning i porevannet hvorfra utfelling kan finne sted.

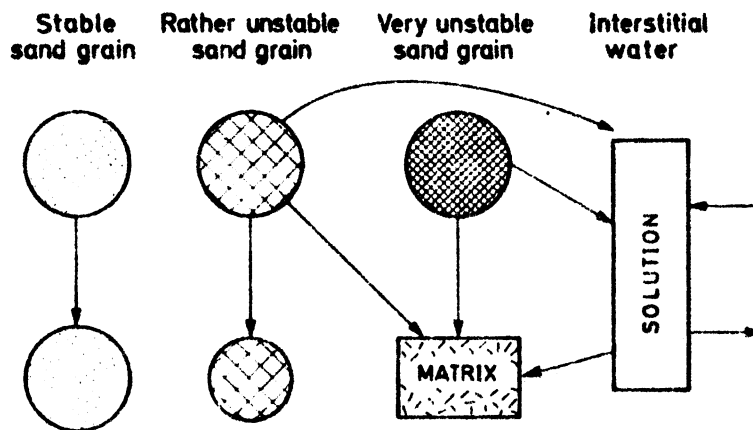


Fig.5 Skjematisk fremstilling av matrix dannelse i gråvakker etter avsetningen. Etter Pettijohn, Potter og Siever (1972).

Pettijohn, Potter og Siever (1972 s.211) trekker den konklusjonen at recente ekvivalenter til de matrix-rike eldre gråvakkene er umodne sandavsetninger med et høyt innhold av leirholdige og/eller vulkanske bergartsfragmenter, som avsettes i bassenger hvor de blir dypt begravet og hvor følgelig lavmetamorfose eller høydiagenese kan foregå.

Brenchley (1969), som studerte ordoviciske gråvakter fra Wales, konkluderte med at kalcitt-sementering beskyttet klastiske korn og hindret dermed dannelsen av matrix i enkelte lag, mens i andre lag, uten kalcitt-sement, ble bergartsfragmenter omvandlet til matrix. Eldre gråvakter, prekambriske og paleozoiske, fører karakteristisk lite eller ikke karbonat, mens mesozoiske og yngre gråvakter ofte kan ha et høyt innhold av karbonat-sement. Dette henger sannsynligvis sammen med store mengder pelagiske foraminiferrester, som kan observeres i turbiditt-avsetninger yngre enn kritt. Forandringer i labile mineral bestanddeler ved diagenese og lavmetamorfose er for en stor del overføring av vulkansk glass, montmorillonitt og plagioklas til kloritt-illitt og til mere albittisk plagioklas. Grim (1968) summerte opp mye av litteraturen angående diagenetiske endringer av leirmineraler. Viktigheten av mineralselskapet illitt-kloritt i matrixen av eldre gråvakter er fremhevet av flere, bl.a. Grim (1968). Foruten at disse mineralene kan representere klastisk materiale, antas de å være dannet av sedimenterte smektitter og andre leirmineraler dannet ved forvitring.

Slike mineralomvandlinger i sandsteiner og i skifre skjær i dypt begravete sedimenter og krever lang tid, og er knyttet til substitusjoner av K og Mg for Na og Ca i leirmineraler (Pettijohn, Potter og Siever 1972, s.431). Disse substitusjoner finner sted via porevannet i sedimentene og er del av en generell geokjemisk modningsprosess som disse sedimentene gjennomløper (Garrels m.fl.1971). Mange faktorer virker inn ved dannelsen av illitt-kloritt som: trykk, temperatur, bergartenes alder og porevannets kjemiske sammensetning. Den relative betydning av hver av disse faktorer er ifølge Pettijohn, Potter og Siever (1972,s.431) langt fra klarlagt.

Kjemiske data av gråvakte sandsteiner etter Pettijohn (1963) viser en overraskende homogen sandsteinstype. Uansett alder, uavhengig av en viss variasjon i deffineringen av denne bergarten og uansett hvor i verden de finnes, kan enkelte generelle kjemiske trekk

spores. I tabell 1 er oppstilt noen kjemiske gjennomsnittsverdier for gråvakker, bassert på data fra Pettijohn (1963).

