



(GEOHF)

Hovedfagsoppgave i geologi

**En eksperimentell tilnærming til innhold av klor i
amfibolstrukturen ved forskjellig trykk, temperatur
og pH**

Sigurd Stordal

Mai, 2007

DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

Institutt for Geologi

Universitetet i Tromsø

(GEOHF)

Hovedfagsoppgave i Geologi

En eksperimentell tilnærming til innhold av klor i
amfibolstrukturen ved forskjellig trykk, temperatur og pH

Sigurd Stordal

Mai, 2007

Innholdsliste

Sammendrag.....	5
Introduksjon.....	7
Geologisk rammeverk.....	9
Beskrivelse av prøven brukt i forsøket.....	11
Feltspat.....	11
Pyroksen.....	11
Aksessoriske mineral.....	12
Bergartskjemi.....	13
Amfibol.....	15
Forsøkene.....	21
Fremgangsmåte.....	21
Oppsett av ovnen.....	22
Beskrivelse av forsøkene.....	25
Resultater.....	28
10 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt HCl.....	28
10 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt NaCl + H ₂ O.....	28
10 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt HCl.....	28
10 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt NaCl+H ₂ O.....	28
10 Kbar trykk, 850°C.....	28
10 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt 8 wt% HCl.....	28
6 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt HCl.....	28
6 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt NaCl og H ₂ O.....	29
6 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt HCl og NaCl.....	29
Mineralkjemi.....	31
Skapolitt.....	31
Halitt.....	31
Amfibol.....	32
Diskusjon.....	39
Konklusjon.....	41
Referanser.....	41
Appendiks A.....	43
Mineralanalyser for prøve G4.....	43
Appendiks B.....	47
Mineralanalyser fra forsøkene.....	47
Appendiks C.....	99
Liste over all amfibol analysert.....	99
Appendiks D.....	103
Mulig trykkavhengig på bakgrunn av foreløpige resultater for 6 Kbar.....	103
Appendiks E.....	105
Avhengighet mellom Fe og K.....	105
Appendiks F.....	107
Forsøk på å kvantifisere NaCl kontaminering.....	107

Sammendrag

Det er fremsatt flere teorier når det gjelder hvordan klorholdig amfibol dannes, men inntil nå har det ikke lyktes å få indikert disse ved hjelp av eksperimenter. I denne oppgaven er hypotesen til Kullerud (1996) om underskudd av fluid som årsak til dannelse av klorholdig amfibol sjekket, ved å tilsette forskjellige fluid (NaCl + H₂O) og (HCl i 37 % løsning), samt underskudd (1 wt%) og overskudd (4 og 8 wt%) av fluid i forsøk med pulver av gabbroanorthositt under høyt P og T. Det ble dannet klorholdig amfibol i noen av forsøkene, men disse er i stor grad NaCa amfibol i motsetning til det som er kjent fra naturen der de fleste er Ca amfibol, og det er derfor noen avvik i forholdene Cl vs Na, K, Fe og Mg i forhold til naturlig forekommende amfibol. Det er blandt annet ikke funnet noen positiv korrelasjon mellom K og Cl i amfibol dannet i dette forsøket. Det er også kjørt forsøk ved flere forskjellige temperaturer for å se om temperatur er en variabel når det gjelder Cl i amfibol. Dette ble gjort for å se om Cl innhold i amfibol kan brukes til termobarometri, og også om Cl innhold i amfibol kan gi en pekepinn på fluidsammensetningen til fluidet som var tilstedet da amfibolen ble dannet. Eksperimentene ble gjort ved Petrologisk laboratorium ved Universitetet i Tromsø, og det ble brukt ett finmalt pulver av en gabbro anorthositt fra Flakstadøy.

Introduksjon

Klorholdige amfiboler er kjent fra naturen (Flaat, 1998), men man har tidligere ikke lyktes i å fremstille disse eksperimentelt.

Denne oppgaven fokuserer spesielt på å undersøke hypotesen til Kullerud (1996) om at Cl-holdig amfibol dannes kun når det er et overskudd av Cl vs H₂O i løsningen. Amfibolstrukturen har i utgangspunktet ikke plass til Cl i krystallgitteret (Oberti et al. (1993)), og ved tilstedeværelse av vann vil det derfor dannes OH-amfibol. Kullerud (1996) foreslo at ved sterkt overskudd på Cl versus H₂O i løsningen vil imidlertid Cl kunne ta plass i krystallgitteret, for å bringe det kjemiske systemet mer mot likevekt.

Hensikten med dette arbeidet er først og fremst å teste denne hypotesen ved laboratorieforsøk. Ved å kjøre forsøk med sterkt overskudd av Cl vs H₂O i løsningen har det for første gang lyktes å dokumentere dannelse av klorholdige amfiboler ved laboratorieforsøk. Betingelsene for dannelse av Cl-amfiboler er studert ved 6 og 10 Kbar P, og med både NaCl og HCl som Cl-kilde. Dermed er også betydningen av pH for dannelsen av kloramfiboler studert.

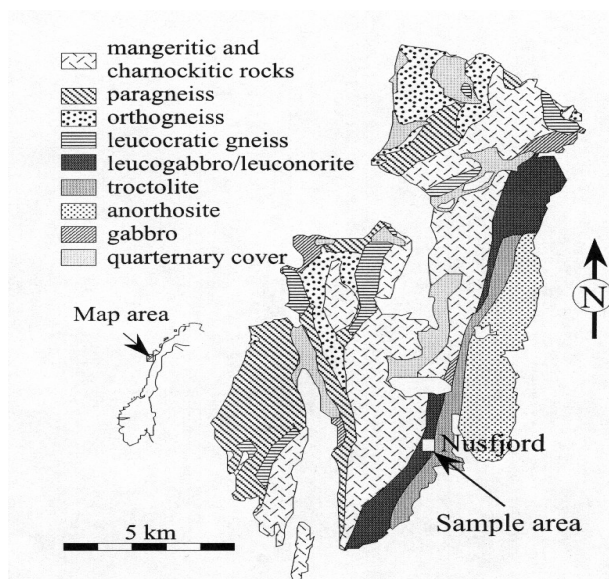
Kloramfiboler i naturen er imidlertid Ca-Cl- amfiboler (Oberti et al. 1993, Kullerud 1996), men amfibolene som ble dannet i forsøkene i dette arbeidet er Na-Ca-Cl amfiboler, og årsaken til dette søkes klarlagt. Dermed har oppgavens karakter endret seg noe underveis, fra å ha fokus primært på å studere dannelsesbetingelser for å syntetisere kloramfiboler per se, til å studere årsakene til variasjonen mellom naturlige og syntetiske kloramfiboler.

