

# Arkæisk skorpedannelse i et højmetamorft grundfjeldsområde, Fiskefjordregionen, Vestgrønland

Adam A. Garde



# **Arkæisk skorpedannelse i et højmetamorft grundfjeldsområde, Fiskefjordregionen, Vestgrønland**

Adam A. Garde

ISBN 87-7871-031-6

Denne afhandling er i forbindelse med nedenfor anførte tidligere offentliggjorte afhandlinger af Det Naturvidenskabelige Fakultet ved Københavns Universitet antaget til offentligt at forsvares for den naturvidenskabelige doktorgrad.

København, den 9. september 1996

Henrik Jeppesen  
dekan

Forsvaret finder sted torsdag den 18. december 1997 kl. 14.15 i auditoriet,  
Geologisk Museum, Øster Voldgade 5, 1350 København K.

- 1) Garde, A. A. 1997: Accretion and evolution of an Archaean high-grade grey gneiss-amphibolite complex: the Fiskefjord area, southern West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* **177**, 115 pp.  
(hovedafhandling)
- 2) Garde, A. A. 1987: Geological map of Greenland, 1:100 000, Isukasia 65 V.2 Syd. Copenhagen: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- 3) Garde, A. A. 1989a: Retrogression and fluid movement across a granulite-amphibolite facies boundary in middle Archaean Nuk gneisses, Fiskefjord, southern West Greenland. In Bridgwater, D. (ed.) *Fluid movements - element transport and the composition of the deep crust*, 125-137. Dordrecht: Kluwer.
- 4) Garde, A. A. 1989b: Geological map of Greenland, 1:100 000, Fiskefjord 64 V.1 Nord. Copenhagen: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- 5) Garde, A. A. 1990: Thermal granulite-facies metamorphism with diffuse retrogression in Archaean orthogneisses, Fiskefjord, southern West Greenland. *Journal of Metamorphic Geology* **8**, 663-682.
- 6) Garde, A. A. 1991: Post-kinematic diorite intrusions in Archaean basement rocks around outer Fiskefjord, southern West Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* **39**, 167-177.
- 7) Garde, A. A., Larsen, O. & Nutman, A. P. 1986: Dating of late Archaean crustal mobilisation north of Qugssuk, Godthåbsfjord, southern West Greenland. *Rapport Grønlands geologiske Undersøgelse* **128**, 23-36.
- 8) Marker, M. & Garde, A. A. 1988: Border relations between the amphibolite facies Finnefeldt gneiss complex and granulite facies grey gneisses in the Fiskefjord area, southern West Greenland. *Rapport Grønlands geologiske Undersøgelse* **140**, 49-54.

# Indhold

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Forord .....                                                                      | 3  |
| Resumé .....                                                                      | 4  |
| Grå gnejs og amfibolit omkring Fiskefjord i det sydlige Vestgrønland:             |    |
| Oprindelse og udvikling af et Arkæisk grundfjeldsterræn .....                     | 6  |
| Indledning .....                                                                  | 6  |
| Suprakrustalsekvenser: feltrelationer, kemisk sammensætning og mulig oprindelse . | 7  |
| Den grå gnejs og yngre granitiske intrusioner .....                               | 9  |
| Feltrelationer og deformation .....                                               | 9  |
| Kemisk sammensætning og oprindelse .....                                          | 11 |
| Granulit facies og retrograd metamorfose samt metasomatose .....                  | 14 |
| Tak .....                                                                         | 18 |
| Referencer .....                                                                  | 19 |

# Forord

Nedenstående danske oversigt indeholder en kort sammenfattende redegørelse for de vigtigste forskningsresultater i de afhandlinger, som er anført på side 1. Hovedafhandlingen (nr. 1) består hovedsageligt af nyt materiale, men indeholder også sammenfatninger af de øvrige, tidligere offentliggjorte arbejder, og belyser disses rolle i helheden.

Jeg har i nærværende oversigt valgt at skrive på et videnskabeligt niveau, det vil i praksis sige for læsere med en geologisk baggrund, men jeg har formuleret mig bredere end i hovedafhandlingen på engelsk, og med mere vægt på baggrund, argumenter og konklusioner end på data. I nogle tilfælde har jeg benyttet engelske fagudtryk direkte, hvor en passende dansk oversættelse ikke var ved hånden. Jeg har også i den danske oversigt valgt, kun i meget begrænset omfang at lade teksten afbryde af referencer til egne eller andre forfatteres arbejder. På dette sted kan jeg henvise til, at både hovedafhandlingen og mine øvrige afhandlinger indeholder mange referencer til andre forskeres undersøgelser, som har været forudsætninger for mit eget arbejde.

Den foreliggende undersøgelse er karakteriseret ved at dække mange forskellige aspekter af Fiskefjord områdets geologiske historie, set i sammenhæng og undersøgt med mange forskellige metoder. Denne arbejdsmåde har sine begrænsninger, idet hver enkelt fagdisciplin ikke kan være helt i front, men den har samtidig muliggjort en indsigt i mange sider af det komplicerede hændelsesforløb, som er foregået i samspil mellem magmatiske processer, deformation og metamorfose. Den mest originale del - og nok også den mest kontroversielle - er efter min egen bedømmelse undersøgelsen og tolkningen af den retrograde metamorfose, som fandt sted i store dele af Fiskefjord området for omkring 3000 mill. år siden. Netop den brede angrebsvinkel, hvor mange forskellige former for observationer og data har kunnet inddrages, har ført til, at min oprindelige tolkning heraf i afhandling (3) og (5) har kunnet uddybes og underbygges i hovedafhandlingen.

Nærværende undersøgelse inddrager ikke direkte økonomisk-geologiske aspekter, til dels fordi det på et forholdsvis sent tidspunkt viste sig, at et stort antal prøver, som blev analyseret for guld, desværre var blevet kontamineret under nedknusningen for år tilbage. Det er dog mit håb, at klarlæggelsen af en mangfoldighed af geologiske hændelser i Fiskefjord området kan medvirke til opstilling af mineraliseringsmodeller for dette og beslægtede grundfjeldsområder.

## Resumé

Fiskefjord området er ca. 3200-3000 mill. år gammelt og befinder sig i den Arkæiske blok i den sydlige del af Vestgrønland (Fig. 1). Dette grundfjeld består af et antal mikrokontinenter, terræner, som oprindeligt var selvstændige og har forskellige aldre, og som først blev samlet til et egentligt kontinent i Senarkæisk tid. Fiskefjord området udgør en væsentlig del af Akia terrænet, som mod sydøst grænser op til Akulleq terrænet; sidstnævnte terræn indeholder de i geologisk sammenhæng berømte Isua supra-krustaler af tidlig Arkæisk alder.

Fiskefjord området består hovedsageligt af grå gnejs af magmatisk oprindelse, samt fragmenter af suprakrustale sekvenser domineret af amfibolit. Disse to grupper udgør tilsammen et grå gnejs-amfibolit kompleks, hvis oprindelse og udvikling beskrives.

På trods af, at de fleste af Fiskefjord områdets amfibolitter og beslægtede suprakrustaler er forholdsvis stærkt omdannede, er det en væsentlig konklusion af nærværende undersøgelse, at de oprindeligt har haft en MORB-lignende (MORB = 'Mid-Ocean Ridge Basalt') tholeiitisk kemisk sammensætning (Fig. 2), og kan repræsentere fragmenter af en eller flere Arkæiske oceanbundssekvenser. Det påvises i øvrigt, at en stor del af amfibolitterne formentlig slet ikke er ekstrusive, men evt. subvulkanske intrusiver samt dele af to store, nu kun fragmentarisk bevarede, lagdelte mafiske-ultramafiske komplekser.

Størsteparten af Fiskefjord området består af grå gnejs og granitiske intrusiver (Fig. 3). Deres dannelsesmåde og tektonisk/metamorfe udvikling udgør det andet hovedemne, og de vigtigste geologiske enheder, magmatiske, tektoniske og metamorfe hændelser, samt relevante aldersbestemmelser er samlet i Tabel 1. Den grå gnejs er formentlig overvejende dannet ved partiel opsmeltning af subducerede hydrerede oceanbundsbasalter i et konvergent pladetektonisk miljø, hvorimod de granitiske bjergarter er dannet ved remobilisering af grå gnejs i den mellemste del af den kontinentale jordskorpe. En særlig gruppe dioritiske enklaver i den grå gnejs, som er geografisk begrænset omkring den centrale del af Fiskefjord, har et usædvanligt geokemisk berigelsesmønster, som hvad angår elementfordeling (men ikke absolutte koncentrationer) kan minde om det, man finder i lamproiter. Metasomatiseret kappe (lokal kontakt med karbonatitmagma?) menes at have udgjort en del af kilden til disse specielle bjergarter.

