

Dolomit: Et kalcium-magnesium-karbonat-mineral ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), som ofte findes i karbonatbjergarter.

Formation: Den grundlæggende formelle enhed i geologisk kortlægning.

Gruppe: En gruppe er en overordnet enhed, der består af 2 eller flere formationer.

Hiatus: Tidsrum med manglende sedimentære aflejringer. I en lagserie vil en hiatus være markeret ved brud i lagserien (som f.eks. at det mangler lag på grund af at sedimentationen er ophørt, eller ved at lag er fjernet ved erosion før de yngre lag blev aflejret).

Karbonater: Her betegnelse for bjergarter bestående fortrinsvis af karbonatminerale.

Klastisk: En klastisk bjergart består af brudstykker fra allerede eksisterende materiale. Sandsten er et eksempel på en klastisk bjergart.

Kraton: Er en meget stor strukturel enhed af jordens skorpe, der består af mægtige enheder af primært magmatiske og metamorfe bjergarter.

Ooliter: Små runde sedimentkorn, der er opstået ved ansamling af materiale omkring en oprindelig kerne. Ansamlingerne kan være koncentriske (altså med cirkulære tværsnit) eller radiale eller en kombination.

Palæokontinent: Palæo af gr. 'gammel' + kontinent. Altså et gammelt kontinent..

Parautochton: (gr. 'nær autochton'). Bruges om bjergarter som kun er flyttet en beskeden strækning, f.eks. ved forkastninger.

Regression: Tilbagestrækning af havet i forbindelse med en havniveausænkning og/eller en landhævning.

Siliciklastisk: Betegnelse for sedimentær bjergart, der består af korn (klaster) der stammer fra nedbrydning af silikatholdige bjergarter.

Silt: kornstørrelse fra 1/256 – 1/16 mm.

Stromatolitter: En karakteristisk lagdelt, tuelignende eller søjleformede struktur, dannet ved at en 'algekoloni' (cyanobakterier) vokser og binder nye slamlag. Egentlig er stromatolitter en mellemting mellem fossiler og sedimentære strukturer. I dag dannes de få steder på Jorden primært i tidevandszonen i lavvandede havområder (f.eks. Shark Bay, Australien).

Supergruppe: En supergruppe er den overordnede enhed, der indeholder 2 eller flere grupper.

Thrombolitter: Ikke-laminerede stromatolitter med et karakteristisk 'klumpet' udseende.

Tillit: Hærdnet till (till blev tidligere kaldt moræne).

Transgression: Fremtrængning af havet ind over kontinentet i forbindelse med en havniveaustigning og/eller en bassinindsynkning.

VARV

NR. 4

BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER

2003



NORDØSTGRØNLAND

SEN PRÆKAMBRISK TIL TIDLIG PALÆOZOISK

BASSINUDVIKLING

Forsidebillede: *Lauge Koch's ekspeditionshytte på Ella Ø.*

Forfatterens kontaktperson: Svend Stouge, GEUS, Østervoldgade 10, 1350K

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 Foug, Jakob Winther, 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.

Til VARVs danske abonnenter:

Betaling for 2204 sker på de indlagte girokort. Det er vigtigt, at der på kortene er anført fuldstændig navn og adresse og helst også abonnementsnummer (det andet tal i adressen). Udenlandske abonnenter får tilsendt et girokort.

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.

TRANSGRESSION OG REGRESSION

Transgressive og regressive lagpakker afgrænset af unkonformiteter, dvs. flader dannet på grund af erosion eller manglende sedimentation, opbygger de fleste lagpakker i sedimentationsbassiner på kratonet og ved kontinent-talranden. Større unkonformiteter inddeler den stratigrafiske lagserie i velafgrænsede lagpakker, som også kendes som sekvenser

De fleste større unkonformiteter menes at være dannet af tektoniske eller eustatiske (knyttet til havniveauændringer) begivenheder i storskala.

I Nordamerika er kendt to store transgressive-regressive sekvenser fra Nedre Palæozoikum. De kendes som 'Sauk og Tippecanoe' sekvenserne. Sauk sekvensen starter med en transgression i Nedre Kambrium, der nåede sin maksimale udbredelse i Nedre Ordovicium, hvorefter den bliver regressiv i øvre Nedre Ordovicium. Sauk sekvensen slutter ved overgangen til Mellem Ordovicium og hele cyklen varede ca. 70 millioner år fra begyndelsen til slut. Den efterfølgende Tippecanoe sekvens begyndte i Mellem Ordovicium, kulminerede i Øvre Ordovicium/Nedre Silur og afsluttedes i Nedre Devon (varighed ca. 70 millioner). De overordnede cykler eller Megacykler kan inddeles i mange flere og mindre cykler.

ORDFORKLARING

Acritarcher: Mikrofossiler der primært er hvilestadier af fytoplanktoniske (dvs. passivt svævende i vandmasserne) organismer med organiske skaller.

Allochton: (gr. 'fremmed jord'). Bruges om geologiske enheder, der er flyttet gennem processer (i modsætning til autochton). I den kaledonske bjergkæde skelner man f.eks. mellem nedre, mellem, øvre og øverste allochton. Disse er sammensatte, store skiver af jordskorpen som er stablet ovenpå hinanden.

Antiklinal: En foldestruktur, hvor foldens flanker hælder bort fra hinanden. Bjergarterne bliver ældre mod foldens center.

Bassin: Fordybning i jordoverfladen, på kontinenter eller i kontinentalsoklen. Betegnelsen indsynkningsbassin er ofte knyttet til tektonisk betingede indsynkningsområder, hvori der aflejres sediment.

Breccie: Bjergart bestående af sammenkittede, skarpkantede fragmenter.

Chert: Kryptokrystalin silica (SiO₂) af enten organisk eller uorganisk oprindelse. Chert optræder oftest som lag eller bånd af noder i sedimentære bjergarter, oftest karbonater. Flint er en bestemt type chert, der især kendes fra Kridt og Tertiær.

Diskordans: (lat. 'uoverensstemmelse'). Geologisk udtryk som angiver at to lagdelte bjergartsenheder ikke har parallelle lag, og at den ældste enhed er delvis eroderet før aflejring af den yngre

BOKS 2:

CYKLICITET OG CYKLISKE SEDIMENTÆRE LAGSERIER

WILSON CYKLUS

En Wilson-cyklus er navngivet efter den canadiske geolog og geofysiker J. Tuzo Wilson (1908–1993), som var en pioner indenfor pladetektonisk forskning. Cyklussen omfatter de pladetektoniske processer, der er knyttet til 1) opsprækning (rifting) af den kontinentale skorpe (palæo- eller superkontinent) og efterfølgende åbning af oceaner og 2) lukning af oceaner og kollision af kontinenter. Det endelige resultat er dannelsen af et nyt palæo- eller superkontinent. Udfra geologisk evidens er varigheden af en cyklus - fra opsprækning af et kontinent til det samles igen - udregnet til at tage omkring 300–400 millioner år. Det betyder eksempelvis, at superkontinentet Pangæa, der eksisterede for ca. 300-200 millioner år siden, havde en forudgående spredningshistorie, der rækker så langt bagud som 700–600 millioner år.

De vigtigste elementer i en Wilson cyklus er en opsprækket kontinentrand og et foldebælte (et orogent bælte). Selvom formen af kontinentranden kan kontrollere den afsluttende form og beliggenhed af foldebæltet, så er dette og opsprækningszonen genetisk og tidsmæssigt forbundne. Kontinentranden, som er et resultat af åbningsfasen vil blive deformeret og/eller bliver overskudt af et foldebælte i løbet af lukningsfasen.

Nordøstgrønland er et godt eksempel på, hvorledes en sedimentær lagserie udvikles fra det øjeblik opsprækningsfasen (rifting) starter, videre gennem åbningsfasen og frem til den stabile situation der hersker under den generelle spredning med ledsagende oceanbunds dannelse. Under denne sidste fase foregår en nedsynkning af kontinentalranden og dermed udvikles en såkaldt passiv margin svarende til, hvad man f.eks. i dag kan iagttage ved Grønlands østkyst.

CYKLISKE SEDIMENTÆRE AFLEJRINGER

Cykliske (ABCBA) og rytmiske (ABCABC) aflejringer er allestedsnærværende i næsten ethvert aflejringsystem eller aflejringsmiljø. Cykliske sedimenter omfatter en bred vifte af stor-skala og små-skala fænomener af forskellig natur og varighed. Cykler repeteres ofte og kan ses som serie af lag, der grunder opad. Cykliske og/eller rytmiske aflejringer er karakteristiske for den kambriske sedimentation i Nordøstgrønlandsområdet og ses som gentagne grunding opad lagserier fra marin kalksten til tidevands-påvirkede kalksten eller dolomit. Denne type aflejringer kaldes peritidale.