Undersøkelsene i dette arbeidet kan således deles i følgende deler:

1. Undersøke hypotesen til Kullerud (1996) om at klorholdig amfibol dannes ved overskudd av Cl i løsningen, ved å forsøke å syntetisere Cl-amfibol ved overskudd av tilstedeværende NaCl og HCl.
2. Undersøke årsaken til at det oppsto Na-Ca-Cl amfiboler i forsøket, mens det i naturen opptrer Ca-Cl- amfiboler; er dette relatert til pH i løsningen eller til tilstedeværelsen av Na.

Prøvene (pulver) som ble brukt i dette studiet kommer fra en gabbroanortositt i Nusfjord på Flakstadøy i Lofoten. I eklogittfacies skjærsoner i denne bergarten opptrer det naturlige kloramfiboler (ferro-pargasitt), som ble brukt som referanseminaler for forsøkene (Flaat 1998, Kullerud 1996). Trykket i denne skjærsonen har blitt estimert til mellom 11 og 14 kilobar og en temperatur på mellom 650° – 700° C. (Flaat, 1998), og er brukt som utgangspunkt for oppgaven.

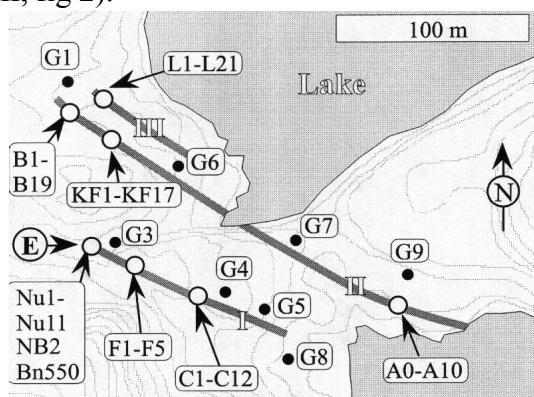
Geologisk rammeverk.



Figur 1, geologisk kart over Flakstadøy. (Flaat 1998)

FBK består av tre forskjellige lithologiske enheter (Romey, 1971). I øst en anorthositt sone, sentralt en troctolitt sone og en noritt sone i vest. En Sm-Nd whole rock isokron begrenser alderen på komplekset til 1803 ± 112 Ma (Wade, 1985).

Vest for Nusfjord (Fig 1) fant Wade (1985) to 3-4 m brede duktile skjærsoner i noritt sonen, og gav en petrografisk beskrivelse av hva han antok å være et eklogittfacies mineralselskap (omfasitt og granat) innen skjærsonene. I tillegg fant han også blå amfibol som han antok var glaukofan. Denne viste seg i en senere undersøkelse (Kullerud 1996) å være Cl-rik hastingsitt/pargasitt. Senere feltarbeid (Flaat, 1998) avdekket enda en skjærsoner i samme området, mindre enn 60 cm bred. (Skjærsoner III, fig 2).



Figur 2, kart over feltområdet med inntegnet skjærsoner og prøvetaknings plasser. (Flaat, 1998)

kontakt mot den omkringliggende gabbroanorthositten. I forbindelse med dannelsen av skjærsonenene var det infiltrasjon av et eksternt derivert Cl-holdig fluid, hvilket gav vekst av Cl-rik biotitt (Kullerud 1995), Cl-rik amfibol (Kullerud 1996), salt (halitt-sylvin fast løsning, Markl & Bucher 1998; Markl et al. 1998) og Cl-rik

Prøven benyttet som basis i forsøkene kommer fra Flakstadøy, en øy i Lofoten i Nord Norge. Dette området består av Lofoten-Vesterålen- komplekset, som er bygget opp av et sen-Arkeisk migmatittkompleks og en overliggende serie av tidlige Proterozoiske suprakrustale bergarter (Griffin et al. 1978). Hele komplekset ble for omtrent 1800 Ma utsatt for en granulittfacies regionalmetamorfose. I forbindelse med metamorfosen opptrådte ekstensiv magmatisk intrusiv aktivitet. Bergarten som er brukt i forsøket kommer fra Flakstadøy Basiske Kompleks (FBK, Fig. 1).

skapolitt (Kullerud & Erambert 1999). De Cl-rike mineralene forekommer langs de ytre delene av skjærsonene. Isotopdata for Cl indikerer at kilden for Cl i mineralene er en remobilisert skorpe (Markl et al. 1997). Perchuk & Lavrent'eva(1983) sitt granat-biotitt geotermometer gir etter korreksjon for Cl-innhold en temperatur på ca 580°C (kalkulert ut fra P=5kbar)(Kullerud 1995). Senere kalibrering av geotermometeret gir derimot en temperatur nærmere 700°C (Flaat 1998). Likevekt mellom granat, plagioklas, kyanitt og kvarts gir et trykk i området 8-11 Kbar.

Observasjoner av Cl-rik amfibol innesluttet i granat i eklogittfaciesbergarten tyder på at eklogittfaciesmetamorfosen skjedde etter dannelsen av de Cl rike mineralene funnet i de marginale delene av skjærsonene.

Markl & Bucher (1997) kalkulerte en P-T for dannelsen av eklogitt på 15kbar og 680°C for en situasjon der kvarts er tilstede. Nyere observasjoner derimot indikerer en lav verdi av a_{SiO_2} som igjen indikerer et trykk betydelig lavere en 15 kbar.

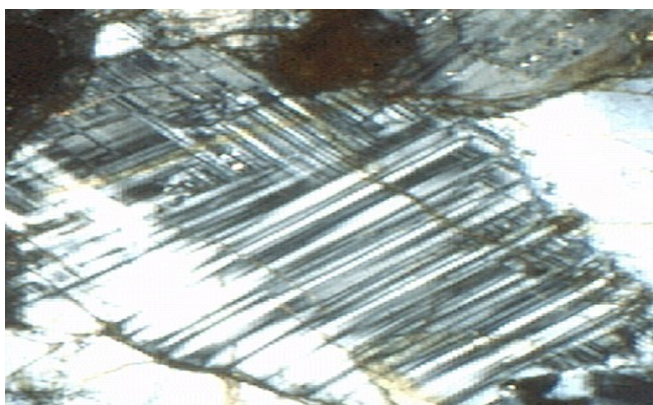
Eklogittens kjemi er så forskjellig fra den omkringliggende gabbroanorthositten at det er lite sannsynlig at eklogitten hadde gabbroanorthositten som protolitt. Mye tyder på at eklogittens protolitt var en xenolitt av de Fe- og Ti-rike variantene av bergartene man finner i FBC. Markl & Bucher (1997) bemerket at omfasitt var dannet i sprekker i granaten, noe som antyder at dannelsen av eklogitt var assosiert med sprø deformasjon. De foreslo at omfasitt veksten varte lenger enn granat veksten og den post-granat sprø deformasjonen. Senere arbider av (Flaat, 1998) gir derimot en mer kompleks utviklingshistorie for eklogitten: 1.) Dannelse av Cl-førende amfibol, 2.) vekst av granat + omfasitt (+rutil + ilmenitt + plagioklas + apatitt), 3.) vanntilstrømning, omfasitt blir overvokst av grønn Cl-fri amfibol, 4.) vekst av omfasitt i sprekker, og 5.) kjemisk forandring av omfasitt ved utbytte reaksjoner mellom fluid og mineral. (Flaat, 1998)

Beskrivelse av prøven brukt i forsøket.