Den grå gnejs består af to hovedgrupper med lidt forskellig alder. Den ældste er Nordlandet diorit, ca. 3220 mill. år gammel, som findes i den sydvestlige del af området og fortsætter mod syd til spidsen af Nordlandet. Resten af den grå gnejs samt de to store tonalitkomplekser: Finnefjeld gnejs komplekset mod nordvest og Taserssuaq tonalit komplekset mod nordøst, er alle dannet i perioden 3040-3000 mill. år. Granodioritiske og granitiske, domeformede intrusiver og 'sheets', dannet ved remobilisering fra den grå gnejs, er samtidige eller lidt yngre.

Størstedelen af Fiskefjord området, undtagen dets østligste del, blev udsat for granulit facies metamorfose omtrent samtidig med, at den kontinentale skorpe blev dannet. Flere undersøgelser tyder på, at granulit facies metamorfosen var af thermal karakter og udviklet ved moderat tryk (ca. 800-850°C, 8 kbar), forårsaget af ophobning af varme i den mellemste skorpe ved gentagen intrusion af tonalitisk magma. CO<sub>2</sub> menes ikke at

have spillet en væsentlig rolle ved dehydreringsprocesserne. De sydvestlige og vestlige dele af området, som repræsenterer det dybeste erosionssnit, har næsten overalt bevaret granulit facies mineralparageneserne, hvorimod den grå gnejs i den centrale del af området er retrograderet til amfibolit facies og rekrystalliseret med sekundære amfibol-kvarts sammenvoksninger og biotit - ofte samlet i op til centimeterstore pletter ('blebby texture', formentlig pseudomorfoser efter hypersthen). Mineralerne i disse bjergarter viser ofte morfologiske og kemiske tegn på uligevægt. Der er også tegn på, at selv de primære amfibolit facies parageneser i den østligste del af området har været let påvirket af retrograd metamorfose (nyvækst af biotit).

Traditionelt tolkes retrograd metamorfose som et resultat af sene hændelser, som er granulit facies metamorfosen uvedkommende - for eksempel plastisk deformation lokaliseret i shear zoner, eller overskydning af tør granulit facies skorpe over skorpe i en lavere metamorf facies. I tilfældet Fiskefjord (Fig. 4-5) er der imidlertid flere gode grunde til at antage, at den retrograde metamorfose var næsten samtidig med den fortsatte, prograde granulit facies metamorfose i et lidt dybere skorpeniveau; blandt andet viser en undersøgelse af deformationshistorien, at stejltstående, lineære, nord-syd orienterede zoner med stærkt deformerede gnejser (som kunne antages at kanalisere vandige fluider ved en senere retrograd hændelse) blev anlagt og udviklet allerede under granulit facies metamorfosen. Rehydreringen af den øverst liggende del af granulit facies niveauet er sket ved hjælp af granitiske smelter dannet ved 'dehydration melting', muligvis hypersaline fluider koeksisterende med disse smelter, samt vandige fluider frigivet under granitternes størkning.

Både granulit facies metamorfosen og den retrograde metamorfose var ledsaget af migration af LIL ('large-ion lithophile') elementer (f. eks. Pb og Rb, Fig. 3), som i øvrigt har muliggjort en uafhængig bedømmelse af alderen på den retrograde metamorfose.

Fiskefjord området indeholder omkring en snes usædvanlige, op til et par km store post-kinematiske dioritiske intrusiver af uregelmæssig form. De post-kinematiske dioriter er af Arkæisk alder, knap 3000 mill. år gamle, dvs. kun lidt yngre end den grå gnejs. De har specielle mineralteksturer og er stærkt berigede på kappe-kompatible hoved- og sporelementer, men indeholder meget små mængder af LIL elementer. De er dannet af (formentligt overophedede) ultramafiske smelter, som er blevet kraftigt kontamineret med den lokale grå gnejs.

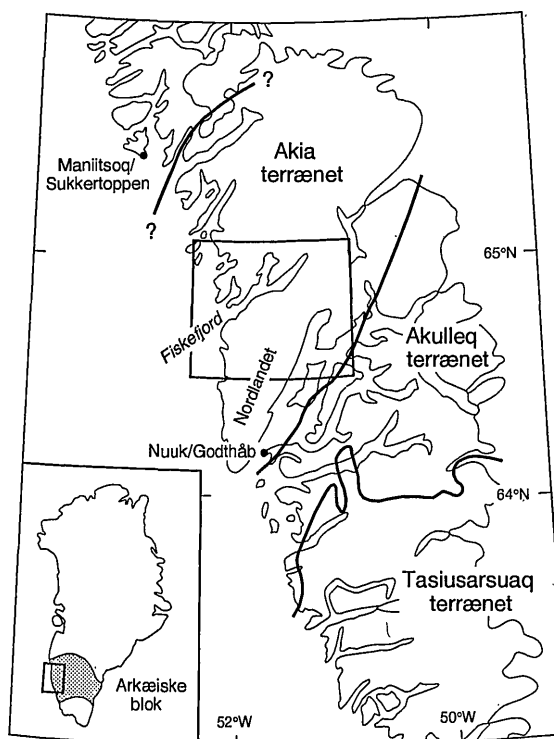
Nedre Proterozoisk aktivitet i den Arkæiske blok - som har været sat i forbindelse med dannelsen af de Ketilidiske og Nagssugtoqidiske foldebælter mod syd og nord - omfatter i Fiskefjord området dannelsen af flere større forkastninger og intrusion af flere grupper af basiske gange samt en enkelt mikrogranitisk gang. Sidstnævnte, som er kraftigt beriget i LIL sporelementer, er opsmeltet fra Arkæisk skorpe og vidner om lokal opvarmning til over 600°C.

# Grå gnejs og amfibolit omkring Fiskefjord i det sydlige Vestgrønland: Oprindelse og udvikling af et Arkæisk grundfjeldsterræn

## Indledning

Fiskefjord området er ca. 3200-3000 mill. år gammelt og er en del af det Arkæiske grundfjeld i den sydlige del af Grønland, sædvanligvis kaldet den Arkæiske blok. Grundfjeldet består af et antal selvstændige mikrokontinenter, terræner (engelsk: terranes) med forskellig alder, som først blev samlet til et egentligt kontinent i sen Arkæisk tid for ca. 2750-2650 mill. år siden. Fiskefjord området tilhører Akia terrænet (Fig. 1), hvis nordlige grænse ikke er kendt; nye aldersbestemmelser tyder på, at grænsen befinder sig øst for Maniitsoq/Sukkertoppen. Mod sydøst støder Akia terrænet op til Akulleq terrænet, som er den mest undersøgte og bedst kendte del af den Arkæiske blok. Dette terræn indeholder bl. a. de i Arkæisk geologisk sammenhæng berømte Isua suprakrustaler og Amîtsoq gnejser, som er af tidlig Arkæisk alder.

**Figur 1.** Beliggenheden af tre tektono-stratigrafiske terræner (Akia, Akulleq og Tasiusarsuaq) i den Arkæiske blok i Vestgrønland, med Fiskefjord området vist i den sydlige del af Akia terrænet. Den nøjagtige placering af Akia terrænets nordlige grænse kendes ikke.



Arkæiske grundfjeldsområder har traditionelt været opdelt i to hovedgrupper: granit-grønstenskomplekser og grå gnejs-amfibolit komplekser, og Fiskefjord området er i de fleste henseender en typisk repræsentant for den sidstnævnte gruppe. Denne opdeling af det Arkæiske grundfjeld afspejler umiddelbart, at de to slags komplekser er bevaret i forskellige niveauer af den kontinentale jordskorpe, men der er uenighed om, hvorvidt de også repræsenterer fundamentalt forskellige dannelsesmiljøer.

Siden den enorme betydning af pladetektoniske processer for udformningen af kontinenter og oceaner i den senere del af Jordens historie blev endeligt fastslået i

årene omkring 1970, har det været diskuteret, hvor langt tilbage i tiden disse processer har været dominerende. Smelteeksperimenter, geokemiske undersøgelser og feltundersøgelser med moderne strukturgeologiske metoder har i de seneste år medført, at pladetektoniske tolkninger af Arkæiske geologiske miljøer er blevet almindeligt anerkendt, men det er stadig uafklaret, om 'mantle plumes' eller oceanbundsspredning, eller begge, var dominerende ved dannelsen af Arkæiske grønsten, amfibolitter og beslægtede bjergarter (der er dog almindelig enighed om, at komatiitter, hvor de forekommer, skyldes 'mantle plume' aktivitet). Desuden er der stadig ikke påvist entydige eksempler på Arkæisk oceanbund noget sted i verden; Arkæiske grønstensbælter er ofte velbevarede og indeholder ofte store mængder tholeiitisk pudelava, men mange er aflejret på et fundament af ældre kontinental skorpe, eller må af andre grunde afvises som værende oceanbund. Arkæiske amfibolitter fra grå gnejs-amfibolit komplekser er som regel så omdannede af deformation og metamorfose, at deres feltrelationer med omgivende bjergartsenheder er tvetydige, og at deres oprindelse ikke kan fastslås visuelt. Hertil kommer, at deres kemiske sammensætning ofte må formodes at være påvirket af metasomatose.