Tabell 1. Noen kjemiske gjennomsnittsverdier for gråvakker (Pettijohn 1963) i vekt %:

Al_2O_3	=	13,13 %
Fe_2O_3	=	0,85 %
Fe 0	=	3,83 %
Mg 0	=	2,08 %
Na_2O	=	3,18 %
K_2O	=	1,76 %

I forhold til andre typer sandsteiner er gråvakkene rike på Al_2O_3 , jern, MgO og Na_2O . Det høye Na_2O -innhold gjenspeiler at feltspatene vesentlig består av albitt. MgO innholdet reflekterer mye kloritt i matrixen, noe også FeO-innholdet gjør. FeO dominerer over Fe_2O_3 og MgO dominerer gjerne over CaO, Na_2O dominerer over K_2O . Mange gråvakker har en total kjemisk sammensetning ofte lik granodioritter. Sand er normalt kjemisk differensiert fra sine kilder ved forvitring og sorteringsprosesser. Den kjemisk udifferensierte karakter av mange gråvakker indikerer at disse prosesser for det meste har vært ufullstendige.

Imidlertid må effekten av kornstørrelsen fremheves.

Finkornige gråvakker nærmer seg skifer i sammensetning. De mest grovkornige har det høyeste Na-innhold, hvilket tilskrives feltspaten (albitt) og ikke matrixen. Dette betyr at skal slike bergarter sammenlignes kjemisk eller mineralogisk bør de ha lik kornstørrelse.

Forskjellige forklaringer er blitt gitt på det høye Na_2O -innholdet i gråvakker (diskutert av Engel og Engel 1953, s.1086-1091).

Eksempelvis fører den over devonske - under karbonske Tanner gråvakkene i Tyskland i gjennomsnitt ca 3,5 % Na_2O . Denne mengden tilsvarer 30 % ren albitt, og modalanalyser av bergarten har vist et feltspatinnhold fra 30 til 40 %, hvorav 85-90 % har en sammensetning med An_{3-10} , - dette er i overensstemmelse med resultater fra mange steder på jorden som vist av Dzulynski og Walton (1965).

Feltspatene i gråvakkene sandsteiner er ganske sikkert overveiende klastiske. Spørsmålet er om feltspaten i det klastiske materialet

var opprinnelig albitt eller om dette skyldes senere omvandlinger. Turner og Verhoogen (1960, s.270) vil se dette problemet i sammenheng med dannelsen av spilitter, fordi gråvakke-bergartene ofte, men ikke alltid, er assosiert med spilitter. Der opptrer visse trekk som kan tyde på albittisering in situ. Uregelmessige partier av karbonat som hverken er klastiske eller fyller porerom som sement opptrer. Disse erstatter både klastiske korn og matrix og er tydelig et produkt fra etter avsetningen. Muligens har albittisering av feltspater gitt den nødvendige kalsium mengde for karbonatdannelsen, - kulldioksyd må stamme fra andre kilder.

Et spørsmål som reiser seg i denne forbindelse er hvorfor skifrene som er assosiert med gråvakkene ofte viser et normalt $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ forhold i motsetning til gråvakter (Fig.6).

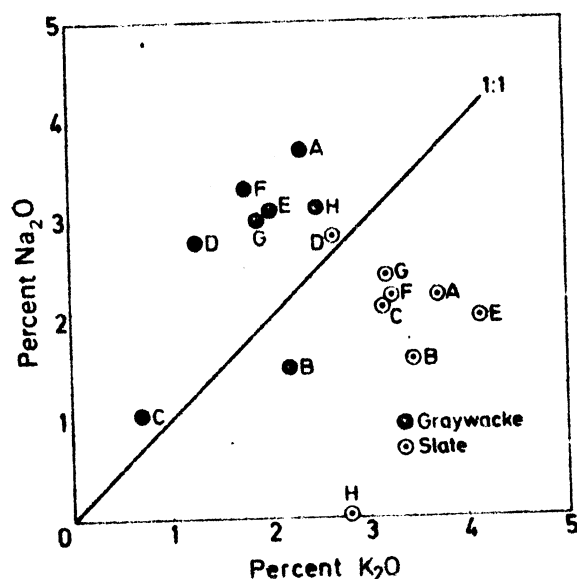


Fig.6 Diagram som viser $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ forholdet i endel gråvakter og i assosierte skifre. A, B: Mesozoikum, New Zealand. C, H: Prekambrium, Canada. C, D, E, F, G: Prekambrium, USA. Etter Pettijohn, Potter og Siever (1972).