Prøven brukt i forsøket (fra G4, Fig. 2) er en nesten helt uomvandlet gabbroanorthositt, som består av feltspat, orthopyroksen, klinopyroksen, biotitt, granat, ilmenitt, pyritt, magnetitt, amfibol.

Feltspat

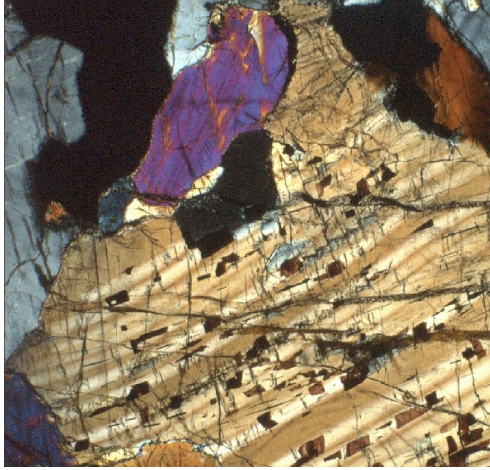
Det er både plagioklas og mikroklin tilstede i prøven. Modalinnholde av feltspat i bergarten er omtrent 60 %. Plagioklas utgjør omtrent 70 % av det totale innholdet av feltspat. Plagioklas har en sammensetning $An_{55}Or_2$ (Flaat, 1998)



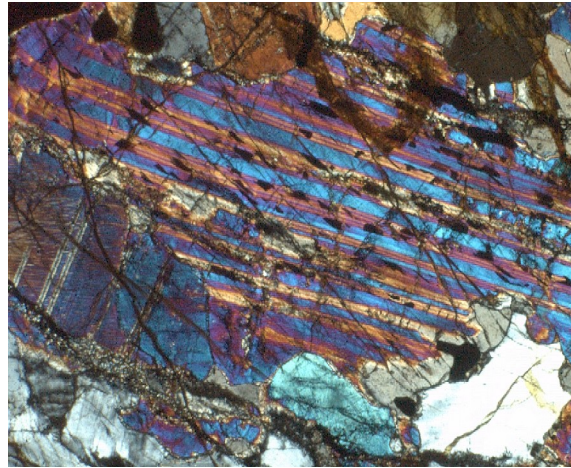
Figur 3, mikroklin med karakteristisk tartarmønster og med pinch & swell lameller

Pyroksen

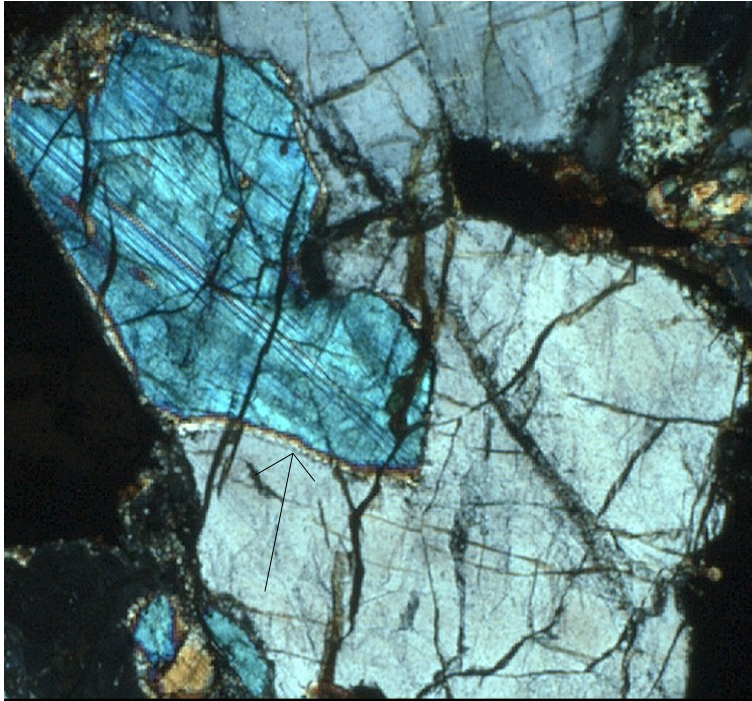
Modalinnhold av pyroksen i bergarten er omtrent 35 % . Orthopyroksen utgjør omtrent 35 % av det totale innhold av pyroksen. Orthopyroksen har karakteristiske lameller av augitt, og er av en enstatittisk til bronzittisk sammensetning, bestemt utfra dobbelbrytning (Fig. 4). Klinopyroksen har en overveiende augittisk sammensetning, bestemt utfra dobbelbrytning, og det er vanlig å se tvillingdannelse (Fig. 5). Det er også vanlig at klinopyroksen har en reaksjonsone, 0.01-0.05 mm. Denne består av finkornet amfibol (Fig. 6).



Figur 4, orthopyroksen med lameller av augitt



Figur 5, klinopyroksen med karakteristisk tvillingdannelse.



Figur 6, pyroksen med omvandlingssone av amfibol mellom to pyroksen korn.

Aksessoriske mineral

I mindre mengder opptre biotitt, og diverse opaker: bestemt på SEM til å være ilmenitt, pyritt og magnetitt.

Det er også mindre mengder amfibol bestemt på SEM til å være kaliumholdig pargasitt/hastingsitt, titanholdig alumikatophoritt, og titanholdig alumi-ferrobarroisitt.