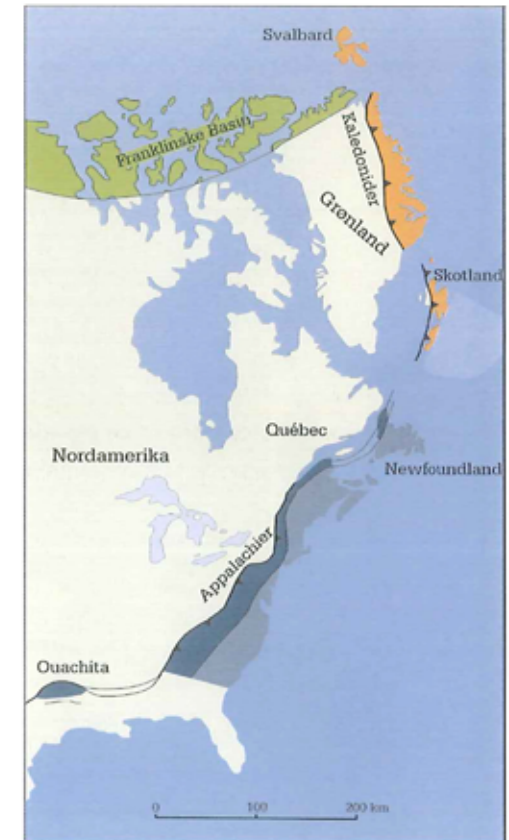
NORDØSTGRØNLAND SEN PRÆKAMBRISK TIL TIDLIG PALÆOZOISK BASSINUDVIKLING

Svend Stouge, Jørgen L. Christiansen, David. A.T. Harper W., Douglas Boyce og Ian Knight

I Nordøstgrønland findes et vigtigt jordskorpefragment, hvor man finder velbevarede langstrakte kaledonske bassiner primært af tidlig palæozoisk alder (ca. 545–420 millioner år). Tilsvarende kendes fra andre isolerede områder som f.eks. Svalbard, østlige Nordgrønland, Skotland og vestlige Irland. Fra det vestlige Newfoundland og Quebec i Canada fortsætter bassinerne sydover i et næsten sammenhængende bælte, der kan følges langs hele østkysten af det nordamerikanske kraton til Alabama (USA) i syd (figur 1). Her møder de andre samtidige bassiner, der strækker sig mod vest indover Texas og fortsætter videre til det vestlige USA og nordlige Mexico.

Figur 1. De palæozoiske foldebælter på Laurentia og omkring Atlanten. Kaledoniderne opstod ved lukningen af den nordlige del af Iapetus Oceanet, hvorved kontinenterne Laurentia (Grønland) og Baltica (Skandinavien) kolliderede og dannede en foldekæde af alpin type (kontinent-kontinent kollision). Dannelsen af kaledoniderne fandt primært sted i Sen Silur.

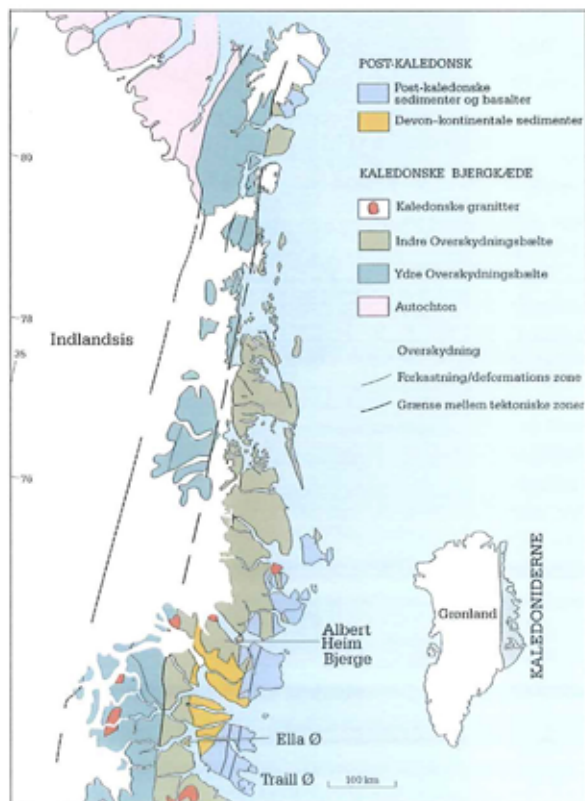
Den Appalachiske bjergkæde er dannet senere end kaledoniderne. I den tidlige lukningsfase af Iapetus Oceanet opstod der vulkanske øbuer og løsrevne mikrokontinenter, der blev skubbet sammen ved randen af Laurentia. Denne type bjergkædedannelse kaldes paci-fisk. Hovedepoken for dannelsen af den Appalachiske bjergkæde fandt sted i sen-Karbon-Perm, hvor Gondwana kolliderede med Laurentia. Herved blev de tidligere paci-fiske bjergkædedannelser i området genfoldet. Efter lukningen af såvel det nordlige som sydlige Iapetus Ocean opstod superkontinentet Pangæa.



De kaledonske bassiner møder Nordgrønlands øvrige sedimentære bassiner i Kronprins Christian Land i det østlige Nordgrønland (figur 2). Disse bassiner strækker sig mod vest henover hele Nordgrønland og videre vestover i arktisk Canada, hvor de indgår i det, der kaldes det franklinske bassin (figur 1).

Denne artikel beskæftiger sig med det nordøstgrønlandske område (figur 2), hvor man finder en velblottet kaledonsk sedimentær lagserie, der tidsmæssigt strækker sig fra sen Prækambrium til Nedre Palæozoikum. Lagserien inddeles i forskellige bassinmæssige udviklingsfaser og sedimentære aflejningscykler, der blev dannet i en situation med opsprækning (rifting) af et kontinent og efterfølgende strækning og udtynding af jordskorpen med tilhørende udvikling af en passiv kontinentrand (se side 20 og box 1).

Projektet, der danner baggrund for artiklen, er baseret på detaljerede opmålinger af den sen prækambriske til mellem ordoviciske lagserie fra Nordøstgrønland. Artiklen er således baseret på informationer, der er opnået fra udvalgte og tilgængelige profiler på Ella Ø og Albert Heim Bjerge, der ligger i den nordgrønlandske Fjordzone (figur 3).



Projektet er relateret til det canadiske projekt 'Appalachian Foreland and St. Lawrence Plat-

Figur 2. Kort visende den kaledonske bjergkædes opbygning og udbredelse i det nordøstgrønlandske område. Bjergkæden har et stort set N-S-gående forløb og grænser mod vest op til det prækambriske grundfjeldsskjold, der dog i dette område næsten er skjult af indlandsisen.

Den maksimale vestlige udbredelse af bjergkædens overskydningsdækker, er den kaledonske deformations- eller overskydningsfront. Øst for denne består bjergkæden strukturelt af et vestligt og østlig hovedelement. Det vestlige består af mange tynde overskydningsdækker primært indeholdende metamorfoserede sedimenter beliggende ovenpå grundfjeldet. Det østlige element eller 'indre' element består af tykkere overskudte enheder hvor dybtliggende skorpelementer indgår.

reduceret. Opbremsningen af oceanbølgerne betyder også, at bølgeenergien bliver absorberet, hvilket skaber rum for en stor variation af lavenergi aflejningsmiljøer på shelfen bagved barrieren. Pladsen på shelfen til at opsamle karbonatsedimenter bliver begrænset opad af havniveauet.

PLATFORM UDEN BARRIERE ELLER ÅBEN PLATFORM: Denne type platform har ingen marginal barriere og betegnes som åben platform. Den åbne platform kan adskilles i to typer, hvilket kan repræsentere to udviklingsstadier: 'rampe' og åben shelf. En rampe er en åben platform, der består af en shelf med en konstant men svag hældning (dvs. nogle få meter/kilometer eller mindre end en grad), der gradvist munder ud i bassinet. Det er typisk for en rampe, at en gradient fra høj bølgeaktivitet og tilhørende højenergiflejringer findes ved kystzonen til dybere aflejringer med ringe eller ingen bølgeaktivitet dvs. at lavenergiflejringer findes på den dybereliggende del af shelfen. Da oceanbølgerne ikke bremses ved shelfranden kan disse bevæge sig uforstyrret ind over shelfen og derved opnå et højt energiniveau i de lavvandede miljøer. Desuden kan sedimentet let transporteres fra shelfen og ud på dybt vand. På denne type af platforme følger sedimentationen havniveauet ved den kystnære zone, medens i de dybere dele på shelfen er opsamlingen af sedimentet afhængig af både dybden af bølgenes erosion og havniveau.

En åben shelf platform er en platformstype, hvor hældningen stiger lige før platformen munder ud i bassinet og en tilhørende veludviklet skråning kan være tilstede.

KARBONATFABRIKKEN

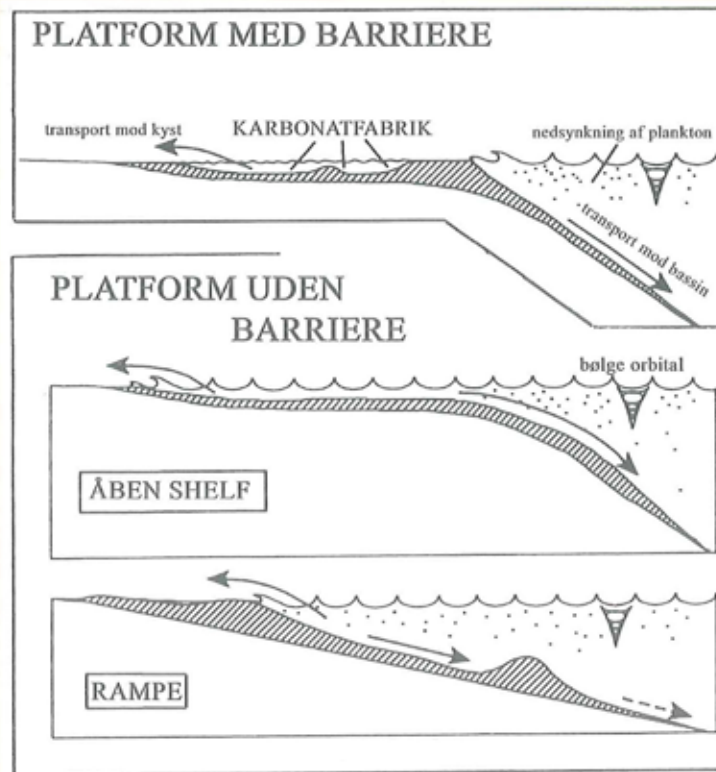
Karbonatsedimenter dannes (eller 'fødes') på stedet af kemiske udfældninger og af skaller, som findes indenfor aflejningsmiljøet. Dette betyder, at store strukturer såsom karbonatplatforme er lavet udelukkende af sediment, der er dannet på stedet - de dannes af sig selv og vedligeholder sig selv. Karbonatfabrikken er kernen i karbonatsedimentation og dannes på den lavvandede og velbelyste havbund; sedimentet forbliver for det meste på plads og er meget udbredt i marine aflejringer. Meget af den fine fraktion kan flyttes og genaflejres på tidevandsflader eller bliver ført ud over shelfens rand og aflejres på skråningen eller i bassinet hvor de er blevet transporteret til af tyngdebetingede strømme.