Garrels, Mackenzie og Siever (1971) antar at det høye $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ -forholdet i skifrene delvis kan være en diagenetisk karakteristikk og gjenspeiler vekst av illitt på bekostning av montmorillonitt, blandsjiktmineraler og kaolin. K_2O havner i glimmerene, - altså i finfraksjonen, mens endel Na_2O kan tilføres sandfraksjonen hvor de havner i feltspatene. Dette fordi det er lite sannsynlig at det

opprinnelige sandmaterialet ble derivert fra albittrike kilder mens finmaterialet samtidig ble Na_2O -fattig som følge av utluting ved forvitringen.

Det har imidlertid vært hevdet at fravær av K-feldspat skyldes oppløsning av dette mineralet etter avsetningen og er intet primært trekk ved gråvakkene (Gluskoter, 1964, s.341).

Dette synes tvilsomt som en generell forklaring, men harmonerer med albittens og muskovittens stabilitet ved lave til moderate temperaturer.

Det høye $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ -forhold i gråvakter synes ikke å være avhengig av bergartenes alder. De forskjeller som finnes mellom enkelte gråvakter synes å måtte tilskrives forskjellige kildebergarter og ikke diagenetiske eller lavmetamorfe prosesser. Det er mulig at mengden av opprinnelig klastiske vulkanske fragmenter er viktigere enn andre faktorer til å bestemme gråvakte-bergarters alkali-metallforhold.

I en viss utstrekning gjenspeiler gråvakkene og arkosene forskjellige provinsområder. Arkosene, som etter systemet til Pettijohn, Potter og Siever (1972) fører mindre enn 15 % matrix, gjenspeiler en granittisk provins. Selvom granitt og beslektete bergarter er svært vanlige og utbredt i visse områder, gir de opphav til arkoser under relativt begrensede forhold. Gråvakkene derimot gjenspeiler flere typer av provinsområder, - det høye innhold av kvarts og feltspat i noen, andre med høyt innhold av lavmetamorfe bergartsfragmenter og endel med fragmenter fra vulkanske kilder - viser større variasjon i provinsområder enn arkosene. Som Shiki (1962, s.316) har antatt finnes det i det minste to hovedtyper av gråvakter som skilles ved deres ulike kildebergarter, - den ene typen er rik på feltspat og har derfor en plutonisk krystallin kilde, -den andre typen er de lithiske gråvakkene med en kilde dominert av suprakrustale bergarter, som ofte er tilfelle i eugeosynklinalene, hvor dessuten en høy tilblending av vulkansk materiale finner sted. En vanskelig faktor ved vurderingen av gråvakkene skyldes at de vesentlig representerer re-transporterte sedimenter. Detrituset ble antagelig først enten fraktet med elver - vesentlig store elver - som drenerte områder med varierende lithologi, eller materialet ble transportert langs kysten av havet. Den siste transport og avsetningsfasen for mange gråvakter skyldes så "turbidity currents".

Fordi gråvakkene er vesentlig marine sier de lite om klimaet i avsetningsmiljøet. På den annen side indikerer sandsteinen, i likhet med arkosene, et miljø hvor erosjon, transport og avsetning er så hurtig at gjennomgripende forvitring av materialet ikke har funnet sted. Arkoser kan dannes både under humide tropiske forhold og under aride eller arktiske klimaer, og det samme antas for gråvakkene. Det kan her nevnes de sen - tertiære gråvakkene fra nordvestre India som Krynine (1937) antok var avsatt under tropiske forhold, varierende fra savanne til prerie og steppeforhold.

Basert på en studie av gråvakk i Tyskland konkluderte Fischer (1933, s.339) med at disse var avsatt under forskjellige klimatiske betingelser.

Et høyt innhold av frisk feltspat og karboniserte fragmenter av trær i gråvakk fra øvre jura (Franciscan Formation) i California, USA., gjorde at Taliaferro (1943, s.139) trakk denne slutningen angående avsetningsbetingelsene; Et høyt, ujevnt og nylig hevet landområde med et ekstremt arid eller ekstremt kaldt klima, mye nedbør og muligens et kaldt klima i omgivende høyland med skogbevokste områder på flatene nedenfor.