Bergartskjemi

Hovedelementanalysen samt analyse av sporelementene Rb, Y, Nb og Ce av prøve G4 (Tab. 1) ble foretatt på en Phillips PW 1400 XRF ved Institutt for Geologi, Universitetet i Tromsø. Resten av sporelementene ble analysert på en Phillips PW 1480 XRF ved Norges Geologiske Undersøkelser (NGU). Størrelsen på prøven var 300-400 gram. Ved sporelementanalysen ble det brukt pressede pulverpiller, mens det for de andre elementene ble brukt smeltede piller. Disse ble laget ved å blande bergartspulver og litiumtetraborat fluks i forholdet 1:7. Det ble tatt spesielle hensyn for å forhindre Cl kontaminering av prøvene når disse ble laget, f.eks bruk av gummihandsker.

De viktigste hovedelementene er Si, Al, Fe, Ca og Mg, hvilket er hva man skulle forvente av en bergart bestående av hovedsakelig pyroksen og feltspatt.

Prøven er nefelin normativ etter CIPW normen (Tab. 2).

SiO₂	48.320	wt%
TiO₂	1,165	wt%
Al₂O₃	19,420	wt%
Fe₂O₃	12,260	wt%
MnO	0,122	wt%
MgO	4,338	wt%
CaO	11,525	wt%
Na₂O	3,530	wt%
K₂O	0,449	wt%
P₂O₅	0,030	wt%
LOI		wt%
Tetthet	2,928	g/cm³
Rb	0	ppm
Y	6	ppm
Nb	0	ppm
Ce	0	ppm
Sr¹	1009	ppm
Ba¹	583	ppm
Zr¹	13	ppm
V¹	278	ppm
Cr¹	148	ppm
Co¹	44	ppm
Ni¹	58	ppm
Zn¹	76	ppm
Cu¹	129	ppm
Sc¹	22	ppm
Ga¹	30	ppm
Cl	16	ppm
S	1538	ppm

Tabell 1, geokjemiske data for G4,

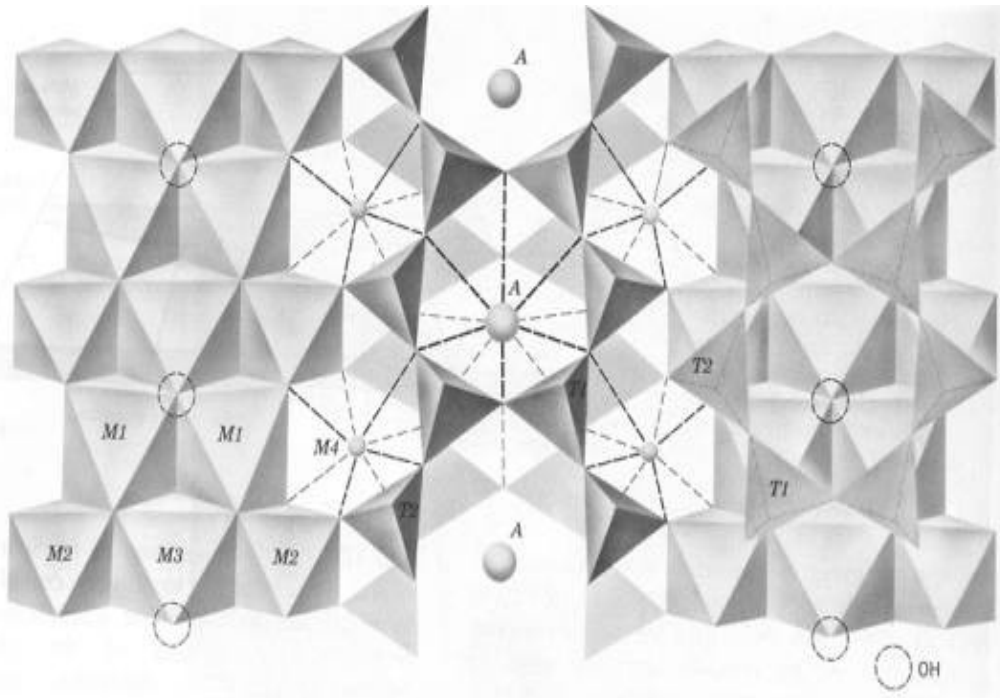
¹ angir analyser fra NGU

Kvarts	0,00%
Ortoklas	2,66%
Albitt	22,79%
Anortitt	35,77%
Leucitt	0,00%
Nefelin	3,82%
Korund	0,00%
Akmitt	0,00%
Diopsid	16,51%
Provisjonell Wollastonitt	0,00%
Hypersten	0,00%
Olivin	18,52%
Magnetitt	2,32%
Hematitt	0,00%
Ilmenitt	2,21%
Apatitt	0,07%
Titanitt	0,00%
Perovskitt	0,00%
Orthosilikater	0,00%
Totalt	102,96%