Dens bagland er potentiel kilde til terrestriske klastiske sedimenter, fersk vand, terrestrisk organisk materiale og næringsstoffer.

Et kraton, som har en udstrækning, der er mange hundrede til tusind kilometer i omfang kaldes en epeirisk platform, når det er dækket af lavt havvand.

PLATFORMGEOMETRI

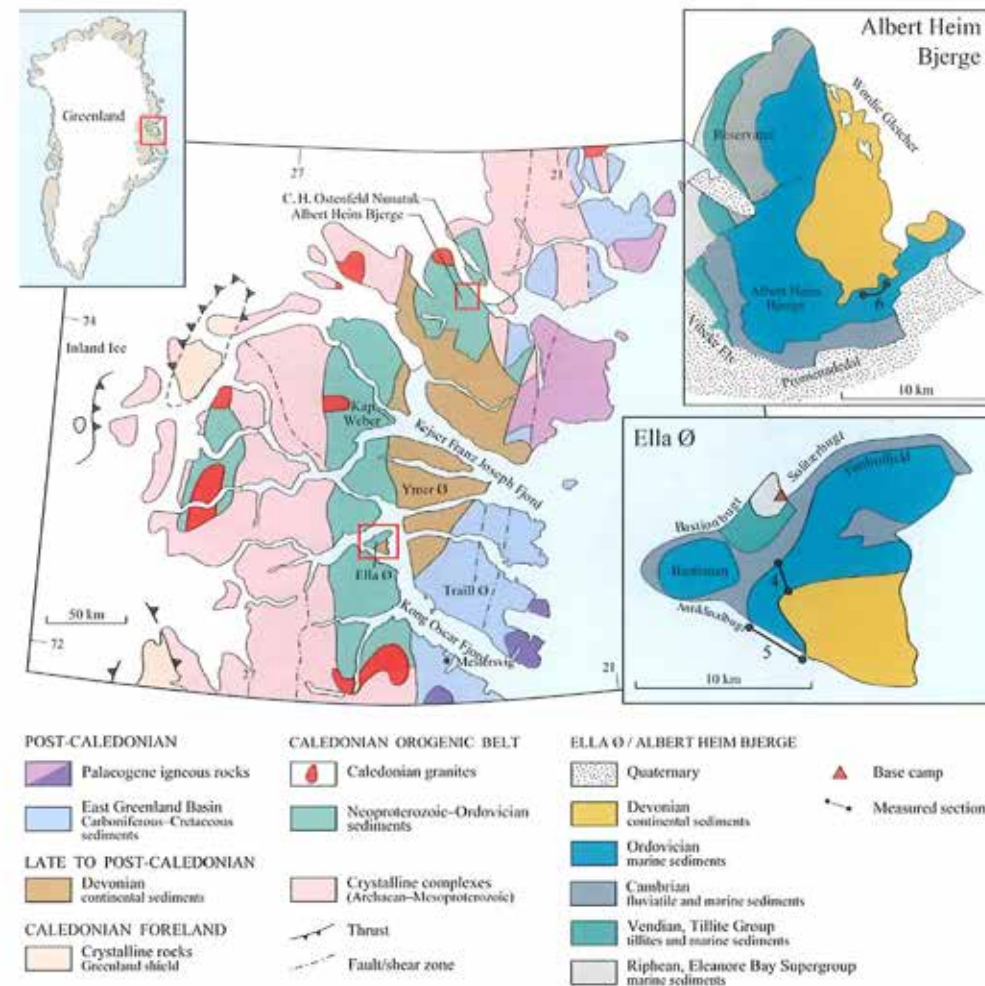
Platformens morfologi bestemmer fordelingen af marine sedimenter. Platformens rand er vigtig i denne sammenhæng og der skelnes mellem platforme, som har udviklet en veldefineret barriere og platforme uden en markant barriere også betegnet åbne platforme.



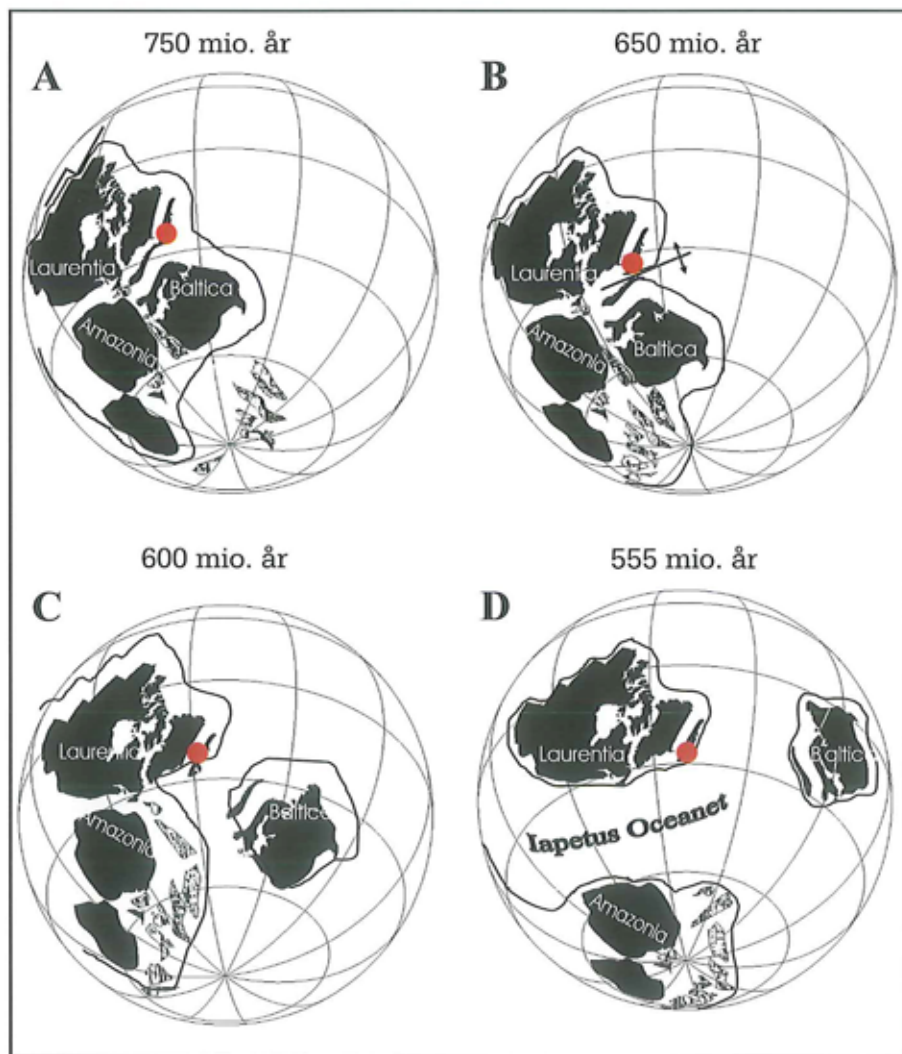
PLATFORM MED EN VELDEFINERET BARRIERE: Platformen kan have en veldefineret afgrænsning af randen, der vender ud mod oceanet (boksfigur). Rev eller sande banker forekommer og kan findes som et helt eller delvist sammenhængende bælte langs randen af platformen. En væsentlig effekt af tilstedeværelsen af en veldefineret morfologisk mur ved platformens rand er, at oceanbølger bremses eller standses helt af barrieren og forbindelsen fra det åbne ocean til shelfen er

form' og er udført under det overordnede paraplyprojekt 'Geological Bridges of eastern Canada'. Projekternes ultimative mål er med udgangspunkt i de nyeste forskningsresultater at give en moderne fremstilling - og hermed bedre forståelse - af opbygning og udvikling af palæokontinentet Laurentias østlige rand i Nedre Palæozoikum.

Der indgår i artiklen en række fagudtryk, der ikke tidligere har været brugt i VARV. Der henvises derfor til ordlisten på siderne 31-32.



Figur 3. Kort der viser det nordøstgrønlandske område og dets geologi. Indsat er et kort over Ella Ø og Albert Heim Bjerge. På disse lokaliteter blev der i somrene 2000 og 2001 foretaget feltundersøgelser efterfulgt af laboratoriearbejder, som ligger til grund for denne artikel.



Figur 4. Prækambrisk palæogeografi:

A) Superkontinentet Rodinia for 750 millioner år siden. En spredningszone ligger umiddelbart nord-vest for Laurentia og har bevirket at blandt andet Australien, Indien og Antarktisk rev sig løs fra Rodinia. Den røde prik markerer den omtrentlige placering af Ella Ø-Albert Heim Bjerge området.

B) Palæogeografisk rekonstruktion der viser en begyndende opspækning mellem det grønlandske område og Baltica for 650 millioner år siden.

C) For 600 millioner år siden rev Baltica sig løs fra Laurentia og Amazonia.