Siden gråvakkene ikke er begrenset til prekambrium eller til før-devonsk tid er fravær av landplanter ingen nødvendig betingelse for deres dannelse, som antyd det av Kaiser (1932).

Idealiserte modeller av gråvakk-flysch bassenger har vært gitt av flere. Her skal vises en enkel modell hentet fra Vassoevic (1957), Fig.7.

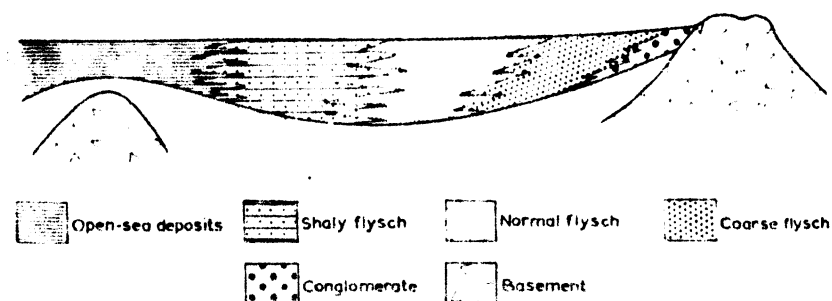


Fig.7. Regionale faciesvariasjoner i et gråvakk-flysch basseng, etter Vassoevic (1957).

Inne ved land (til høyre på figuren) opptrer gjerne konglomerater og grovkornete sandsteiner som kan vise skråsjiktning (conglomerate). Materialet her er bedre sortert enn de typiske flysch sandsteiner, men dårligere gradert. Deres dannelsesmåte er i mange tilfeller en mellomting mellom slumping-sliding og turbidity currents.

Lateralt utover i bassenget (mot venstre i figuren) opptrer så grovkornet "sandig flysch" (coarse flysch) hvor mengden av sandsteiner, for en stor del gråvakter, dominerer over tynne skiferlag. I en "normal flysch" (normal flysch) opptrer like mengder middelskornete sandsteiner som skifer, mens i en "skiferrik flysch" (shaly flysch) dominerer skifermateriale over sandsteiner, også her er sandsteinene ofte av gråvakketypen. Distalt opptrer finkornige pelagiske avsetninger i det åpne havet (open-sea deposits).

Endel forfattere har ment at gråvakkene gjenspeiler reduserende betingelser, kanskje til og med en reduserende atmosfære (Mac Gregor 1927), vesentlig p.g.a. det høye $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ forholdet i slike bergarter (Tabell 1). Eksistensen av paleozoiske og yngre gråvakter utelukker imidlertid betydningen av en reduserende atmosfære. De assosierte skifre har vanligvis ikke et unormalt høyt innhold av organisk karbon eller tidlig diagenetisk pyritt som skulle indikere sterkt reduserende betingelser.

Krynine (1937) har beskrevet mulige ikke-marine gråvakter, men det antas at mesteparten av disse sandsteinene har vært avsatt i marine bassenger hvor sedimentene kan vise regionale facies-variasjoner som vist i fig.7.

Foruten de typiske gråvakter som her er omtalt, kan andre typer av terrigene sandsteiner føre et høyt innhold av matrix materiale. Arkoser kan ha et matrix innhold på over 15 % og dette ledet Pettijohn, Potter og Siever (1972, s.158) til å innføre betegnelsen "arkosisk wacke" for slike bergarter. Denne sandsteinen skiller seg fra gråvakkene ved å føre K-feltspat som dominerende feltspat-mineral og ikke sur plagioklas. Dessuten er matrixen i en "arkosisk wacke" illitt eller kaolin dominert, og med lite eller ikke montmorillonitt eller klorittminerale. Arkoser med mye matrix er antatt å være enten residuale eller korttransportert. Matrixmengden er her vesentlig et resultat av nedbrytning av feltspater

ved forvitring eller ved diagenetiske prosesser.

K-feltspater brytes ved forvitring gjerne ned til illitt og kaolinitt (i arkoser), mens plagioklaser gir opphav til montmorillonitt og kaolinitt (i gråvakker) (Englund og Jørgensen 1973).