Tabell 2, CIPW norm for prøve G4

Amfibol

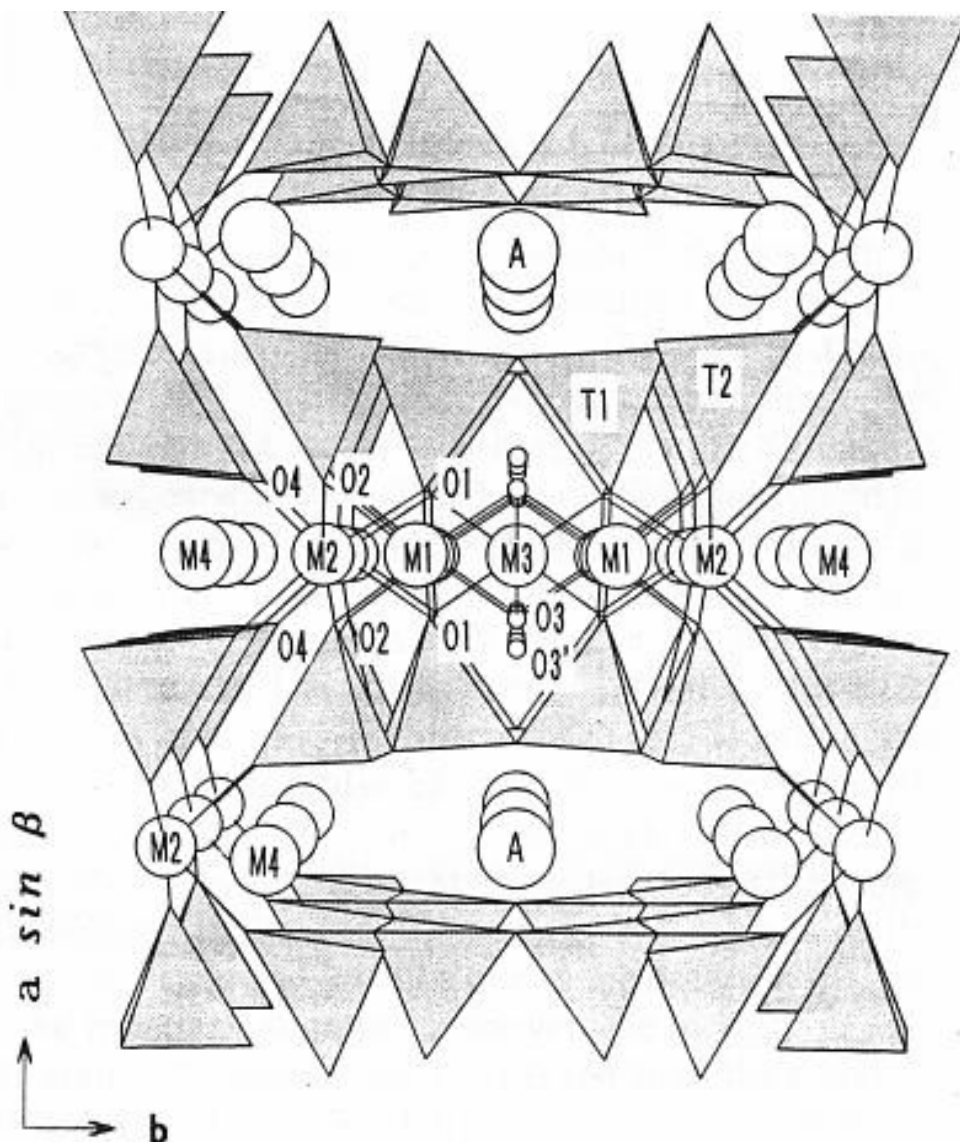
Amfibol er en samlebetegnelse på en gruppe mineraler med delvis lik kjemi og oppbygning, de er alle dobbelkjedesilikater med en generell formel $AB_2^VI C_5^{IV} T_8 O_{22} (OH)_2$ (se Fig. 7), der T er tetraederposisjonen, C er oktaedere i M1, M2- og M3- posisjonen, B er oktaedere i M4 posisjonen og A er rommet som dannes mellom silikatkjedene. Heretter vil jeg bruke [C], [B] og [A] for å henvise til de forskjellige plassene i strukturen. Kation på A-plassen kan okkupere tre forskjellige posisjoner, A, A2 og Am (Oberti et al. 1993). Amfibol er delt i to grupper basert på krystallstruktur, orthoamfibol, som er orthorombisk og klinoamfibol, som er monoklin. Klinoamfibol er igjen del opp i 3 hovedgrupper basert på mengden av Na og Ca på M4 posisjon (fig. 7), Ca-amfibol har Ca[B] på større enn 1.5 apfe (atomer per formel enhet), Na-Ca-amfibol med en Ca[B] mellom 1.5 og 0.5 apfe og Na-amfibol med en Ca[B] under 0.5 apfe. (Leake et al. 1997)



Figur 7, Krystallstruktur for monoklin ($C2/m$) amfibol. (etter Papike, J. J. et al., 1969)

Strukturformelen for amfibol ble beregnet ved å normalisere for Σ kationer – Ca -Na -K=13. Det er ikke funnet noe Ba i analysene, og det er ikke analysert for F. Det er ikke foretatt beregninger for treverdig Fe.

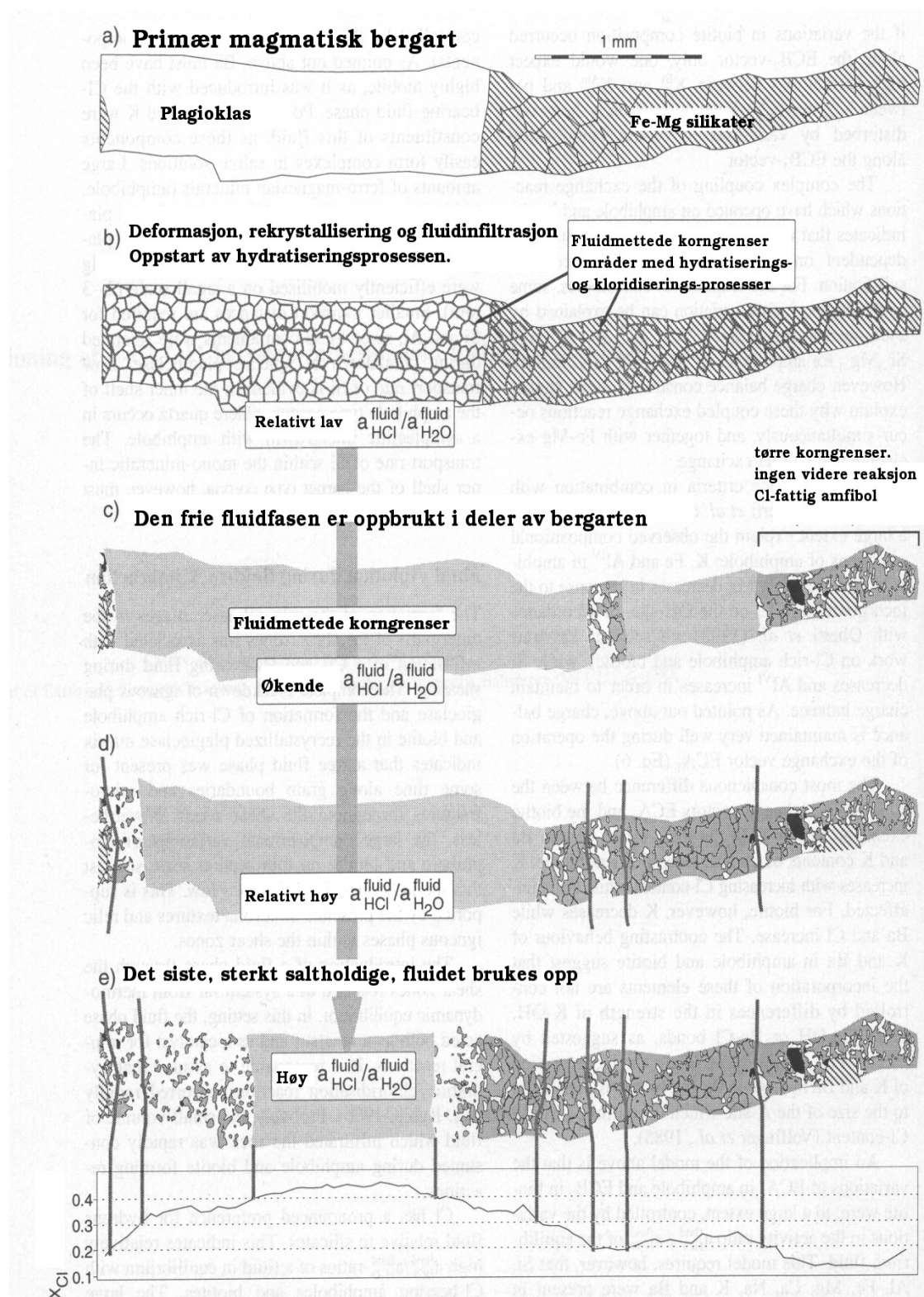
Substitusjon av Cl for OH gir en deformasjon av amfibolstrukturen på grunn av den større ionicradiusen til Cl i forhold til OH. Dette kan sees på Fig. 8, der OH plassen er benevnt O3, og Cl plassen er benevnt O3'. Det er i flere foregående artikler (Makino et al. (1993), Oberti et al. (1993), Volfinger et al. (1985), Kullerud (1995), Morrison (1991)) blitt foreslått at for å få dannet O3' plassen må det skje en utstrekning av tetraeder-kjedene, og at dette vil føre til en økning av Al^{IV} ved en økning av Cl innholdet. Det er også etablert en tydelig sammenheng mellom Fe og Cl der de bindingsmessige forhold gjør at Cl foretrekker Fe fremfor Mg. Dette skyldes ikke strekning av oktaeder linjene som enkelte tidligere artikler (Volfinger 1985) fremsetter som hypotese. Utstrekning av oktaeder linjene er ikke mer enn det som trengs for å få plass til Fe istedet for Mg (Oberti et al. (1995)). Det er også etablert en sterk positiv korelasjon mellom K og Cl, dette fordi K foretrekker Am posisjonen (Oberti et al. 1993). Am-O3' distansen er 2.86-2.93 Å, hvilket ikke utelukker Na på Am plassen, da Na-Cl distansen i NaCl er på 2.82 Å (Oberti et al, 1993).