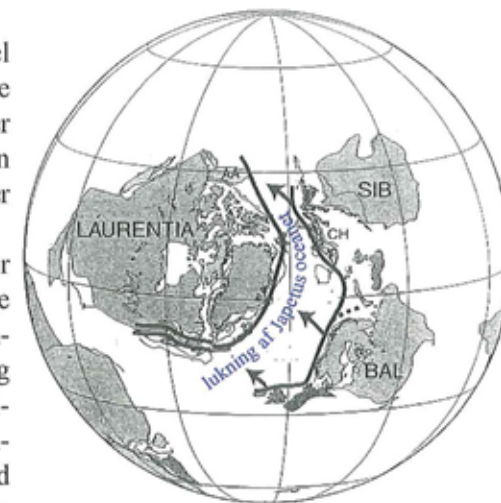
D) For 550 millioner år siden var Iapetus Oceanet fuldt etableret

ning i havniveau, en mellemste del der omfatter marine kalksten og skifre og en øvre lagserie, der igen omfatter en serie af sedimenter dannet i den tidevandspåvirkede strandzone under et fald/grundning af havniveau.

I Fjordzonens aflejringer bliver lagserien afbrudt af den store nedre ordoviciske hiatus. Hiatusen forsvinder sydover dvs. i Skotland og Newfoundland, hvor karbonatsedimentation fandt sted. Fælles for områderne langs Laurentias østlige rand er, at den store 'evae'-transgression alle steder kan ses i lagserien, og den afslutter også den markante hiatus i østlige Nordgrønland.

Udviklingen af den kaledonske passive kontinentrand i Nordøstgrønland ophørte tilsyneladende med en 'drukning' af platformsranden i begyndelsen af Mellem Ordovicium. Oversvømmelsen kan ikke direkte aflæses i lagserien, men de yngste karbonater er af mellem ordovicisk alder.

En begyndende drukning af platformen kan måske relateres til dannelsen af en magmatisk øbue ved Laurentias pladerand. Indirekte evidens til støtte for denne ide fås gennem observationer fra naboområder i det nordatlantiske område. Karbonatsedimentationens mulige ophør i det nordøstlige Grønland i tidsrummet fra Mellem til Sen Ordovicium er en markant kontrast til bassinudviklingen i østlige Nordgrønland og Nordgrønland. Her fortsatte karbonatsedimentationen på shelfen igennem hele Sen Ordovicium og ind i Tidlig Silur.



Figur 21. Palæogeografisk rekonstruktion, der viser lukningen af Iapetus Oceanet og dannelse af øbue ved Laurentias pladerand.

BOKS 1: PLATFORMSTYPER, CARBONATFABRIKKEN

Tykk lagserier findes på platforme, der dannes langs kanten af kontinenterne.

PLATFORMSTYPER

En platform er en stor aflejringsstruktur, der er dannet ved opsamlingen af sedimenter i et område, der er udsat for indsynkning. Mange strukturer har en flad top med en stejl side eller kant. Platformen kan være flere kilometer tyk og have en udbredelse, der dækker flere hundrede kvadratkilometer.

En shelf er en platform som er knyttet til en kontinental landmasse (figur 17).

PASSIV KONTINENTALRAND: Den følgende historie omkring Laurentias østlige kontinentale margin er karakteriseret af betydelige regionale havniveau-ændringer, der er afspejlet af mange større eller mindre aflejningscykler. I dette stadie udviklede platformen sig fra en rampe (Nedre Kambrium) til åben shelf platform (Mellem og Øvre Kambrium samt Medre Ordovicium) og videre til en lukket platform, der blev afgrænset af et barriererev i løbet af Mellem Ordovicium.

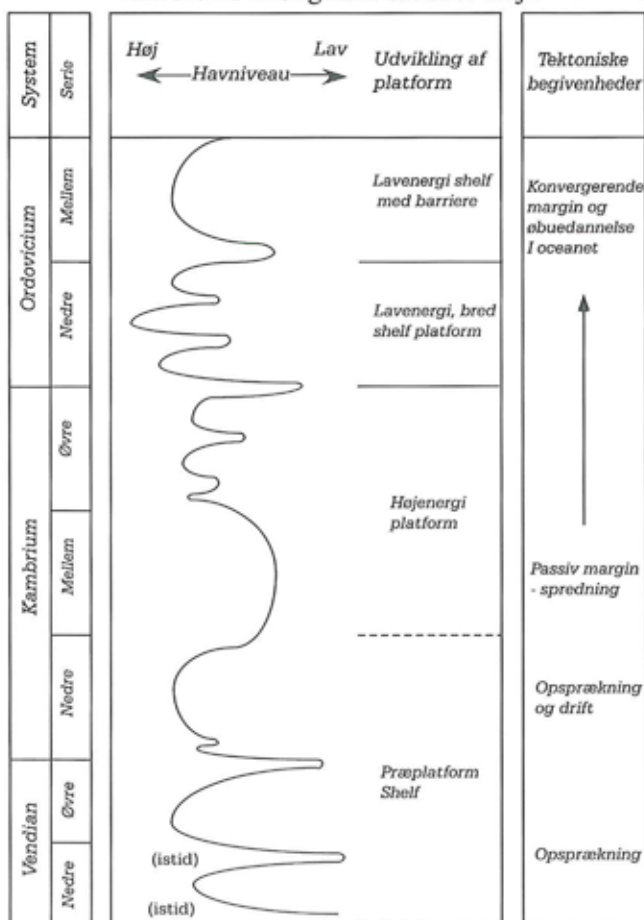
SAMMENFATNING

De sen prækambriske-tidlige palæozoiske bassiner i Nordøstgrønland blev dannet ved opsprækning (rifting) og strækning af et gammelt kontinent efterfulgt af åbningen af Iapetus Oceanet. Overgangen fra opsprækning til tidlig drift kan aflæses af et stigende indhold af jern i den øvre tillit (figur 19). Bassinerne udvikledes efterfølgende til en passiv kontinentrand med oceanbunds dannelse.

Den kambriske periode var tektonisk rolig, men indtil flere tektoniske begivenheder i bassinernes udvikling kan have fundet sted i Ordovicium. Disse er muligvis knyttet til dannelsen af øbue-kompleks ved Laurentias pladegrænse og kan derfor meget vel være et resultat af Iapetus Oceanets begyndende lukning (figur 21).

Platformslagserien blev aflejret gennem flere store aflejningscykler, hvoraf de to yngste er adskilt fra den underliggende cyklus af en markant diskonformitet. Alle cyklerne har en nedre del, der består af sedimentter dannet i den tidevandspåvirkede strandzone under stig-

ende havniveau. De øvre del af cyklerne er dannet i den overskydningsbælte eller forlandet - består af mange mindre overskydninger med tynde overskudte enheder af metamorfoserede sedimentære bjergarter, der kun er transporteret over relative korte afstande. Det østlige element - det indre overskyd-



Figur 20. Sammenlægning af udviklingen i Nordøstgrønland.

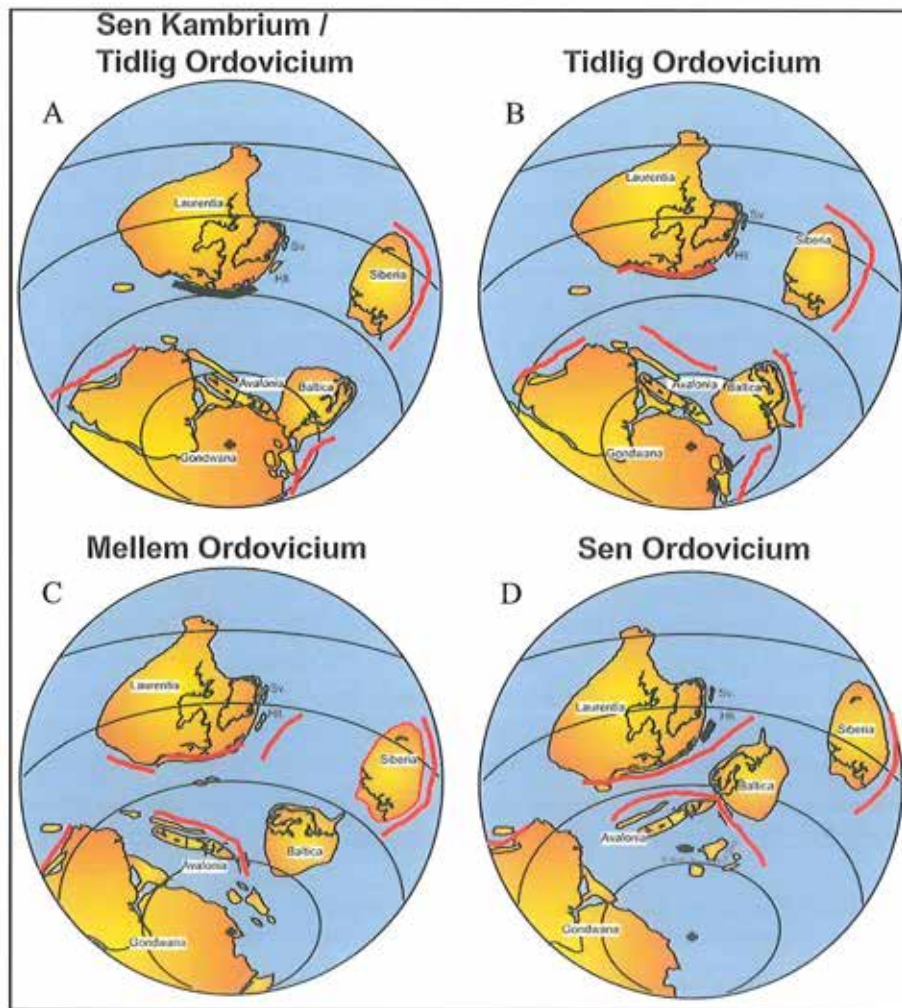
PALÆOGEOGRAFI I SEN PRÆKAMBRIUM OG NEDRE PALÆOZOIKUM

Laurentia omfattede først og fremmest Nordamerika og Grønland og spillede en væsentlig rolle i den palæogeografiske historie gennem sen Prækambrium og tidlig Palæozoikum. Siden Kambrium synes det at have været krumtappen, omkring hvilke andre palæokontinenter bevægede sig eller stødte til for at danne superkontinenter (om cykler se box 2). Den palæogeografiske udvikling i sen Prækambrium er langt fra forstået og debatteres livligt. Fælles for de nyere ideer er, at der blev dannet et superkontinent - Rodinia - for omkring 1.000 millioner år siden. De zoner, langs hvilke kontinenter blev tilføjet, gav ophav til foldebælter af Grenville alder (ca. 1.200-1.000 millioner år). I dag findes den egentlige Grenville foldekæde langs den østlige og sydlige del af Nordamerika. For omkring 750 millioner år siden begyndte Rodinia at bryde op langs den vestlige rand af Laurentia, hvorved bl.a. Australien og Antarktis rev sig løs og drev væk fra Laurentia (figur 4A).