I det følgende beskrives oprindelse og udvikling af Fiskefjord områdets hovedkomponenter, gnejs og amfibolit, i korte træk. En oversigt over de vigtigste geologiske enheder samt magmatiske, tektoniske og metamorfe hændelser og relevante aldersbestemmelser er samlet i Tabel 1.

## **Suprakrustalsekvenser: feltrelationer, kemisk sammensætning og mulig oprindelse**

Den suprakrustale association i Fiskefjord området består af store og små fragmenter, som stammer fra en eller flere oprindelige enheder af in- og ekstrusive basiske magmabjergarter, kumulative ultrabasiske bjergarter og lidt metasediment. Den suprakrustale association findes adskilt af yngre grå gnejs af intrusiv oprindelse, og er sandsynligvis også påvirket af tidlige overskydninger, både internt og langs amfibolit-gnejs kontakter. Suprakrustalfragmenterne indeholder tidlige folder, og er igen deformeret i flere faser og metamorfoseret sammen med den grå gnejs. Den mest almindelige bjergart er en homogen, fin- til mellemkornet amfibolit, metamorfoseret i amfibolit eller (oftest) i granulit facies, og flere steder associeret med deformerede, linse- til pladeformede noritiske og dunitiske legemer af kumulativ magmatisk oprindelse. Tilsammen udgør disse bjergarter to eller flere lagdelte komplekser, hvis nøjagtige udbredelse dog ikke kendes. Et af disse komplekser findes i den centrale del af området på begge sider af Fiskefjord, et andet i området nordøst for Tovqussap nunâ i områdets nordvestlige del. Heterogene amfibolitter, som med rimelig sandsynlighed kan tilskrives ekstrusiv submarin oprindelse, kendes mest fra den østlige del af området; det er værd at bemærke, at denne del også repræsenterer det højeste skorpeniveau - jævnfør udbredelsen af granulit facies bjergarter, se nedenfor. Ultrabasiske lavaer og høj-magnesium basalter (som er almindelige i mange Arkæiske grønstensbælter) er ikke fundet, men i det østlige område forekommer også leuco-amfibolit (oprindeligt andesit?) og sparsomt pelitisk metasediment. Det er i øvrigt meget karakteristisk for Fiskefjord området, at sedimentære bjergarter kun udgør en lille del af suprakrustalerne, og at kvartsrige enheder er omtrent helt fraværende. Dette er et væsentligt argument for, at den suprakrustale association af bjergarter kan have haft en oceanisk oprindelse.

| Magmatisk aktivitet                                                                               | Tektoniske hændelser                                                                                                                                        | Metamorfose                                                                                           | Isotopdata<br>(aldersbestemmelser i mill. år)                                                                                                                | Reference<br>til isotopdata         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Midtarkæisk tid</b>                                                                            |                                                                                                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
| Oceanisk? suprakrustal association                                                                |                                                                                                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
| Magmatiske forgængere til Nordlandet dioritisk gnejs (antallet af intrusive faser ukendt)         | Tidlig deformation af den suprakrustale association og dioritisk gnejs                                                                                      |                                                                                                       | 3221 ±13, SHRIMP zirkon U-Pb Nordlandet dioritisk gnejs                                                                                                      | Garde (1997)                        |
| Anden (oceanisk?) suprakrustal association?                                                       | Foldning og overskydning inden for den suprakrustale association                                                                                            | Tidlig thermal begivenhed (?granulit facies)                                                          | c. 3180, SHRIMP zirkon U-Pb Nordlandet dioritisk gnejs                                                                                                       | Garde (1997)                        |
| Magmatiske forgængere til Qeqertassaq diorit (antallet af intrusive faser ukendt)                 | Samling af Nordlandet dioritisk gnejs, dioritisk-tonalitiske-trondhjemitisk gnejs (hver med deres suprakrustale enklaver), samt måske suprakrustale enheder |                                                                                                       | 3112 ±40?, 'whole rock' Pb-Pb (kombineret fra flere enheder)                                                                                                 | Garde (1989, 1990)<br>Garde (1997)  |
| Magmatiske forgængere til hovedgruppen af grå gnejs (mange intrusive faser)                       |                                                                                                                                                             |                                                                                                       | 3044 ±7, SHRIMP zirkon U-Pb Qeqertassaq diorit                                                                                                               | Garde (1997)                        |
|                                                                                                   | Overskydning i højt skorpeniveau langs amfibolit-grå gnejs kontakter (f. eks. på Angmagssiviup nunå)                                                        | Prograd metamorfose                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                     |
| Fortsat magmatisk dannelse af kontinental skorpe                                                  | Midterhøj deformationsfase (liggende isoklinale folder) centralt i Fiskefjord området og måske på Tovqussap nunå                                            | Muligvis allerede granulit facies P-T betingelser i de sydlige og vestlige dele af Fiskefjord området | 2954 ±120, 'whole-rock' Rb-Sr Amfibolit facies grå gnejs, Qugssuk                                                                                            | Garde (1989, 1990)                  |
|                                                                                                   | Smalledal deformationsfase (udbredte liggende, Ø-V orienterede isoklinale folder)                                                                           |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
| Intrusion af mesoperthit granit 'sheets'                                                          | Påkitsoq deformationsfase (udbredte stående til overkippede, S-dykkende folder)                                                                             | Granulit facies metamorfose fortsætter efter Påkitsoq deformationsfasen                               |                                                                                                                                                              |                                     |
| Intrusion af trondhjemitiske og granitiske bjergarter                                             | Udvikling af tidlige domestrukturer, f. eks. på Tovqussap nunå og syd for Fiskefjord                                                                        |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
|                                                                                                   | Plastisk deformation langs N-S orienterede 'high strain' zoner                                                                                              | Sent granulit facies stadie                                                                           |                                                                                                                                                              |                                     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                             | Omfattende 'high-grade' retrograd metamorfose                                                         | 3137 ±172, 'whole-rock' Rb-Sr Grå gnejs, indre Fiskefjord                                                                                                    | Garde (1997)                        |
| Intrusion af Finnefeld gnejs komplekset (få, store intrusive faser, af hvilke fire identificeret) | Plastisk deformation langs den sydøstlige grænse af Finnefeld gnejs komplekset                                                                              |                                                                                                       | 3067 <sup>+42</sup> , zirkon U-Pb<br>3058 ±123, 'whole-rock' Rb-Sr<br>3034 ±134, 'whole-rock' Rb-Sr<br>'whole-rock' Pb-Pb data<br>Finnefeld gnejs komplekset | Garde (1990)<br>Garde (1997)        |
| <b>Midt- til Senarkæisk tid</b>                                                                   |                                                                                                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
| Intrusion af Taserssuaq tonalit komplekset (få, store intrusive faser)                            | Udvikling af domer                                                                                                                                          | Lokalt granulit facies P-T betingelser i den vestlige del af Taserssuaq tonalit komplekset            | 2982 ±7, zirkon U-Pb<br>2882 ±36, 'whole-rock' Rb-Sr<br>2930 ±100, 'whole-rock' Rb-Sr<br>Taserssuaq tonalit kompleks                                         | Garde et al. (1986)<br>Garde (1997) |
| Intrusion af Igánánguit granodiorit                                                               | Dannelse af Igánánguit domen                                                                                                                                |                                                                                                       | 2935 ±240, 'whole-rock' Rb-Sr<br>3092 ±48(?), 'whole-rock' Pb-Pb<br>Igánánguit granodiorit                                                                   | Garde et al. (1986)<br>Garde (1997) |
| Intrusion af Qugssuk granit og beslægtede granit 'sheets', f. eks. i det nordlige Nordlandet      | Lokale domer<br>Lokal plastisk deformation langs N-S orienterede zoner                                                                                      | Lokal retrogradering omkring granitintrusioner                                                        | 2969 ±32, 'whole-rock' Rb-Sr<br>2842 ±85, 'whole-rock' Rb-Sr<br>Qugssuk granit                                                                               | Garde et al. (1986)<br>Garde (1997) |
| Intrusion af post-kinematisk diorit, mest i den nord-vestlige del af området                      | Regional deformation ender                                                                                                                                  | Auto-retrogradering; måske blev dioriterne også påvirket af regional retrogradering                   | 3017 <sup>+12</sup> , zirkon U-Pb (zirkoner tolket som kogenetiske) Rb-Sr data<br>Post-kinematisk diorit                                                     | Garde (1991)<br>Garde (1997)        |
| <b>Senarkæisk tid?</b>                                                                            |                                                                                                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
| Pegmatitintrusion?                                                                                | Akia terrænet og naboterræner samles<br>Reaktivering af 'high-strain' zoner                                                                                 | Fornyset lokal retrogradering langs reaktiverede zoner                                                | (c. 2750)                                                                                                                                                    | McGregoret al. (1991)               |
| Pegmatitintrusion?<br>(Intrusion af Qôrqut granit komplekset i Akulleq terrænet)                  |                                                                                                                                                             | Thermal begivenhed                                                                                    | c. 2500, plagioklas, titanit, apatit, Rb-Sr mineral aldre<br>Taserssuaq tonalit kompleks                                                                     | Garde et al. (1986)                 |
| <b>Proterozoisk tid</b>                                                                           |                                                                                                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                     |
| Intrusion af N-S gående høj-Mg og beslægtede gange, efterfulgt af basiske gange i andre retninger | Forkastning langs Fiskefjord forkastningen og et tilhørende, konjugeret system af NØ- og VNV-orienterede forkastninger                                      | Lokal retrogradering langs gange og forkastninger                                                     | c. 2200, 'whole-rock' Rb-Sr<br>SHRIMP zirkon U-Pb<br>Høj-Mg- og mafiske gange                                                                                | Bridgwater et al. (1995)            |
| Intrusion af mikrogranit gang ved Qugssuk                                                         |                                                                                                                                                             | Svag thermal begivenhed                                                                               | 2085 <sup>+55</sup> , zirkon U-Pb<br>Mikrogranitisk gang ved Qugssuk                                                                                         | Garde (1997)                        |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                             | Svag thermal begivenhed                                                                               | ca. 1690, epidote, biotit Rb-Sr<br>Taserssuaq tonalit kompleks                                                                                               | Garde et al. (1986)                 |