Figur 8, Projeksjon av amfibol strukturen på 001 planet, som viser forholdet mellom vanlig OH plass ($O3$), Cl plassen ($O3'$) og de andre strukturelle plassene. (etter Oberti et al. (1993))

Klor som element viser en klar preferanse for fluidfasen i forhold til silikater. Dette indikerer et høyt $a^{\text{HCl,fluid}}/a^{\text{H}_2\text{O,fluid}}$ forhold av et fluid i likevekt med Cl-holdig amfibol. En modell for elementvariasjon i amfibol som funksjon av et fluid under utvikling kan sees i Fig. 9. I starten vil et klorholdig fluid infiltrere bergarten langs bruddsoner, mikrosprekker og korngrenser (Fig. 9b). Bergarten vil så i kontakt med fluid danne amfibol (og andre mineraler). Dannelse av amfibol i matriksen av rekrystallisert plagioklas kunne skje på grunn av en høy mobilitet av Fe og Mg langs korngrenser overmettet av fluid. På dette stadiet er Cl innhold i fluid relativt lavt. På et tidspunkt stoppet fluidtilgangen. Stadig fluid-bergart samspill resulterer i avtagende mengde fritt fluid. For å tilfredstille $P_{\text{fluid}} = P_{\text{lithostatisk}}$, må porevolumet i bergarten reduseres. Betraktes volumet av isolert pore med fritt fluid som en funksjon av hydratisering/kloritiseringsprogresjonen vil dette til slutt skrumpe inn og til slutt bli lik null. Det avtagende porevolum i bergart vil resultere i områder der korngrenser er undermettet på fluid (Fig. 9c). Forholdet $a^{\text{HCl,fluid}}/a^{\text{H}_2\text{O,fluid}}$ av det gjenværende fluid var stadig økende. Amfibol dannes i likevekt med fluidet så lenge fluid er tilstede, men

når korngransene langs amfibol tørket ut stoppet reaksjonen opp. Derfor kan variasjonen i amfibolkjemien gi et bilde av det forsvinnende frie fluid i bergarten (Fig 9c-f). Områder der amfibol har lavt innhold av klor representerer bergartsareal som på ett tidlig tidspunkt ble tilført fluid, mens områder der amfibol har høyt innhold av klor representerer bergartsareal der korngransene var mettet med fluid for en lengre periode. Etter denne modellen vil de mest klorrike amfibolene dannes i likevekt med et fluid sterkt anrikt av klor. (Kullerud 1996)



Figur 9: Skjematiske modell av prosess-samspeillet mellom fluid-bergart. XCl henviser til amfibol. (Etter Kullerud 1996)

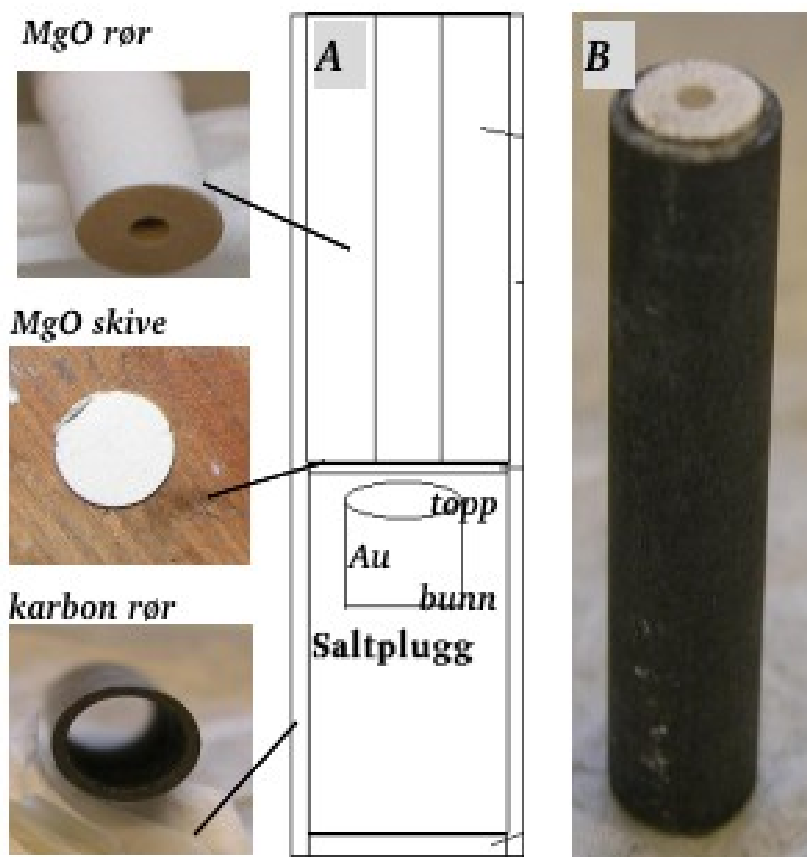
Forsøkene.