Som nevnt er gråvakker kjent fra eldste prekambrium til tertiær. Man har beregnet (Middleton 1960, Pettijohn 1963) at gråvakkene utgjør omtrent 1/4 til 1/5 av alle sandsteiner, men synes altså å øke i kvantitet i eldre bergartskomplekser. Ifølge Engel (1963) og Ronov (1964) tyder mye på at både gråvakker og arkoser øker spesielt mye i forhold til andre typer sandsteiner i de aller eldste bergartskomplekser på jorden - eldre enn 2,5 billioner år. Disse variasjoner gjenspeiler i første rekke at sedimenter avsatt i dype sedimentasjonsbassenger, som geosynklinaler og forkastningsbetingete bassenger, blir best bevart gjennom lange tidsperioder.

Gråvakker utgjør, som nevnt, viktige elementer av fjellkjeder mange steder på jorden. Etterhvert som vår viten om jordens historie vokser lærer vi også stadig mere om den nære forbindelse som eksisterer mellom tektonisk aktivitet og sedimenttyper. Samspillet mellom heving av landområder med etterfølgende erosjon, og innsynkning av bassenger med tilhørende sedimentering, gjenspeiles bl.a. i ulike typer sandsteiner. Gråvakker danner ingen unntagelse i så henseende, og studier av denne sandsteinstypen har i mange områder gitt verdifulle opplysninger til belysning av den geologiske historie.

Litteraturliste

- Allen, J.R.L. 1970: Physical processes of sedimentation.
248 s. George Allen and Unwin LTD. London.
- Bailey, E.H. & Irwin, W.P. 1959: K-feldspar content of Jurassic and Cretaceous graywackes of northern Coast Ranges and Sacramento Valley, California. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., vol.43. s. 2797-2809.
- Birkenmajer, K. 1958: Oriented flowage casts and marks in the Carpathian flysch and their relation to flute and groove casts. Acta. Geol. Polon., vol.8, s. 117-148.
- de Booy, T. 1966: Petrology of detritus in sediments, a valuable tool. Koninkl. Nederlandske Akad. Wetensch. Proc., Ser.B, vol.64. s.277-282.
- Bouma, A.H. 1962: Sedimentology of some Flysch Deposits. A Graphic Approach to Facies Interpretation. 168 s. Elsevier Publ. Co. Amsterdam - New York.
- Brenchley, P.J. 1969: Origin of matrix in Ordovician greywackes, Berwyn Hills, North Wales. Jour. Sed. Petrology, vol.39 s.1297-1301.
- Chen, Pei-Yuan 1968: A modification of sandstone classification. Jour. Sed. Petrology, vol.38, s.54-60.
- Cummins, W.A. 1962: The greywacke problem. Liverpool Manchester Geol.Jour., vol.3 s.51-72.
- Dickinson, W.R. 1970: Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. Jour.Sed.Petrology, vol.40, s.695-707.
- Dott, R.L., Jr.1964: Wacke, graywacke and matrix - What approach to immature sandstone classification? Jour.Sed.Petrology, vol.34. s.625-632.

- Dzulynski, S. & Walton, E.K. 1965: Developments in Sedimentology 7: Sedimentary Features of Flysch and Greywackes. 274 s. Elsevier Publ. Co. Amsterdam - London - New York.
- Engel, A.E.J. & Engel, C.G. 1953: Grenville series in the northwest Adirondack Mountains, New York. Geol. Soc. America Bull., vol.64, s.1013-1097.
- Engel, A.E.J. 1963: Geologic evolution of North America. Science, vol.140, s.143-152.
- Englund, J.O. & Jørgensen, P. 1973: A chemical classification system for argillaceous sediments and factors affecting their composition. Geol.Førh.Stockholm Førh.,vol.95, s.87-97.
- Fischer, G. 1933: Die Petrographie der Grauwacken. Jahrb. Preuss. geol.Landesanstalt, vol.54, s.320-343.
- Garrels, R.M., Mackenzie, F.T. & Siever, R. 1971: Sedimentary cycling in relation to the history of the continents and oceans. I: The nature of the solid earth. s.93-121. Redaktør E.C.Robertson. Mc Graw - Hill. New York.
- Gluskoter, H.J.1964: Orthoclase distribution and authigenesis in the Franciscan Formation of a portion of western Marin County, California. Jour. Sed. Petrology, vol.34. s.335-343.
- Grim, R.E. 1968: Clay mineralogy (2 nd Ed.).596 s. McGraw - Hill. New York.
- Hawkins, J.W. & Whetton, J.T. 1969: Graywacke matrix minerals. Hydrothermal reactions with Columbia River sediments. Science, vol.166. s.868-870.
- Hubert, J.F. 1964: Textural evidence for deposition of many western North-Atlantic deep-sea sands by ocean-bottom currents rather than turbidity currents. Jour.Geol.,vol.72. s.757-785.