Den resterende del af Rodinia eksisterede indtil for omkring 650-600 millioner år siden, hvor opsplittningen begyndte for alvor (figur 4B). Fra dette tidspunkt afspejler udviklingen af Laurentias østlige rand dramatiske ændringer i bassintyper fra sen prækambriske bassiner med direkte relation til kontinental opsprækning til bassiner, der blev dannet langs den kambriske-ordoviciske passive rand, samtidig med at Iapetus Oceanet blev skabt. Dette skete ved, at palæokontinentet Baltica for omkring 600 millioner år siden begyndte at rive sig løs fra Laurentia (figur 4C). Palæokontinentet Amazonia (Brasilien) skiltes lidt senere fra Laurentia, hvilket førte til åbningen af selve Iapetus Oceanet (figur 4D). Den nedre palæozoiske palæogeografi er vist og beskrevet i figur 5.

TEKTONISK RAMME FOR DE KAMBRISKE-ORDOVICISKE LAGFØLGER I NORD-ØSTGRØNLAND

Nordøstgrønland indgår i den kaledonske bjergkæde (Kaledoniderne), der er orienteret næsten N-S (figur 2). Den strækker sig fra Kronprins Christian Land i østlige Nordgrønland til Scoresby Sund regionen i Østgrønland mod syd, en strækning på over 1.000 kilometer og op til 200 kilometer bred (VARV 1998,4). Den maksimale udbredelse mod vest af de næsten stedfaste (parautochtone) jordskorpeenheder, som opbygger bjergkæden, kaldes den kaledonske deformations- eller overskydningsfront. Øst for denne er bjergkæden delt op i to strukturelle hovedelementer: Det ydre overskydningsbælte og det indre overskydningsbælte (figur 2). Det vestlige element - det ydre overskydningsbælte eller forlandet - består af mange mindre overskydninger med tynde overskudte enheder af metamorfoserede sedimentære bjergarter, der kun er transporteret over relative korte afstande. Det østlige element - det indre overskyd-

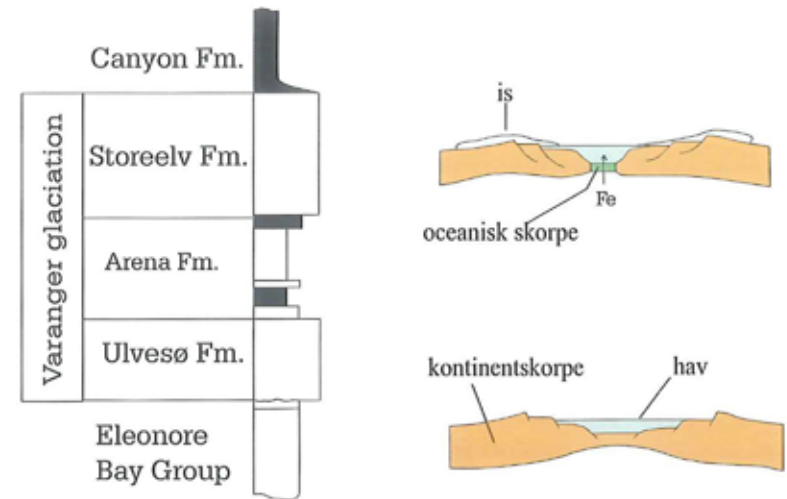


Figur 5. Nedre palæozoisk palæogeografi: Iapetus Oceanets udvikling fra Kambrium til Sen Ordovicium

A. Iapetus Oceanet påbegyndte sin dannelse i Sen Proterozoikum/Nedre Kambrium og nåede sit maksimale udbredelse, dvs. ca. 6.000 kilometer i løbet af Sen Kambrium. Sv. = Svalbard; Høl = Hølanda er et fragment af Laurentia, som i dag ligger i Vestnorge.

B. Efter den maksimale spredning begyndte Iapetus Oceanet at trække sig sammen i løbet af Tidlig Ordovicium. Dette medførte, at der blev adskillige subduktionszoner inden for Iapetus Oceanet. En markant subduktionszone lå således langs Laurentias sydlige rand, medens en anden zone udvikledes nord for Gondwana.

C. I Mellem Ordovicium fandtes adskillige øbuer i Iapetus Oceanet. Flere små kontinenter eller mikrokontinenter rev sig løs fra den nordlige rand af Gondwana. Subduktionen var særlig aktiv langs med den nordlige side af Iapetus Oceanet, og dette medførte, at et stort øbuekompleks lå langs med Laurentias rand. Dette store



Figur 19. Jern(Fe)-berigelse af sedimenterne i øvre tillit (Storeelv Formation) på Ella Ø relateres til den første oceanbundsdannelse. Overgangen fra kontinental skorpe til tidlig drift og dannelse af oceanbund aflæses af Fe-indholdet. Dette er stigende i øvre tillit, idet Fe-rige hydrotermale opløsninger har beriget sedimenterne.

tidspunkt sank som følge af tektoniske påvirkninger - ligesom ved de sydlige kaledonske og appalachiske dele af Laurentia.

OPSPRÆKNING (RIFTING): Sen prækambrisk? – tidlig kambrisk opbrud af Rodinia ses ikke direkte i Nordøstgrønland, men i sydligere dele af Rodinia. I Nordøstgrønland fremgår opbrudsfasen indirekte af den præ-platforme shelf med forkastningsbetingede bassiner, hvori der blev aflejret klastisk dominerede enheder fra Tillit Gruppen (figur 6). Der er ikke i Nordøstgrønland observeret opsprækningsrelaterede vulkanske bjergarter, men ved opsprækningen dannedes der på grund af opadstigende hydrotermale opløsninger jernberigede sedimenter (dvs. den øvre gulbrune tillit, figur 19). Tilstedeværelsen af karbonater mod toppen af Vendian viser, at shelf-karbonatsedimentation blev etableret før kambrisk tid.

OVERGANG FRA OPSPRÆKNING (RIFTING) TIL EN PASSIV KONTINENTALRAND: Den nedre kambriske lagfølge (Kløftelv, Bastion og Ella Ø formationerne) antyder at opbruddet og dermed den klastiske shelf- og opsprækningsfase således var startet. Det medførte en gradvis vestgående oversvømmelse af shelfen langs med den på det tidspunkt nyligt dannede Laurentiske kontinentrand i Nordøstgrønland.

Narwhale Sound Formationen, som består af mange små cykler, der blev dannet under et faldende havniveau, afslutter den store nedre ordoviciske cyklus.

PLATFORM MED BARRIERE-BRED SHELF: Den sidste aflejningscyklus, som kan erkendes i Nordøstgrønland er omfattet af den mellem ordoviciske Heimbjerge Formation og omfatter hele Mellem Ordovicium. Denne cyklus starter også med tidevandspåvirkede aflejringer, som gradvist går over mod submarine kalksten efterfulgt af revdannelser. Størstedelen af cyklussen består af lavvandede marine fin- til grovkornede kalksten. Sedimenterne viser, at karbonatproduktionen var afpasset til havniveauændringerne, således at sedimenterne forblev lavvandede i hele forløbet. Nordpå og på Kronprins Christian Land fortsatte karbonatsedimentationen derimod gennem hele Ordovicium og videre ind i Nedre Silur.

UDVIKLINGEN AF LAURENTIAS RAND I NORDØSTGRØNLAND

Den sen prækambriske - mellem ordoviciske tektoniske udvikling af Nordøstgrønland omfatter en historie, der spænder fra opsprækning til spredning i sen Prækambrium til udvikling og eksistens af en passiv kontinentrand i Kambrium og nedre Ordovicium med en begyndende sammentrækning af Iapetus Oceanet i tidlig Mellem Ordovicium. Udviklingen af kontinentranden var hovedsagelig kontrolleret af ændringer i havniveau, som blev afbrudt af den vigtige tidlige ordoviciske hævnning af området. Årsagen til hævnningen er ikke kendt, men kan måske skyldes, at der blev dannet en øbue ved Laurentias pladerand på dette tidspunkt.

En efterfølgende tektonisk begivenhed af tilsvarende karakter kan have fundet sted i mellem til sen mellem Ordovicium, da der i Fjordregionen helt mangler sedimenter, der er yngre end Mellem Ordovicium. Dette kan dog ikke direkte påvises i Nordøstgrønland.

I de sydligere liggende områder langs - Laurentias rand - dvs. Skotland, nord- og vestlige Irland, Newfoundland og Quebec og videre sydover i østlige USA findes vidensbyrd på flere på hinanden efterfølgende kollisioner mellem Laurentia og mindre marginale områder og/eller øbuekomplekser. Disse førte til overskydninger fra øst mod vest i sen Mellem til tidlig Sen Ordovicium. Denne begivenhed kaldes den Takoniske orogenese i Nordamerika.

Svalbard er et fragment af den kaledonske kontinentrand og kontinental-skråning. Palæogeografisk lå Svalbard længere mod øst end Nordøstgrønland og dermed nærmere ved shelfranden. På Svalbard ophørte karbonatsedimentationen i Mellem Ordovicium forårsaget af nedsynkning og 'drukning' af platformen. Dette kan betyde, at randen af Laurentias platform på dette

ningsbælte- består derimod af tykkere overskudte og fjerntransporterede (allochtone) aflejringer. Sedimenterne i det vestlige element ligger ovenpå grundfjeldet, der i det store og hele er dækket af indlandsisen, men som dog kan ses i flere vinduer indenfor bæltet.