**Tabel 1. Magmatiske, tektoniske og metamorfe hændelser i Fiskefjord området, og isotopdata fra området. Bemærk den store koncentration af hændelser omkring ca. 3000 mill. år, med overlappende isotopaldre.**

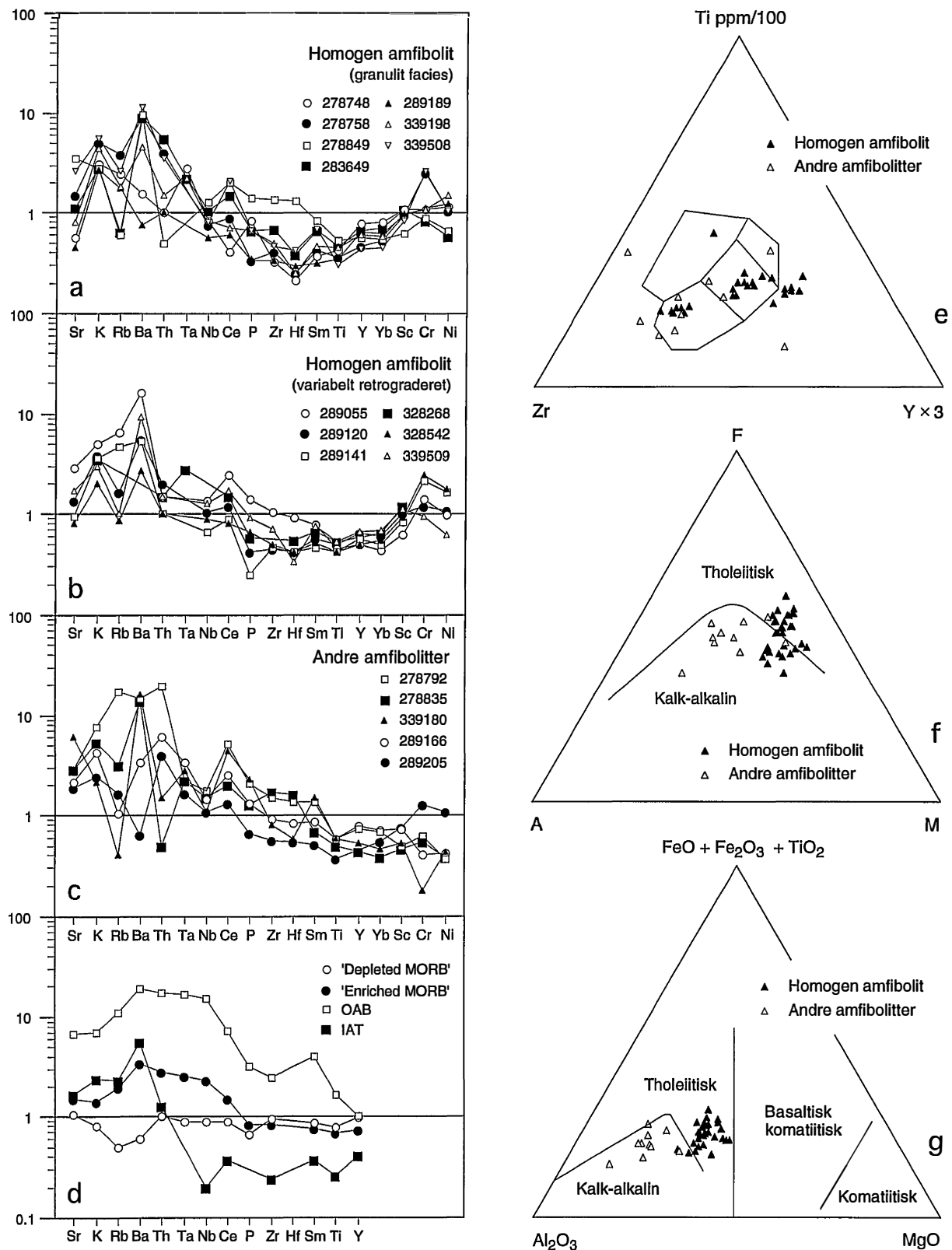
Geokemisk set har den homogene amfibolit mange ligheder med recent normal-type MORB (Fig. 2) bortset fra varierende og til tider kraftig berigelse i LIL elementer som K, Rb, Ba og Th. Desuden er indholdet af Ti og andre immobile, kappe-inkompatible elementer lavt, men der er ingen Nb-anomali i forhold til MORB, hvorfor det ikke er nærliggende at tolke den homogene amfibolit som øbue-tholeiit. Sammenligning med geokemiske undersøgelser af andre amfibolitsekvenser fra den Arkæiske blok viser, at også de fleste af disse har tholeiitisk sammensætning men oftest er beriget i varierende grad med LIL elementer, ligesom i Fiskefjord området; berigelsen skyldes formentlig overalt post-magmatisk omdannelse.

Det kan ikke afgøres med sikkerhed, om den suprakrustale association i Fiskefjord området virkelig er af oceanisk oprindelse, men det er en åben mulighed og min foretrukne fortolkning - trods uenighed i litteraturen om, hvorvidt pladetektonik i moderne forstand overhovedet spillede en vigtig rolle i Arkæisk tid. En væsentlig grund til denne uenighed er, at Jordens varmeproduktion ved radioaktivt henfald af K, Th og U var væsentligt større dengang, og eftersom de Arkæiske kontinenter generelt ikke viser tegn på stejle thermale gradienter (det gælder også for det Arkæiske Vestgrønland i almindelighed og Fiskefjord området i særdeleshed), må varmen være ført ud gennem de oceaniske områder. Nogle forskere er af den opfattelse, at størstedelen af den oceaniske skorpes basalter dannedes sammen med komatiitter i forbindelse med 'mantle plumes', og at den oceaniske skorpe var for varm og blød til pladetektonisk aktivitet; andre mener, at midt-oceaniske rygge med MORB-dannelse samt forholdsvis stive oceaniske plader (og dermed pladetektonik i en form der minder om den nuværende), fandtes side om side med 'mantle plume' aktivitet lokaliseret i andre områder. Der er dog enighed om, at den Arkæiske oceanskorpe under alle omstændigheder generelt var varmere end senere i Jordens historie, og aldrig blev ret gammel på grund af livlig magmatisk og geotektonisk aktivitet. Fiskefjord områdets suprakrustale association, *uden* ultrabasiske lavaer men *med* forskellige tegn på mulig oceanisk oprindelse, kunne passe ind i sidstnævnte scenarie.

## Den grå gnejs og yngre granitiske intrusioner

### Feltrelationer og deformation

Den grå gnejs i Fiskefjord området består af ca. 3220 mill. år gammel Nordlandet dioritisk gnejs i den sydvestlige del af Fiskefjord området (og i resten af Nordlandet sydover; den er i realiteten brunlig på grund af granulit facies metamorfose), og af dioritisk-tonalitisk-trondhjemitisk gnejs i resten af området, som giver aldre på omkring 3000 mill. år, se Tabel 1. Den grå gnejs' magmaer er intruderet i form af utallige faser af omtrent samme alder og sammensætning, og ses ofte som lyse, næsten konkordante lag i den suprakrustale association af mørke bjergarter. Det meste af den grå gnejs har for ca. 3000 mill. år siden været udsat for granulit facies metamorfose, men er helt eller delvis retrograderet. Beslægtet med den grå gnejs, men lidt yngre, er Finnefjeld gnejs komplekset mod nordvest og Taserssuaq tonalit komplekset mod nordøst, som hvad angår kemisk sammensætning stærkt minder om den grå gnejs, men helt (Finnefjeld gnejs komplekset) eller delvis (Taserssuaq tonalit komplekset) er intruderet efter granulit facies metamorfosen. De to komplekser dækker hver for sig områder på over 10 000



**Figur 2. (a-c)** MORB-normaliserede 'spider' diagrammer af homogen amfibolit (ingen forskel mellem granulit facies og delvis retrograderede amfibolitter), sammenholdt med **(d)** moderne basalter fra forskellige miljøer. 'Andre amfibolitter' er leuco-amfibolit m.v. fra den østlige del af Fiskefjord området.