Fremgangsmåte.



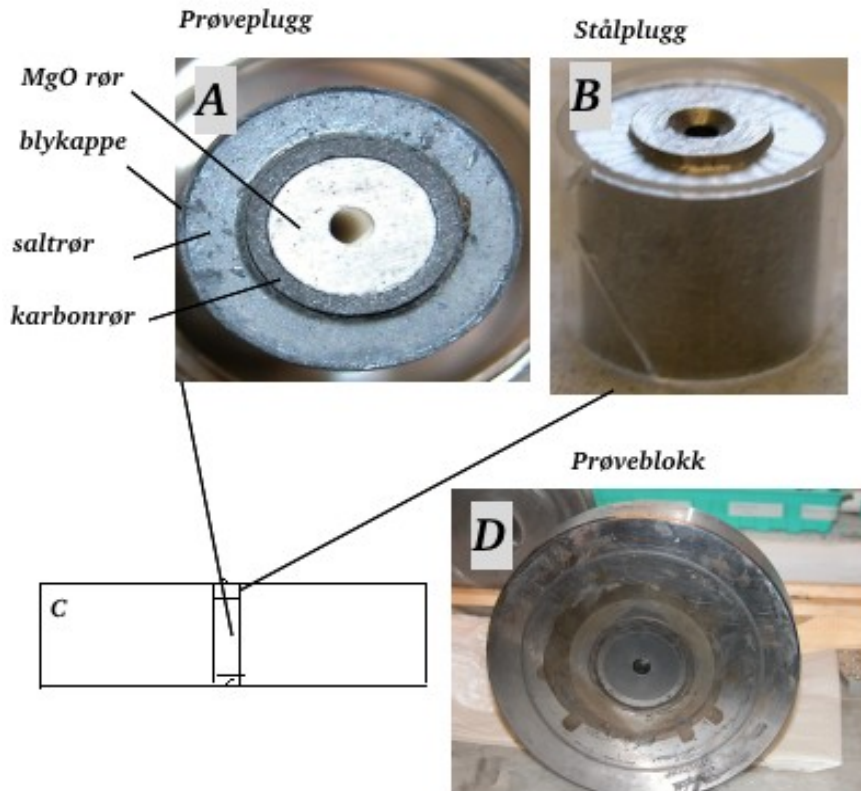
Figur 10: Dette er en test

I forsøkene ble det brukt en kapsel laget av gull. Denne ble fremstilt ved å kutte til gullrør på ca 12 mm, disse ble så forseget i den ene enden ved å klemme sammen og sveise igjen (Fig. 10). Deretter ble de fylt med bergatspulver og fluid, og så ble den andre enden forseget. Gullkapselen ble så støpt inn i en saltplugg. Saltpluggen med gullkapselen ble deretter montert i en prøveplugg som vist i Fig. 11 A.



Figur 11, A: skisse av oppbygningen av prøvepluggen. B: bilde av prøvepluggen. MgO-skivens funksjon er å hindre termoelementet i å trykkes ned i prøven og skape en kortslutning, med påfølgende funksjonsvikt. MgO skivens tykkelse bestemmer hvor nært termoelementet kan komme prøven, og følgelig da også nøyaktigheten av målingene i forhold til prøven. Det må også bemerkes at før innsetting av termoelement må antioksidasjonsmiddel tilføres (bornitrid).

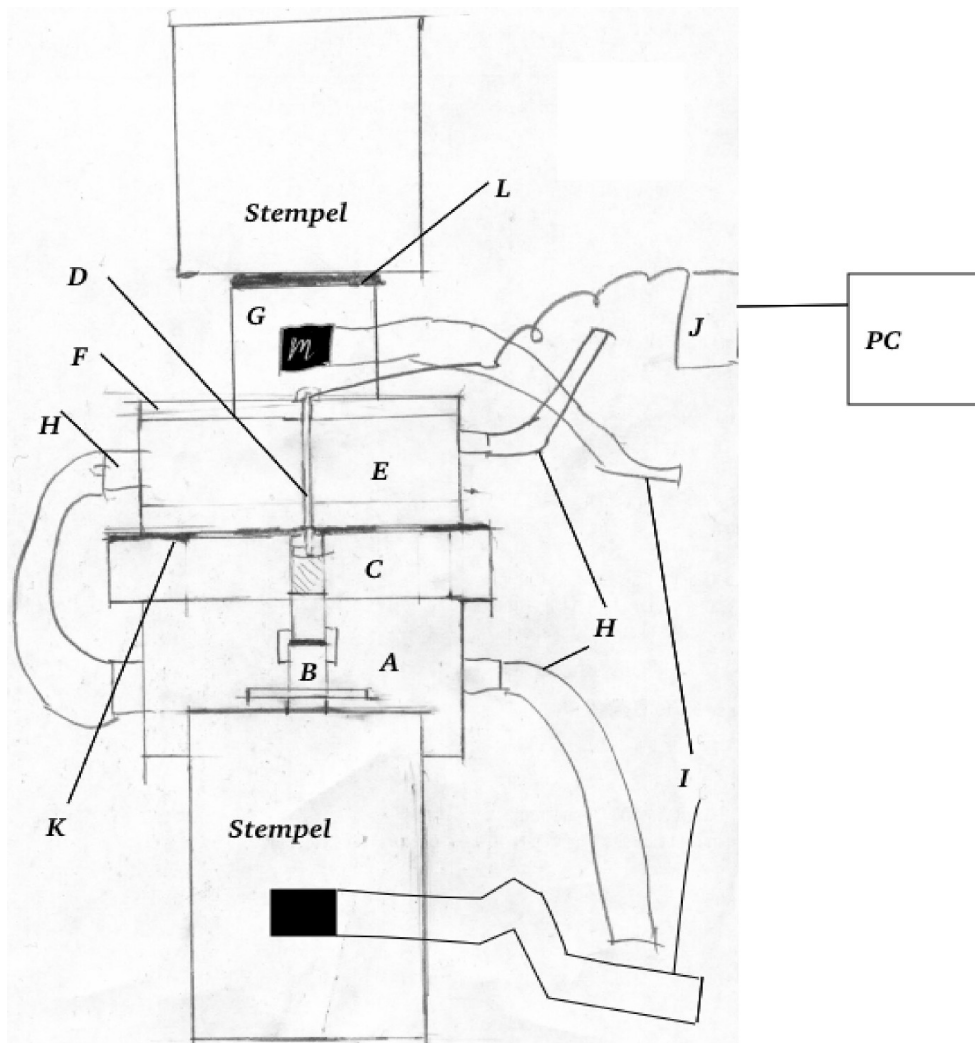
Denne ble så omkranset med salt og en blykappe (Fig. 12. A), før den ble ført inn i prøvokammeret sammen med stål- og karbonplugg (se Fig. 12. B, C og D)



Figur 12, A: prøveplugg innkapslet i et saltrør og med en blykappe, klar for innsetning i prøveblokken. B: Bildet av stålplugg, denne lages med dreiebenk, og ytre glassring slipes til slik at den ikke går over stålpluggens ytre del. C: skisse av prøveblokk sett fra siden, øverst sitter stålpluggen, deretter kommer prøvepluggen og nederst en karbon plugg. D: bilde av prøveblokk sett ovenfra. Området innenfor den første tynne ringen er varmelementet. Prøveblokkens over og underside settes inn med fett, med unntak av varmelementet.