- Kaiser, E. 1932: Der Grundsatz des Aktualismus in der Geologie. Zeitschr. deutsch. geol. Gesell., vol.83. s.401-402.
- Krynine, P.D. 1937: Petrography and genesis of the Siwalik Series. Am.Jour.Sci., vol.34. s.422-446.
- Krynine, P.D. 1948: The megascopic study and field classification of sedimentary rocks. Jour.Geol., vol.56. s.130-165.
- Kuenen, P.H. & Menard, H.W. 1952: Turbidity currents, graded and non-graded deposits. Jour.Sed.Petrology, vol.22. s.83-96.
- Kuenen, P.H. 1966: Matrix of turbidites Experimental approach. Sedimentology, vol.7. s.267-297.
- Lasius, G. 1789: Beobachtungen im Harzgebirge. s.132-152, Helwing. Hannover.
- Levell, J.P.B. 1969: Tye formation: a study of proximity in turbidites. Jour.Sed.Petrology, vol.39. s.935-953.
- MacGregor, A.M. 1927: The problem of the Precambrian atmosphere. South Africa Jour. Sci., vol.24. s.155-172.
- Meade, R.H. 1964: Removal of water and rearrangement of particles during the compaction of clayey sediments - a review. U.S. Geol. Survey, Prof.Paper, vol.497 B. 23 s.
- Middleton, G.V. 1960: Chemical composition of sandstones. Geol.Soc. America Bull, vol.71, s.1011-1026.
- Naumann, C.F. 1858: Lehrbuch der Geognosie, vol.1. 960 s. Engelman. Leipzig.
- Pettijohn, F.J. 1954: Classification of sandstones. Jour.Geol., vol.62, s.360-365.
- Pettijohn, F.J. 1957: Sedimentary rocks (2.nd Ed.). 718 s. Harper. New York.
- Pettijohn, F.J. 1963: Chemical composition of sandstones - excluding carbonate and volcanic sands. I: Data of Geochemistry (6 th.Ed.). U.S.Geol.Survey.Prof.Paper 440 S. 19 s.

- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. & Siever, R. 1972: Sand and Sandstone. 618 s. Springer-Verlag. Berlin - Heidelberg - New York.
- Ronov, A.B. 1964: Common tendencies in the chemical evolution of the earth's crust, ocean, and atmosphere. Geokhimiya, vol.8. s.715-743.
- Sanders, J.E. 1965: Primary sedimentary structures formed by turbidity currents and related resedimentation mechanism. Soc.econ.paleontologists and mineralogists. Spec.Publ.12. s.192-219.
- Shiki, T. 1962: Studies on sandstones in the Maizuri Zone, southwest Japan. III. Graywackes and arkose sandstone in and out of the Maizuri Zone. Kyoto Univ., Mem. Coll. Sci., Ser.B, vol.29. s.291-324.
- Taliferro, N.L. 1943: Franciscan - Knoxville problem. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., vol.27, s.109-219.
- Turner, F.J. & Verhoogen, J. 1960: Igneous and metamorphic petrology. 694 s. McGraw-Hill. New York.
- Vassoevic, N.B. 1957: Flysh i tektonicheskaia obstonovka ego otrazovaniia. Intern.Geol.Congr.20 th. Mexico 1956, Rept.5. s.303-304, 327-343.
- Wentworth, C.K. 1922: A scale of grade and class terms for clastic sediments. Jour.Geol., vol.30. s.377-392.