**(e-g)** Almindeligt benyttede trekantdiagrammer visende de samme bjergartsgrupper; figurene viser samstemmigt, at den homogene amfibolit, bortset fra berigelse af LIL elementer, minder om MORB i kemisk sammensætning, og at leuco-amfibolit m.v. har kalk-alkalin karakter.

km<sup>2</sup> og består af få, større intrusive faser. Deres domeagtige form tyder på, at de er trængt op i en varmere og tørrere skorpe end den grå gnejs, i vid udstrækning ved gravitativt betinget opstigning - i modsætning til den grå gnejs, hvor i hvert fald de tidlige faser af dens magmaer er indplaceret i tensionsbetingede sprækkesystemer i en forholdsvis våd værtsbjergart.

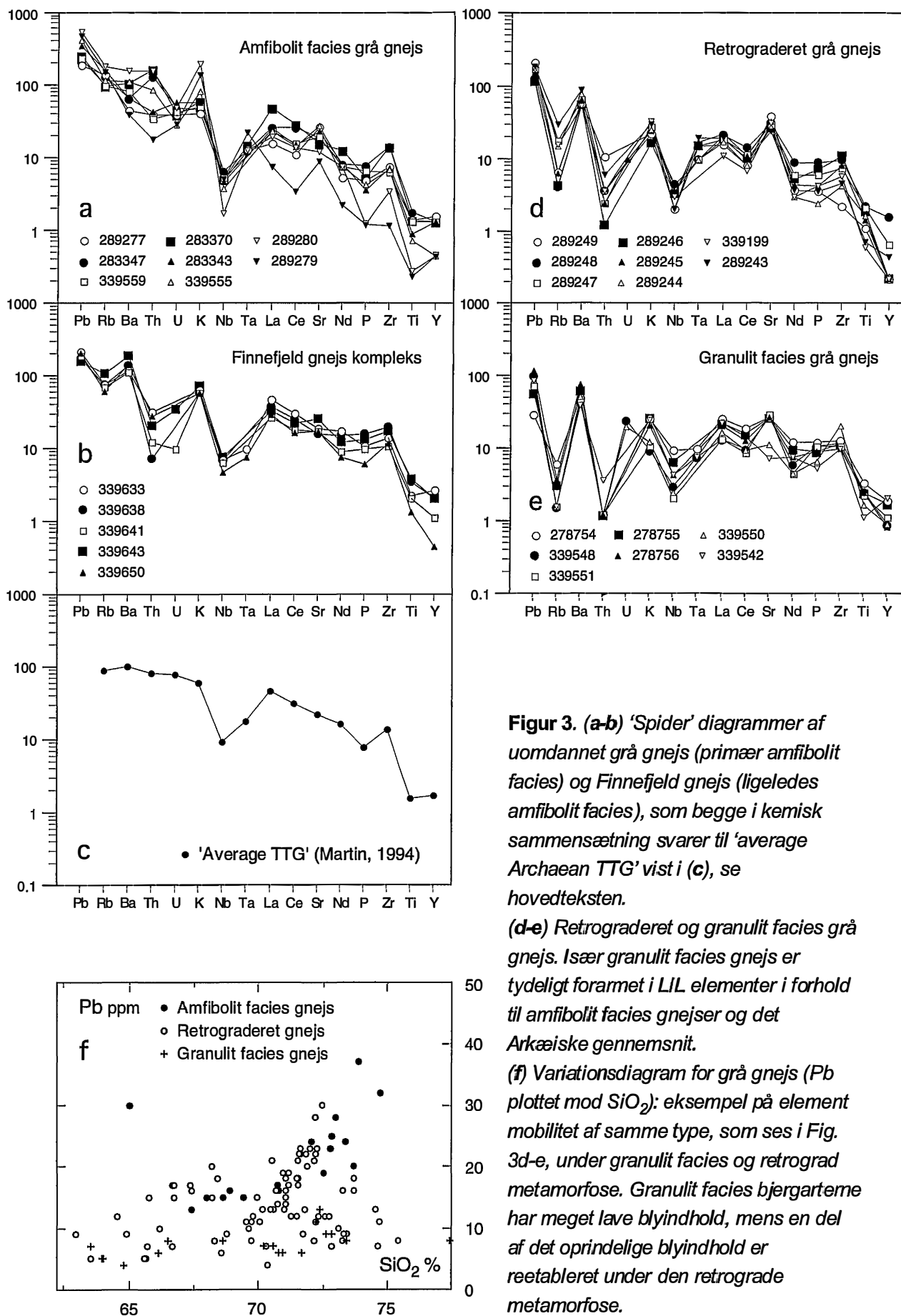
Mens den kontinentale skorpe blev opbygget, blev den også deformeret og metamorfoseret. Berthelsen (1960) opstillede et kompliceret forløb af foldning og deformation på halvøen Tovqussap nunâ i den nordvestlige del af Fiskefjord området, og selv om man på daværende tidspunkt generelt tolkede grå gnejs som omdannede kvarts-feldspatrige sedimenter, og Berthelsen's teoretiske udgangspunkt før deformationen var en plan lagpakke, har de senere undersøgelser i store træk kunnet bekræfte Berthelsen's deformationsfaser. Tidlig overskydningstektonik mellem enheder af amfibolit og gnejs, som kun stedvis kan erkendes, blev efterfulgt af mindst to faser med fladtliggende isoklinale folder af dimensioner på mange kilometer, og derefter en fase præget af mindre, stående til overkippede folder med sydligt dykkende foldeakser. Denne fase foregik i et knap så plastisk deformationsmiljø som tidligere, og var samtidig med granulit facies metamorfosen. Der forekom også lokalt intrusion af en tidlig generation af granit, i form af fladtliggende til stejltstående granitiske 'sheets' karakteriseret ved deres homogene, granulære tekstur og mesoperthitisk alkalifeldspat. Deformationsmønsteret på dette tidspunkt indikerer et øst-vest orienteret maksimalt stressfelt, efterhånden suppleret med gravitativt betingede vertikale bevægelser.

Herefter blev en stor del af granulit facies området udsat for retrograd metamorfose. Partiel opsmeltning af grå gnejs i et dybere skorpeniveau førte til intrusion af granitoider i form af den ca. 10 × 20 km store, sammensatte Igánánguit dome i den nordøstlige del af området (Igánánguit granodiorit), og i form af semikonkordante granitiske lag i området nord og øst for Qugssuk (Qugssuk granit). I randzonen af Igánánguit domen blev den delvis krystalliserede granodiorit deformeret samtidig med, at domen udviklede sig, hvorimod hverken Igánánguit granodioriten eller Qugssuk granitten har været udsat for regional deformation, efter at de var på plads.

## **Kemisk sammensætning og oprindelse**

Under eget og kollegers feltarbejde blev den grå gnejs opdelt i to hovedgrupper, en ældre gruppe af dioritisk gnejs, en yngre af tonalitisk gnejs, samt forskellige yngre og/eller mere leukokratiske enheder, og under det senere arbejde med flere hundrede kemiske analyser af grå gnejs og beslægtede bjergarter kunne denne opdeling bibeholdes stort set uændret. I denne korte oversigt skal kun hovedgruppen af tonalitisk-trondhjemitisk gnejs behandles.

Hovedparten af den grå gnejs samt Finnefjeld og Taserssuaq komplekserne består af tonalit samt trondhjemit og lidt granodiorit ('TTG-serien'). Den foreliggende undersøgelse har dokumenteret, at metamorfe processer har været ledsaget af metasomatose i den grå gnejs, som i væsentlig grad har påvirket LIL elementer. De mindst omdannede af de ovenfor nævnte bjergartsgrupper, som ikke har været udsat for granulit facies metamorfose og retrogradering (amfibolit facies grå gnejs, samt Finnefjeld og Taserssuaq komplekserne), har en gennemsnitlig sammensætning, der svarer ret nøje til de nyeste kompilationer i litteraturen af 'average Archaean TTG' (Fig. 3a-c). Disse



**Figur 3. (a-b)** 'Spider' diagrammer af uomdannet grå gnejs (primær amfibolit facies) og Finnefjeld gnejs (ligeledes amfibolit facies), som begge i kemisk sammensætning svarer til 'average Archaean TTG' vist i (c), se hovedteksten.

**(d-e)** Retrograderet og granulit facies grå gnejs. Især granulit facies gnejs er tydeligt forarmet i LIL elementer i forhold til amfibolit facies gnejser og det Arkæiske gennemsnit.