Den kaledonske foldekæde blev dannet ved lukningen af Iapetus Oceanet og den efterfølgende kollision med Baltica i sen Silur også kaldet den skandiske fase. Overskydningerne skete i Silur, hvor de sedimentære bjergarter blev presset sammen og transporteret vestover henover Grønlands grundfjeld.

De undersøgte lokaliteter Ella Ø og Albert Heim Bjerger, der ligger i Nordøstgrønlands Fjordzone, hører geologisk til det indre overskydningsbælte. Lagpakken omfatter et sedimentært dække, der i mindre grad er påvirket af foldning og forkastninger.

SEDIMENTDÆKKET

Grundfjeldet i Nordøstgrønland består af gnejser med en alder på 1.980–1.725 millioner år. Gnejserne er overlejret af en gammel prækambrisk sedimentær lagpakke, der nu er metamorfoseret og gennemskåret af metadolerittisk materiale. Denne lagpakke overlejres igen af en tyk serie af prækambriske og nedre palæozoiske sedimentære bjergarter, der indgår i Eleonore Bay Supergruppen af Riphean og Sturtian alder, Tillit Gruppen af vendisk alder og den nedre palæozoiske lagpakke (figur 7). De sen prækambriske til tidlige palæozoiske sedimenter er uomdannede til svagt metamorfoserede og er blevet foldet i åbne folder af den kaledonske foldefase i Silur.

ELEONORE BAY SUPERGRUPPEN (RIPHEAN - SEN PRÆKAMBRIUM: CA. 1.000-650 MILLIONER ÅR): Grænsen til grundfjeldet er ikke blottet i Nordøstgrønlands Fjordzone. Den fjerntransporterede lagpakke starter med den kilometertykkede prækambriske Eleonore Bay Supergruppe, der består af marine sedimenter, der er foldet i et simpelt foldemønster.

På Ella Ø er Eleonore Bay Supergruppen repræsenteret af den øverste del af Supergruppen. Sedimenterne består af havaflejrede karbonatbjergarter og

øbuekompleks havde en udbredelse svarende til adskillige tusind kilometer. Kollisionen af det store øbuekompleks med Laurentia i Mellem Ordovicium kaldes den Takoniske orogene fase. Dette komplekse billede kan på mange måder sammenlignes med nutidens sydvestlige Stillehav. Den nordlige udstrækning af øbuekomplekset langs Laurentia er ukendt, men det er ikke umuligt, at det også nåede til Nordøstgrønland.

D. Iapetus Oceanets sammentrækning fortsatte og palæokontinenterne Avalonia og Baltica nærmede sig både hinanden og Laurentia. På dette tidspunkt var Iapetus Oceanet mellem Avalonia/Baltica og Laurentia reduceret til at være ca. 3.000 kilometer bredt. Faunaforskellene dvs. provinsialisme, der hidtil havde eksisteret mellem palæokontinenterne, blev gradvist nedbrudt som en følge af at Iapetus Oceanets betydning som barriere for faunavandring blev reduceret ved kontraktionen af oceanet.

Alder		Supergruppe Gruppe Formation	Litologi	Aflejringsmiljø	omtrentlig tykkelse i meter			
Mill. År	(Devon)							
417	Silur							
443	Ordovicium	Øvre						
460		Mellem	Heim Bjerge	Kalksten Stromatoporider	Afgrænset marin karbonatshelf	1200		
473			Narwhale Sound	Dolomit, Kalksten Stromatolitter	Afgrænset delvis marin karbonatshelf	260		
		Nedre	Cape Weber	Kalksten - fossilrig Stromatolitter, trombolitter	Åben marin karbonatshelf	1140		
489	Kambrium		Antiklinalbugt	Kalksten, siltsten Stromatolitter, trombolitter	Marin karbonatrampe-shelf	235		
		Øvre	Dolomite Point	Dolomit Dolomitiseret kalksten	Marin karbonatrampe	260		
		Mellem	Hyalithus Creek	Kalksten Dolomitiseret kalksten <i>Salterellea</i>	Marin karbonatrampe	145		
			Ella Ø	Sandsten, siltsten, skifer trilobitter <i>Salterellea</i> Sporfossiler hyppige	Marin, dybvandsklastisk shelf	90		
		Nedre	Bastion	Sandsten, siltsten glaukonit Brachiopoder	Marin nær kyst klastisk shelf	140		
545	Prækambrium Proterozoikum	Vendian						
			Øvre	Tillit Gruppe	Spiral Ct.	Dolomit, siltsten	Lavvandsaflejringer, evaporitter	ca 1100
					Canyon	Skifer, kalksten og dolomit	Postglaciale marine aflejringer	
					Storeelv	Tillit og sandsten	Marine glaciale aflejringer	
Arena	Skifer, sandsten og chert	Interglaciale marine aflejringer						
650	Riphean		Ulvesø	Tillit og sandsten	Marine glaciale aflejringer			
		Eleonore Bay Supergruppe	Kalksten, skifer Stromatolitter, oolitter	Lav- og dybere vand shelfaflejringer	ca 12500			
1000								

Figur 6. Oversigt over den samlede stratigrafi i Nordøstgrønland med en simplificeret lagsøjle.

ling fra lavvands sedimentation til en dybvands marin sedimentation og tilbage til lavvands sedimentation (ABA cyklus).

AFLEJRINGS CYKLER I ORDOVICIUM

CYKLUS 1: Den tidligste cyklus i Ordovicium er i Nordøstgrønland repræsenteret af Antiklinalbugt Formationen. Denne store aflejringscyklus kan erkendes langs hele den østlige rand af Laurentia palæokontinentet. Kronprins Christian Land i østlige Nordgrønland er en undtagelse, idet aflejringer fra denne cyklus mangler totalt, og her er der således udviklet en lang og markant hiatus.

Det generelle billede af denne cyklus er, at karbonatsedimentationen kunne følge med nedsynkningen af kontinentet eller den relative havniveaustigning, om end den mellemste del domineres af skifer og silt, hvilket viser at karbonatproduktionen på et vist tidspunkt blev forsinket af det klastiske input eller at havdybden nåede et niveau, hvor lyset blev svagere og karbonatproduktionen blev langsommere.

CYKLUS 2: Den efterfølgende store sedimentationscyklus varede indtil begyndelsen af Mellem Ordovicium. Cyklen afspejler den globale 'evae'-transgression, som er den største transgression i Nedre Ordovicium. Navnet på transgressionen stammer fra conodontarten *Oepikodus evae*, som er en cosmopolitisk art. I Nordøstgrønland afspejles transgressionen i Cape Weber Formationen og den efterfølgende Narwhale Sound Formation. De sedimentære lag viser, at sedimentationen af kalkslam og dannelse af lavvands-karbonat-sedimenter i det østlige Nordgrønland var markant. Lagserien afslutter det meget lange sedimentationsstop, der karakteriserer denne del af den kaledonske platform.

De nedre tidevandspåvirkede sedimenter ved basis af denne cyklus er distinkt forskellige fra og mere fossilholdige, end hvad man fandt i cyklus 1. Stromatolitter og thrombolitter forekommer hyppigt igennem hele lagserien, men er i særdeleshed markante i de nederste 100 meter af formationen (figur 15). Sedimenterne antyder, at karbonatproduktionen til tider var større end den relative havniveaustigning. Oversvømmelsen bredte sig langt ind på shelfen og henover kratonet. Den efterfølgende tykke lagserie af lavvandede marine sedimenter (størstedelen af Cape Weber Formationen) antyder en periode, hvor sedimentproduktionen fulgte med den relative havniveaustigning. Mørkere horisonter, der er rige på fossiler, viser tidspunktet for den maksimale transgression indenfor cyklen. Der kan således erkendes to maksima for havnivau indenfor formationen. I Albert Heim Bjerge kaldes den nederste af havniveautoppene for 'Black Limestone' og er kendt for at indeholde pelagiske, dvs. fritsvømmende trilobitter.

Denne nedre kambriske klastiske succession er en aflejringscyklus, som er karakteriseret af hovedsageligt massive kvartsrige sandsten med krydsaflejringer (Kløftelv Formationen), som blev afsat i en tidevandsdomineret strandzone. Den mellemste del dvs. Bastion Formationen omfatter marine aflejringer, der består af glaukonit- og fosfatholdige sandsten, sand og silt og dybereliggende silt dominerede sediment, der blev aflejret på shelfen. Stormlag domineret af lavvandsbrachiopoder er karakteristisk for visse horisonter i lagserien. Den øvre del af cyklen omfatter marine skifre og kalksten fra Ella Island Formationen, der blev dannet i dybere vand på shelfen. Cyklen afsluttes med dolomitiseret kalksten (toppen af Ella Island Formationen), som blev aflejret i tidevandszonen og hørte til et højere energidomæne end tidligere og repræsenterer sedimentære lag dannet under en tilbagetrækning af havet.

ÅBEN PLATFORM - SHELF (MELLEM – ØVRE KAMBRIUM): Mod slutningen af Nedre Kambrium skete der en markant ændring i sedimentationen: Klastiske sedimenter følges nu af karbonatsedimentation. Dette markerer dannelsen af karbonatsedimenter på platformen under en havstigning i løbet af Mellem Kambrium. Kalkaflejringer dominerer derpå lagserien fra Mellem Kambrium og til og med Mellem Ordovicium. Manglen på egentlige sandede strandaflejringer antyder, at der lå en kystzone mod vest og udenfor området.