**(f)** Variationsdiagram for grå gnejs (Pb plottet mod SiO<sub>2</sub>): eksempel på element mobilitet af samme type, som ses i Fig. 3d-e, under granulit facies og retrograd metamorfose. Granulit facies bjergarterne har meget lave blyindhold, mens en del af det oprindelige blyindhold er reetableret under den retrograde metamorfose.

bjergarter er karakteriseret ved forholdsvis høje Na/K forhold i de sure endelede, forholdsvis høje indhold af Ba, Sr samt Zr, moderate indhold af sporelementer som Rb, Pb, Th og U, og ikke mindst lave indhold af Nb, Ta og Ti og stærkt fraktionerede sjældne jordartsspektre normaliseret i forhold til Jordens kappe; de lette sjældne jordarter (La, Ce, Nd) er beriget med en faktor 10-100, mens de tunge sjældne jordarter (Yb, Lu) samt Y har en lav berigelsesfaktor på kun ca. 0.5-5.

Sammenholdt med den grå gnejs' feltforhold - intruderet i den suprakrustale association, som hovedsageligt består af amfibolitter med tholeiitisk, MORB-lignende sammensætning - er denne konklusion af væsentlig betydning for tolkningen af den grå gnejs' oprindelse. Mange undersøgelser har vist, at der omkring tidspunktet for grænsen mellem Arkæikum og Proterozoikum skete et generelt (men dog ikke universelt) skift i sammensætningen af de kvarts-feldspatrige orthognejser, som udgør hovedparten af de Prækambriske grundfjeldsskjolde. Arkæiske orthognejser er domineret af TTG-serier, hvorimod yngre grundfjeldsområder er domineret af kalk-alkaline, overvejende granodioritiske serier; der findes dog adskillige undtagelser fra dette mønster. Det menes, at moderne kalk-alkaline batholitter i konvergente pladetektoniske miljøer dannes ved opsmeltning af en kile af Jordens kappe oven over den subducerede oceaniske plade. Vandige fluider frigjort fra den subducerede plade, formentlig beriget med LIL elementer, muliggør en partiel opsmeltning af denne del af kappen. De typiske smelteprodukter er kalk-alkaline serier, hvis senere faser er domineret af granodioritiske plutoner med K<sub>2</sub>O-rige endelede og svagt fraktionerede jordartsspektre.

Den subducerede oceaniske basaltiske skorpe er normalt for kold til, at den kan nå at smelte, inden dens indhold af vand er afgivet til kappekilen ved metamorfe mineralreaktioner - men hvis det sker, bliver smelteproduktet forskelligt fra den ovenfor beskrevne smelte fra kappen. Smelteforsøg med hydrerede tholeiitiske basalter foretaget inden for de seneste år har vist, at smelter med TTG-sammensætning kan produceres i realistiske mængder og under tryk- og temperaturforhold, der er realistiske for en oceanisk plade under subduktion - vel at mærke, hvis den er både *varm* og *vandholdig*. Opsmeltning af en tilsvarende, men tør basaltisk bjergart sker ved væsentligt højere temperatur og resulterer i små mængder af smelte med granodioritisk til granitisk sammensætning.

Partiel opsmeltning af hydreret basalt som beskrevet ovenfor efterlader et residuum rigt på hornblende og granat samt en titanrig fase, sandsynligvis titanit. Det er almindeligt kendt, at både tilstedeværelsen af hornblende og granat som residualfaser medfører en kraftig fraktionering af de sjældne jordarter, idet de tunge sjældne jordarter, men ikke de lette, optages i mineralgitrene, hvorimod de lette sjældne jordarter ender i smeltefraktionen. Noget tilsvarende gælder for Nb og Ta, som optages i titanit eller andre titanrige residualfaser. Disse mineraler findes ikke, eller kun i små mængder, i kappekilen, som er domineret af olivin, pyroxener og spinel; derfor har granitoide magmaer produceret herfra ikke tilsvarende anomalier.

På baggrund af de feltgeologiske og geokemiske forhold refereret ovenfor tolkes den grå gnejs som overvejende opstået ved partiel opsmeltning af hydrerede amfibolitter af suprakrustal oprindelse, og dannet i et konvergent pladetektonisk miljø - formentlig i en eller flere øbuer, som efterhånden udviklede sig til et mikrokontinent, Akia terrænet. De tidlige og middelsene deformationsstrukturer i gnejs-amfibolit komplekset viser, at laterale deformationskræfter var dominerende i disse perioder, med fladtliggende

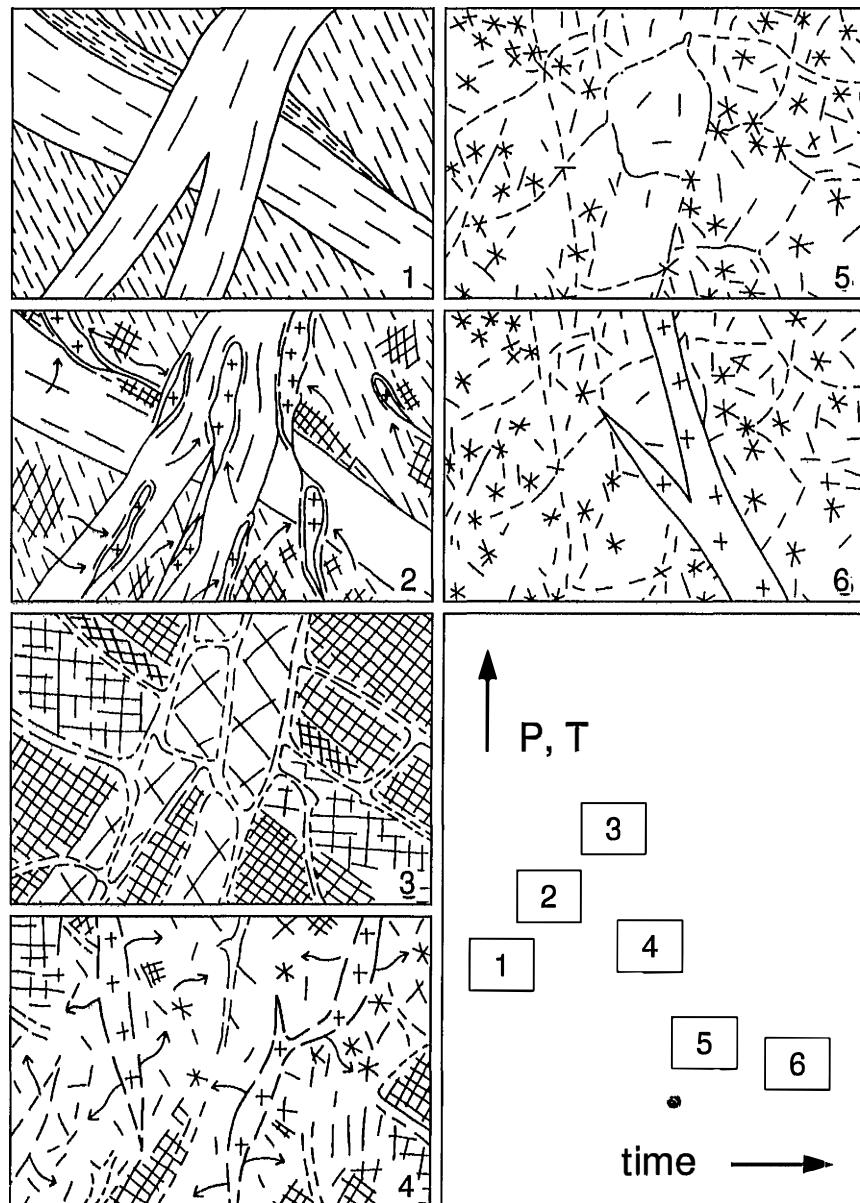
isoklinale, og senere stående til overkippede folder med fladt dykkende akser. Det blev ovenfor ridset op, at gode argumenter taler for, at den Arkæiske oceaniske skorpe generelt havde en yngre alder og var varmere end i dag. Det vil sige, direkte opsmeltning af subduceret basalt var altså mulig, inden det for opsmeltningen nødvendige vand blev afgivet til den ovenfor liggende kappekile ved metamorf dehydrering. Spørgsmålet er blot, om den oceaniske skorpe var så varm og plastisk, at pladetektonik i moderne forstand ikke var mulig. Nogle forskere har sidstnævnte opfattelse, men Fiskefjord områdets geologi kunne tyde på, at det ikke er korrekt. Der kendes i øvrigt et moderne tilfælde ved det sydvestlige Chile, hvor subduktion af varm oceanskorpe har ført til dannelse af magmaer med typisk 'Arkæisk TTG'-sammensætning.

## **Granulit facies og retrograd metamorfose samt metasomatose**

Geokemiske og isotopgeokemiske undersøgelser har spillet en afgørende rolle for forståelsen af den retrograde metamorfose, som har påvirket store dele af den grå gnejs i Fiskefjord området. En model for den metamorfe udvikling, vist skematisk i Fig. 4 og med eksempler i Fig. 5, forklares i det følgende.