Sedimenterne blev aflejret på lavt vand i tidevandszonen og på den lavvandede del af platformen. Dolomitterne fra Dolomite Point Formationen er typiske lavvandskarbonater med mange laminerede, krydslejlrede og stromatolittiske horisonter dækket af laminerede dolomitter - elementer som er karakteristiske for tidevandszonen og den lavvandede shelf. Chert er hyppigt associeret med lavvands sedimenterne.

Der er observeret tre store aflejringscykler, der svarer til kambrisk sedimentation i det nordlige Skotland og østlige Canada. Manglen på fossiler i denne del af lagpakken udelukker dog muligheden for at integrere de foretagne observationer i en stor-skala analyse og model.

Bred og åben platform - shelf (Nedre Ordovicium): Tæt på grænsen Kambrium-Ordovicium ændredes sedimentationen til en vidt udbredt aflejring af kalkslam, der bredte sig som et tæppe henover kratonet over afstande på flere hundrede kilometer. Sedimenterne blev aflejret i en periode, der var domineret af havniveauændringer på grund af landhævninger/sænkninger, og hvor den største transgression afsluttede en stor og udbredt sedimentationsafbrydelse - den største, der er udviklet i Kronprins Christian Land. Den nedre ordoviciske lagserie er omfattet af to store aflejringscykler, der begge omfatter en udvik-

finklastiske sediment med horisonter af veludviklede stromatolitbanker (figur 7; se også VARV 1998,4) og ooliter, hvilket antyder, at klimaet eller havet på dette tidspunkt var relativt varmt.

Eleonore Bay Supergruppen består i sin øverste del af grågrønne, siltede sedimentære aflejringer med vekslende farvede lag af flintlignende dannelser (chert), kalksten og dolomitter samt kalkstens-breccier. De sidste er sandsynligvis transporteret ind i bassinet af slamstrømme fra en nærliggende karbonatshelf.



Figur 7. Stromatolitter fra Eleonore Bay Supergruppen.

TILLIT GRUPPEN (VENDIAN - YNGSTE PRÆKAMBRIUM: 650–545 MILLIONER ÅR: Ovenpå Eleonore Bay Supergruppen følger Tillit Gruppen. Den vendiske sedimentære lagserie er litologisk meget varieret og omfatter to tillitenheder (dvs. enheder dannet under istider), marine finklastiske sediment og lavvandskarbonater (kalksten), inddampningsbjergarter (evaporitter) og siltede sedimentære bjergarter. De mest prominente og karakteristiske enheder i lagpakken er to tillitenheder (figur 6, 8 og 9).

Tillit Gruppen omfatter i rækkefølgen fra nederst til øverst følgende formationer: Ulvesø (tillit), Arena (skifer og silt- til sandsten), Storeelv (tillit), Canyon (skifer og siltsten med aftryk efter saltkrystaller, figur 10) og Spiral Creek (dolomitter) (figur 6). Den øvre tillit er rødlig, med en gulbrun forvitningsfarve, hvilket skyldes et relativt højt indhold af mineralet hæmatit. Overgangene fra Ulvesø og Storeelv formationernes glaciære aflejringer til skifre og siltsten (Arena og Canyon formationerne) antages at markere postglaciære havniveauanstigninger (transgressioner) efterhånden som den prækambriske is smeltede tilbage fra Ella Ø og naboområdet i Nordøstgrønland.

Tillitenhederne er blevet sammenlignet med tilsvarende tillitforekomster fra Svalbard, østlige Nordgrønland, Nordnorge og Skotland. De er dannet under en



Figur 8. Tillit Gruppen med to tillithorisonter. Den øverste tillit på Ella Ø (Storelv Formation) er rød-brun og forvitret med en gul farve. Rødfarvningen af tillitten skyldes en berigelse af jern (se også figur 22).



Figur 9. Foto af sediment med dropsten fra Ulvesø Formationen.

grundfjeld. Blokforkastning af det prækambriske grundfjeld er ikke rapporteret fra Nordøstgrønland. Udbredelsen af den vendiske lagpakke med tillitter med en begrænset geografisk udbredelse peger dog på, at aflejringen begyndte i depressioner - dannet ved blokforkastninger. Senere blev den underliggende topografi dækket (figur 18). Den primære kontrol af bassindannelsen var således tektonisk betinget og ledsaget af en moderat opvarmning som følge af opsprækning, strækning og deraf følgende udtynding af jordskorpen (figur 18).

Åben platform – rampe (Nedre Kambrium): Den nedre kambriske til øvre nedre kambriske lagserie er udviklet som en stor transgressiv-regressiv cyklus (boks 2). Der blev dannet grov- og finkornede klastiske sedimente og fossilholdige karbonat-aflejringer. Den vertikale ændring i denne succession er en general ændring fra grove til fine sedimente (sand er grovere end ler, og i dette tilfælde anses ler for at være grovere end kalksten).

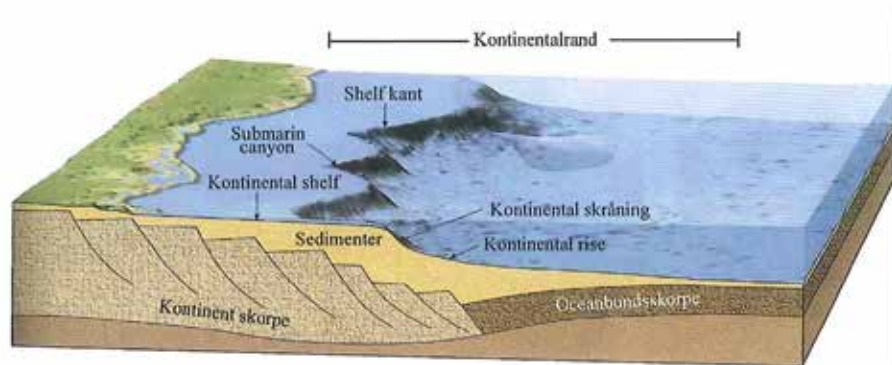
Figur 18. Dannelse af passiv kontinentalrand kan ske på følgende måde:

A) Den første fase startes med hævnning af kontinentet som følge af opvarmning, der kommer nedefra og efterfølges af strækning og dannelse af normal-forkastninger og grabens.

B) Opspræknings-drift fasen: Ved yderligere opsprækning og efterhånden som kontinentalskorpen bliver trukket fra hinanden synker store blokke og danner en rift-zone. Resultatet af denne proces er dannelse af rift-vallejs, som i dag kendes f.eks. fra Østafrika. Ved fortsat spredning dannes adskillige forkastningsblokke, som udvikler en bred rift-graben med adskillige nedsunkne forkastningsblokke langs begge sider af rift-dalen. Herved dannes forskellige bassiner, hvori der akkumuleres sedimente. Sedimenterne er for det meste klastiske - enten kontinentale eller marine - aflejringer. I midten af et bassin vil skifre og kalksten/dolomitter aflejres i søer og varsler begyndelse til dannelse af oceanet.

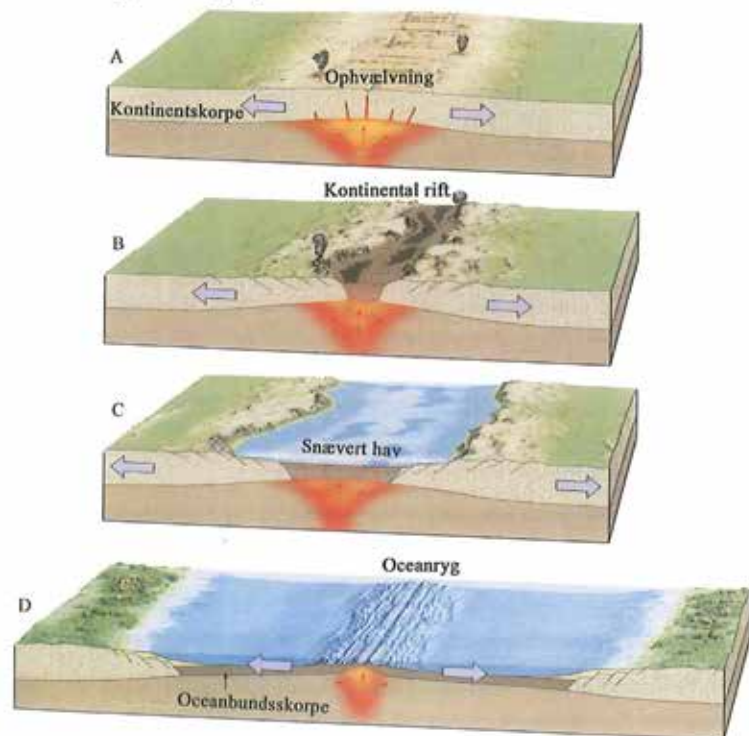
C) Driftfasen og dannelse af snævert hav: Opsprækning og spredning fortsætter. Jordskorpen udtyndes yderligere og oceanskorpe bliver dannet og de to nye kontinenter driver væk fra hinanden efterhånden som spredningen udvides, hvorved et snævert hav bliver skabt. De adskilte kontinentale kratoner er flade og tektonisk meget stabile, og uden særlige topografiske karakterer. De er forvitret og eroderet ned til et peneplan med kun enkelte isolerede lave bakker. Over erosionsfladen findes et udbredt og tyndt dække af forvitret bjergarts materiale bestående af kvartssand og ler og under dette ses grundfjeldet.

D) Passiv rand: Ved yderligere spredning dannes et ocean med bassin og oceanryg-system. Efterhånden som de nye kontinenter bevæger sig væk fra varmekilden ved oceanryggen, afkøles kontinentalrandene, som trækker sig sammen og bliver mere tætte. I takt med dette trænger havet gradvist ind over (transgression) kontinentalranden hvor en sedimentlagpakke aflejres med en mægtighed, der svarer til dybden af nedsynkningen.