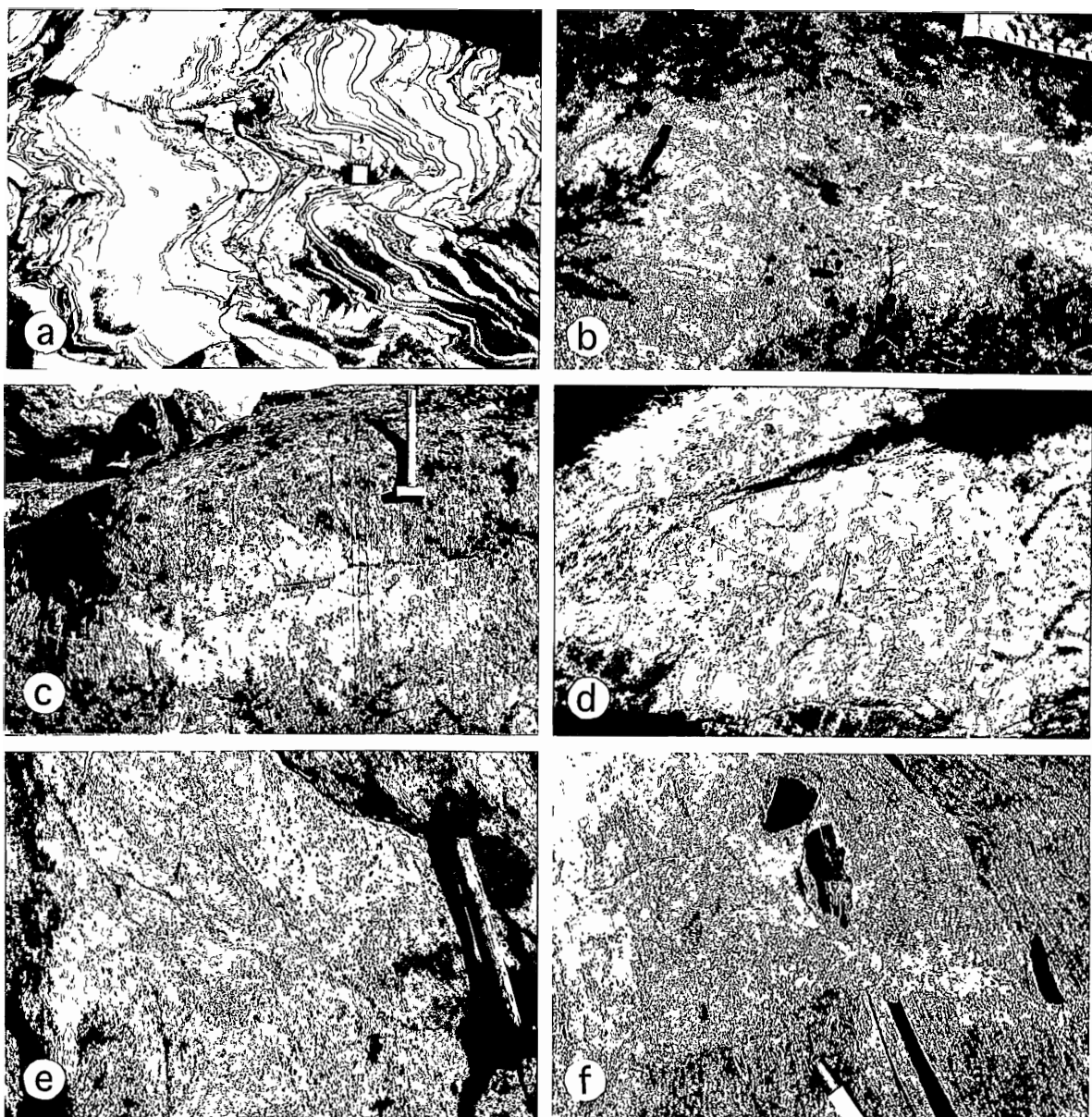
Granulit facies metamorfosen, bestemt ved en SHRIMP zirkon U-Pb alder af et metasediment i Nordlandet umiddelbart syd for Fiskefjord området (Friend & Nutman, 1994) er ca. 3000 mill. år gammel, altså samtidig med dannelsen af hovedgruppen af grå gnejs. Metamorfosen tolkes som af thermal karakter; der er ikke fundet  $\text{CO}_2$ -rige fluidier i inklusioner i mineraler fra den grå gnejs, og intet tyder på, at dele af den grå gnejs skulle være intruderet som tørre smelter. En teoretisk undersøgelse for den thermale udvikling i den mellemste del af skorpen under gentagen intrusion af tonalitisk magma er tidligere udarbejdet af Wells (1980) på baggrund af undersøgelser i et naboområde, og egner sig som model for Fiskefjord området. Ved denne form for granulit facies metamorfose sker dehydreringen primært ved 'dehydration melting'. Under en gradvis metamorf omdannelse af biotit og hornblende til især hypersthen frigøres OH-grupper, som sammen med kvarts og feldspat danner en hydreret partiel smelte, først af granitisk og senere af trondhjemitisk-tonalitisk sammensætning. Muligvis har også hypersaline fluidier af lokal eller dybere oprindelse spillet en rolle ved granulit facies metamorfosen og metasomatosen. Dette antydes af målinger af Rb-indholdet i (granulit facies) biotit i ligevægt med hypersthen og hornblende, som er meget lavt. Det lave Rb-indhold er vanskeligt at forklare, hvis mineralet var i ligevægt med en granitisk smelte, som samtidig førte Rb bort, idet fordelingskoefficienten mellem biotit og granitsmelte (på baggrund af tilsvarende data for phlogopit) må antages at være noget større end 1. Den tilsvarende fordelingskoefficient for hypersaline fluidier under granulit facies betingelser kendes ikke.

Hydrerede granitoide smelter og fluidier, enten primære eller frigivet ved styrkning af smelterne, har transporteret vandet væk fra granulit facies zonen, hvis nedre dele progressivt er blevet mere og mere dehydrerede. Samtidig er de øverste, perifere dele af granulit facies zonen isostatisk hævet under den fortsatte fortykkelse af skorpen, afkølet, og retrograderet af fluidier og granitoide magmaer af lokal oprindelse modtaget fra de dybere dele af granulit facies zonen.



**Figur 4.** Seks skematiske stadier i udviklingen af grå gnejs under granulit facies metamorfose og retrogradering, med henvisning til eksempler i Fig. 5.

- (1) Amphibolit facies grå gnejs - mange, let genkendelige intrusionsfaser trods evt. deformation (Fig. 5a).
- (2) Tidlig granulit facies (krydsskraveret) og begyndende opsmeltning.
- (3) Granulit facies gnejs med diffuse anatektiske kvarts-feldspat årer (Fig. 5b udeformeret, 5c deformeret).
- (4) Tidligt stadie af retrogradering, 'blebby texture' bliver efterhånden synlig (Fig. 5d). (5) Helt retrograderet gnejs med 'blebby texture' (Fig. 5e).
- (6) Retrograderet gnejs intruderet af (amfibolit facies) granit (Fig. 5f). granitten er intruderet samtidig med eller efter retrograderingen.



**Figur 5.** Eksempler på teksturer i forskellige metamorfe udgaver af grå gnejs, sammenlign Fig. 4.

(a) Polyfase grå gnejs i amfibolit facies.

(b) Homogen granulit facies grå gnejs (måske kun én intrusiv fase) med diffust anatektisk netværk af kvarts-feldspat årer.

(c) Samme, med samtidig deformation.

(d) Begyndende retrogradering; 'blebby texture' bliver først synlig i de lyse årer.

(e) Fuldstændig retrogradering med 'blebby texture'.

(f) Syn- eller post-retrograd granit, som gennemskærer retrograderet grå gnejs med amfibolit inklusioner.

Ved retrograderingen blev en karakteristisk mineraltekstur i den retrograderede grå gnejs, 'blebby texture', synliggjort. 'Blebby texture' i grå gnejs består af op til centimeterstore, 'svampede' sammenvoksninger af (ofte kemisk zoneret) aktinolitisk hornblende + kvarts og/eller radierende biotitkrystaller, der er opstået som sekundære amfibolit facies pseudomorfoser efter hypersthen, og som sidder i en rekrystalliseret kvarts-feldspat matriks. Til sammenligning har en typisk 'primær' amfibolitfacies gnejs jævnt spredte, få millimeter store, sub- til euhedrale, uzonerede korn af biotit eller hornblende - også efter gentagen deformation, som normalt blot fører til reorientering af hvert enkelt mineralkorn under isokemisk omkrystallisation.