Figur 17. Den passive kontinentrand

Der findes to typer af kontinentrande: aktive og passive. De aktive kontinentrande er i modsætning til de passive afgrænset af aktive pladegrænser med subduktion eller transforme forkastningszoner. Passive kontinentrande findes langs kystområderne, der omgiver Atlanterhavet. Da disse kontinentrande ikke er tilknyttet pladegrænser er vulkansk aktivitet og jordskælv sjældne. Eroderet materiale transporteres fra land og akkumuleres på kontinentranden. En passiv kontinentrand omfatter den kontinentale shelf, skråning og 'rise'.



Figur 18. Se tekst på næste side.



Figur 10. Siltsten med pseudomorfer (udfyldninger) efter stensalt (NaCl). Fra Spiral Creek Formation, Ella Ø.

vendisk istid, der kendes som Varanger-istiden. Mikrofossiler (arccritarcher) fra Canyon Formationen har også vist, at denne del af lagpakken hører til Vendian. Nye isotopanalyser og kemiske data fra en sammenlignelig prækambrisk lagserie (Dalradian) i Skotland sætter imidlertid spørgsmålstegn ved, om tillitterne i Nordøstgrønland er af vendisk alder, og der er for nylig foreslået en højere alder (Sturtian - ca. 700 millioner år).

DEN NEDRE PALÆOZOISKE LAGPAKKE (DEN KAMBRISKE - ORDOVICISKE LAGSERIE: 545 - CA 460 MILLIONER ÅR: Tillit Gruppens bjergarter overlejres efter en sedimentationsafbrydelse (en unkonformitet) af klastiske sedimenter og karbonat-sedimenter af kambrisk - mellem ordovicisk alder. Sedimentationsafbrydelsen omfatter et tidsrum af ukendt størrelse, men svarer muligvis til den øverste del af den vendiske periode (figur 6). Lagpakken afspejler store stigninger og sænkninger af havniveau (eller transgressive-regressive cykler), som til tider er vel-daterede, da der kan være fossiler i både de kambriske og ordoviciske lag.

De nedre palæozoiske sedimenter findes vidt udbredt i regionen og er karakteriseret ved en ensartede stratigrafi, konstant tykkelse og stor udbredelse. Den nedre palæozoiske lagpakke overlejres af devone kontinentale og fluviale sedimenter og er adskilt fra hinanden ved en markant afbrydelse i sedimentation (figur 11).



Figur 11. Snit gennem Ella Ø antiklinal langs Ella Ø's sydvestkyst. Antiklinalen, der ses lige overfor (på denne side), er udformet i den nedre Palæozoiske lagserie. Denne overlejres diskordant af kontinentale sedimenter fra Devon (D) tiden. Diskordansen ses ved at følge bundgrænsen for de svagt hældende devone aflejringer, som fra højre mod venstre dækker nedre palæozoiske lag af forskellig alder. Bemærk også den lille rest af Devon sediment, som ligger på toppen af antiklinalen.

NEDRE KAMBRIUM: Kambrium er i Nordøstgrønland inddelt i følgende formationer (fra ældst til yngst): Kløftelv, Bastion, Ella Island, Hyolithus Creek og Dolomite Point formationerne (figur 6).

Kløftelv Formationen består af tidevandsprægede og marine sandsten, som stort set er fossilløse med undtagelsen af få sporfossiler. Bølgeribber og krydslejringer ses hyppigt. Bastion Formationen følger oven på Kløftelv Formationen og har et veludviklet konglomerat ved bunden. Formationen består hovedsagelig af glaukonitholdige siltsten, skifre og sandsten med talrige horisonter, hvor der ses en stor koncentration af brachiopodskaller (figur 13) og mange mikrofossiler. Bastion Formationen efterfølges af Ella Island Formationen, der omfatter sandsten og skifre (med et rigt selskab af sporfossiler) og kalksten. Ella Island Formationen har velbevarede sedimentære strukturer, der blev deformerede, før sedimenterne var konsoliderede.

SEN TIDLIG KAMBRIUM – SEN KAMBRIUM: Den sen tidlig til sen kambriske lagserie omfatter kalksten, dolomitiseret kalksten og dolomitter og er stratigrafisk inddelt i Hyolithus Creek og Dolomite Point formationerne (figur 6).

Forekomsten af fossiler – selvom det er få - antyder en mellem kambrisk alder for Hyolithus Creek Formationen. Dolomite Point Formationen er praktisk taget helt uden fossiler, og kan derfor kun indirekte bestemmes til at være yngre end den underliggende mellem kambriske Hyolithus Creek Formation og ældre end den overliggende Antiklinalbugt Formation (Nedre Ordovicium).



Figur 16. Chertlag som markerer lagdelingen bestående af forkisledede fossiler; Cape Weber Formation, Ella Ø.

Narwhale Sound Formationen er den yngste nedre palæozoiske aflejringer på Ella Ø. Devone klastiske sedimenter følger ovenpå efter et markant stop i sedimentation (figur 11). Nord for Ella Ø og i andre områder af Nordøstgrønland findes dog yngre mellem ordoviciske aflejringer.

Heimbjerger Formationen findes i Heim Bjerger området og begynder med en serie af kalksten og dolomitter, der viser tidevandspåvirkning efterfulgt af lavvandede marine kalksten. Mindre rev opbygget af kolonidannende stromatoporider (svampe med kalkskelet) er hyppige i den øvre del af enheden. Heimbjerger Formationen afslutter den nedre palæozoiske lagserie i Fjordzonen.

BASSINUDVIKLING OG DANNELSE AF DEN KONTINENTALE PLATFORM

Den øvre senprækambriske til nedre palæozoiske lagpakke beskrives nedenfor i tidsintervaller som svarer til distinkte faser i udviklingen af bassiner og dannelse af den kontinentale platform (se boks 1).

PRÆ-PLATFORM SHELF (PRÆKAMBRIUM): De prækambriske terrestrisk-klastiske sedimenter og i mindre grad karbonatholdige sedimenter dannede en smal shelf på et sandsynligvis opsprækket prækambrisk grundfjeld, der var udsat for blokforkastninger. Kilden til de klastiske sedimenter var det forvitrede



Figur 14. Dolomithorisont fra toppen af Antiklinalbugt Formation, Ella Ø.



Figur 15. Stromatolitter overlejret af grovkornet kalksten, Cape Weber Formation, Ella Ø.



NEDRE ORDOVICIUM: Grænsen Kambrium–Ordovicium ligger ved toppen af Dolomite Point Formationen eller ved bunden af den overliggende Antiklinalbugt Formation, og det er sandsynligt, at formationsgrænsen repræsenterer en længere pause i sedimentationen. Formationerne i Nedre Ordovicium omfatter fra ældst til yngst: Antiklinalbugt, Cape Weber og Narwhale Sound (delvist). Aflejringerne er domineret af forskellige former for kalksten og dolomitter med mindre indslag af siliciklastisk materiale. Mindre kalkrevsdannelser er endvidere hyppige i flere horisonter

Antiklinalbugt Formationen omfatter bjergarter dannet under stigning i havniveau (transgression). Nederst ses således lavvands- til tidevandsprægede karbonater (dolomitter, dolomitiserede kalksten, stromatolitter og thrombolitter.

Disse efterfølges af lavvandsmarine kalksten og store revdannelser (figur 13), som er omgivet af kalkstensgrus. Den mellemste del af formationen er udviklet med vekslende lag af skifre, siltsten og tykke kalkstensbænke, der afspejler den maksimale del af transgressionen. Den øvre del af formationen er karakteriseret af meterskala cykliske aflejringer. Der kan iagttages makro- og mikro-fossiler, og trilobitter (*Hystricurus*) er hyppige. Brachiopoder, graptolitter og conodoner forekommer også, og alle viser entydigt, at formationen hører til den tidligste del af Ordovicium.

Cape Weber Formationen følger ovenpå Antiklinalbugt Formationen. På Ella Ø er der observeret en markant hiatus, som omfattede en længere periode, hvor der enten ikke er blevet aflejret sediment, eller hvor området har været udsat for forvitring. Hiatussen er markeret af en dolomit, der er et par meter tyk (figur 14), som kan følges henover øen. Hiatussen er også klart erkendt ved hjælp af fossiler, som viser at lagserien ikke er komplet (figur 6).

Cape Weber Formationen begynder med en serie af cyklisk aflejrede kalksten med stromatolitter og thrombolitter (figur 15). Denne serie efterfølges af



Figur 12. Glaukonitførende sand- og siltsten (øverst) med stormaflejrede brachiopodskaller (t.h.). Bastion Formation, Ella Ø.

overvejende marine kalksten med mange fossiler. I enheden findes også to mørkere kalksten med trilobitter, der viser at oceanet har trængt langt ind over området.

Flintlag er hyppige og karakteristiske i flere intervaller i Cape Weber Formationen (figur 16), og mange lagplaner er derved tydeligt markeret, da de består af nodular og usammenhængende flint eller chert. Ved nøjere eftersyn viser det sig, at cherten har replaceret tidligere kalkskallede fossiler, og som helhed er formationen meget fossilrig. Fossilgrupperne trilobitter, ostrakoder, brachiopoder, snegle, muslinger og cephalopoder er hyppige. Den øverste del af formationen består hovedsageligt af lavvandskarbonater.

Cape Weber Formationen efterfølges uden sedimentationsstop af Narwhale Sound Formationen. Denne består af dolomit, dolomittiske kalksten og kalksten.



Figur 13. Veludviklede revdannelser fra toppen af den nedre del af Antiklinalbugt Formation, Ella Ø. Øverst ses revdannelser i et skråt snit, mens de nederst ses i et snit som er parallelt med lagfladerne.

Mindre thrombolitter forekommer, og aflejringerne viser generelt lavvandede marine aflejringsforhold. Der ses fossiler og grænsen mellem Nedre og Mellem Ordovicium ligger indenfor formationen.