'Blebby texture' anlægges formentlig allerede ved den prograde overgang fra amfibolit til granulit facies metamorfose, hvor mange små biotit- eller hornblendekorn erstattes af få, men større korn af orthopyroxen ( $\pm$ clinopyroxen). Det er derfor tvivlsomt, om en feltrelation mellem granit og retrograderet gnejs, hvor granitten tilsyneladende skærer 'blebby texture' i den grå gnejs (Fig. 5f), nødvendigvis betyder, at granitten er yngre end retrograderingen. Det kunne jo i stedet tænkes, at afgivelsen af vandige fluider under granittens krystallisering netop var årsagen til, at den omgivende grå gnejs samtidig blev retrograderet, og 'blebby texture' derfor blev synlig. Imidlertid giver granittens alder i begge tilfælde en minimumsalder for retrograderingen, hvilket i en regional sammenhæng og hvad angår tolkning af den retrograde metamorfose er nok så væsentligt.

Et stort antal kemiske analyser af hoved- og sporelementer i den grå gnejs har vist, at der er sket en markant omfordeling af LIL elementer ved bevægelse af fluider og granitoide smelter i den mellemste skorpe. Metasomatosen har mest tydeligt påvirket K, Rb, Pb, Th og U (et eksempel er vist i Fig. 3f), men også Sr og Ba - og har sandsynligvis været under følgeskab af Si, Al og Na i granitiske smelter, men dette kan ikke påvises i det analyserede materiale. Gnejsen har tabt disse elementer under granulit facies metamorfosen, og de samme elementer er delvis reintroduceret i den retrograde grå gnejs, foruden i selvstændige granitoide intrusioner (af hvilke der findes flere eksempler inden for Fiskefjord området).

Et hovedargument mod den ovenfor fremsatte tolkning af den retrograde metamorfose som sket næsten samtidig med granulit facies metamorfosen (og i princippet forårsaget af denne) er, at retrogradering er et almindeligt fænomen under reaktivering af den kontinentale skorpe. Denne type sen retrogradering sker f. eks. langs shear zoner og ved overskydning af granulit facies enheder over (mere) hydreret kontinental skorpe i en lavere metamorf facies, idet bevægelseszonerne giver mulighed for indtrængen af vandige fluider. Et 'high-strain' bælte langs vestsiden af den ydre del af Godthåbsfjord, og videre op igennem Fiskefjord området i nordgående retning (langs vestsiden af Qugssuk, videre langs østsiden af fjeldmassivet Ulamertoq og videre nordpå langs den inderste del af Fiskefjord) har været udpeget som en sådan sen deformationszone og kanal for fluider (McGregor, 1993), som sammen med lignende fluider langs andre, mindre prominente shear zoner skulle have bredt sig mange kilometer ud til siderne og forårsaget den retrograde metamorfose i hele den centrale del af Fiskefjord området. Det er foreslået, at disse processer kunne være foregået i perioden 2750-2650 mill. år, hvor Akia og Akulleq terrænerne blev forenet, eller omkring 2530 mill. år, hvor Qôrquut granit komplekset dannedes, og der skete tektoniske bevægelser i Akulleq terrænet.

Der er imidlertid flere alvorlige problemer med denne tolkning som *hovedårsag* til den retrograde metamorfose.

1) 'High-strain' zonen, som strækker sig fra vestsiden af Godthåbsfjord og nordover til bunden af Fiskefjord, blev anlagt allerede under granulit facies metamorfosen eller evt. endnu tidligere. Denne zone indeholder flere store isoklinale folder og tolkes som opstået ved 'flattening' i en sen fase af den regionale deformation, og ikke som et senere 'strike-slip' bælte. Desuden er den retrograde metamorfose i store dele af selve denne zone (men ikke overalt) foregået statisk, uden ledsagende deformation.

2) Den retrograde metamorfose var ledsaget af kraftig berigelse med Rb, og Sr har sandsynligvis også været et mobilt element. Rb-Sr isotopsystemet i bjergarter er derfor meget følsomt for senere metamorfe forstyrrelser. Rb-Sr isotopundersøgelser af grå gnejs fra Qugssuk-Ulamertoq zonen viser, at metasomatisk forstyrrelse af systemet er sandsynlig, men at den i så fald fandt sted meget tæt på 3000 mill. år, og i hvert fald ikke så sent som omkring 2750-2650 eller 2530 mill. år.

3) Aldersbestemmelser med forskellige metoder af Finnefjeld gnejs og Taserssuaq tonalit komplekserne, Igánánguit granodioriten og Qugssuk granitten, som alle er samtidige med eller yngre end (hovedparten af) den retrograde metamorfose, giver alle aldre på omkring 3000 mill. år. Den absolut yngste alder, en Rb-Sr 'whole rock' bestemmelse af den sydøstlige del af Qugssuk granitten, viser  $2842 \pm 85$  mill. år.

4) Små post-kinematiske dioriter, som er intruderet i retrograderet grå gnejs og selv kun lokalt og delvis er påvirket af (auto-?) retrogradering, indeholder zirkoner med en alder på godt 3000 mill. år. Selv om disse zirkoner muligvis godt kunne stamme fra værtsbjergarten, viser Rb-Sr målinger af dioriterne dog, at de er Arkæiske og udmærket kan have den alder, som zirkonbestemmelsen angiver.

## Tak

Jeg vil gerne takke de mange mennesker, som på forskellig måde har været involveret i nærværende arbejde, for deres imødekommenhed, hjælpsomhed og tålmodighed med mig: deltagere i feltarbejdet (især Mogens Marker, afdøde Stig Bak Jensen og Vic McGregor), laboratorieledere og teknikere i København og udlandet (især John Bailey, Jørgen Christensen, John Flyng, Ole Larsen, Svend Pedersen og Jørn Rønsbo, Geologisk Institut ved Københavns Universitet, personalet ved det fhv. GGU's laboratorier, samt A. P. Nutman, Australian National University og Paul N. Taylor, Oxford University), og blandt mine kolleger især Feiko Kalsbeek for hans altid meget præcise og konstruktive faglige modspil.

Jeg vil også gerne takke ledelsen i det fhv. GGU, især min daværende afdelingsleder Hans Kristian Schønwandt, for dens støtte til færdiggørelsen af mine undersøgelser, og Stuart Watt, Peter Dawes, Carsten Thuesen og Benny Schark, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, for deres professionelle indsats med redaktion og fremstilling af den engelsksprogede hovedafhandling. Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd har ydet et stort bidrag til trykningen af hovedafhandlingen, ligesom rådet støtter laboratoriefaciliteter ved Geologisk Institut, som jeg har benyttet.

## Referencer

- Berthelsen, A. 1960: Structural studies in the pre-Cambrian of western Greenland. II. Geology of Tovqussap nunâ. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* **25**, 223 pp. (Also *Meddelelser om Grønland* **135**(6)).
- Bridgwater, D., Mengel, F., Fryer, B., Wagner, P. & Hansen, S. C. 1995: Early Proterozoic mafic dykes in the North Atlantic and Baltic cratons: field setting and chemistry of distinctive dyke swarms. In Coward, M. P. & Ries, A. C. (ed.) Early Precambrian processes. *Geological Society Special Publication* (London) **95**, 193-210.
- Friend, C. R. L. & Nutman, A. P. 1994: Two Archaean granulite-facies metamorphic events in the Nuuk-Maniitsoq region, southern West Greenland: correlation with the Saglek block, Labrador. *Journal of the Geological Society* (London) **151**, 421-424
- Garde, A. A. 1997: Accretion and evolution of an Archaean high-grade grey gneiss-amphibolite complex: the Fiskefjord area, southern West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* **177**, 115 pp.
- Garde, A. A. 1989: Retrogression and fluid movement across a granulite-amphibolite facies boundary in middle Archaean Nuk gneisses, Fiskefjord, southern West Greenland. In Bridgwater, D. (ed.) *Fluid movements - element transport and the composition of the deep crust*, 125-137. Dordrecht: Kluwer.
- Garde, A. A. 1990: Thermal granulite-facies metamorphism with diffuse retrogression in Archaean orthogneisses, Fiskefjord, southern West Greenland. *Journal of Metamorphic Geology* **8**, 663-682.
- Garde, A. A. 1991: Post-kinematic diorite intrusions in Archaean basement rocks around outer Fiskefjord, southern West Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* **39**, 167-177.
- Garde, A. A., Larsen, O. & Nutman, A. P. 1986: Dating of late Archaean crustal mobilisation north of Qugssuk, Godthåbsfjord, southern West Greenland. *Rapport Grønlands geologiske Undersøgelse* **128**, 23-36.
- Martin, H. 1994: The Archaean grey gneisses and the genesis of Archaean crust. In Condie, K. C. (ed.) *Archaean crustal evolution*, 205-259. Amsterdam: Elsevier.
- McGregor, V. R. 1993: Geological map of Greenland, 1:100 000, Qôrquut 64 V. 1 Syd. Descriptive text. Copenhagen: Geological Survey of Greenland, 40 pp.
- McGregor, V. R., Friend, C. R. L. & Nutman, A. P. 1991: The late Archaean mobile belt through Godthåbsfjord, southern West Greenland: a continent-continent collision zone? *Bulletin of the Geological Society of Denmark* **39**, 179-197.
- Wells, P. R. A. 1980: Thermal models for the magmatic accretion and subsequent metamorphism of continental crust. *Earth and Planetary Science Letters* **46**, 253-265.