Oppsett av ovnen.

De forskjellige delene i ovnen settes opp som vist i Fig. 13. Oppsettet settes opp i følgende rekkefølge (alle bokstaver referer til Fig. 13). Først B, deretter A, C, K, E, F, D, G, L. Deretter settes ytre trykk på (Fig. 14 H), før vann og strøm (H, I) kobles til og temperatur og trykk for forsøket settes, temperatur enten ved å bruke datamaskin eller manuelt fra strømskap (J).

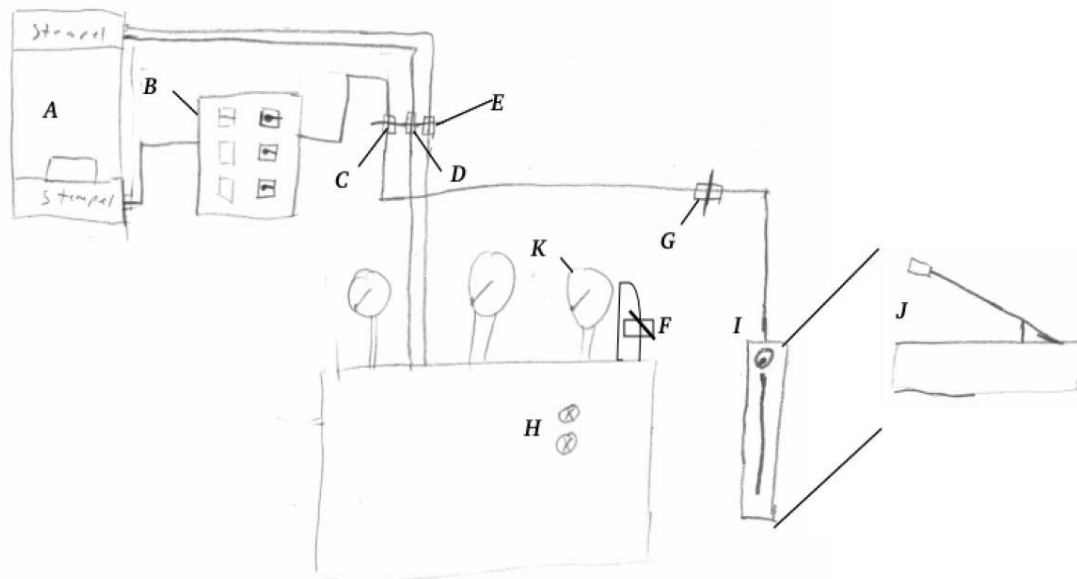


Figur 13, Skisse av oppsettet av ovn. A: nedre vannavkjølingsblokk, Vann kobles til via slange og ventil (H), ett nytt fettlag legges på langs øvre ytre kant. B: Indre stempel, består av en øvre og nedre del, med en blyskive imellom for å hindre at stemplet knuses på grunn av trykket, sørger for å overføre trykk fra nedre stempel til prøve. C: Prøveblokk, Indre stempel (B) skal pumpes opp så øvre del av stålplugg akkurat kommer opp av hullet i midten, deretter settes en metallstang ned i hullet på stålpluggen slik at hullene i øvre vannblokk (E) og plate (F) er nøyaktig over hullet i stålplugg. Deretter settes plastring og plate (K) på. E: øvre vannblokk, vannet kobles fra spring til ene ventilen og til nedre vannblokk fra den andre ventilen (H). F: Plate med spor for innførsel av ledninget til termoelementet. D: Termoelement, metallstang fjernes og termoelementet settes ned i det indre hullet, Termoelementet består av en ytre MgO stang, med hull innvendig for termoelementledningene. MgO stang måles slik at den er i flukt med platen (F). Termoelement ledningen brukt i dette forsøket er av en sprø legering som knekker om den bøyes mer enn en gang. G: øvre overgang til stempel, hull invending skal være sentrert over termoelementet. Dette er også hvor øvre strømkabel kobles til (I). L: plastsiver, hindrer trykket i å knuse stempelovergang (G). J: Strømskap, manuell styring av temperatur kan gjøres her, men den er også koblet til PC slik at temperatur kan overvåkes og settes automatisk.

Trykket under eksperimentet kontrolleres med et hydraulisk system. Dette består av en eller to sylindere (Fig. 13 og 14 viser til et med 2 sylindere), der den nedre sylindere er delt i to, en ytre del for å tilføre ytre trykk (brukes for holde de forskjellige delene av ovnen sammen), dette er hva jeg senere vil betegne endelast, og en indre del for å styre trykket i forsøket. Endelast fram og tilbakeføringsventilene (Fig. 14 D,E) åpnes når man setter opp forsøket, slik at man kan bruke knappen for endelast frem-/tilbakeføring (Fig. 14 H) til å bevege de ytre stemplene til man har kan lese av 2000 psi på måleren over skapet (Fig. 14 K). Deretter kobles elektrisitet (Fig. 13 I) og vann (Fig. 13 H) til, og man pumper videre opp til man kan lese av 4000 psi på måleren (Fig. 14 K). Deretter lukkes endelast ventilene (Fig. 14 D,E), og åpnes ikke før forsøket tas ned. Så kommer tiden for å starte trykket i selve prøvekommeret, heretter referert til som indre trykk. Dette settes ved å åpne ventilen for trykkstempel fremføring og bruke en tilhørende håndpumpe (Fig. 14 I,J) og pumper til man har ett trykk på 14-15 bar. Dette avleses på trykkmåleren for prøvekommeret (Fig. 14 B). Deretter åpnes tilførsel for vann, og strømskap slås på (Fig. 13 J). Temperatur kan enten settes ved å bruke PC(Fig. 13 PC) eller det kan settes manuelt fra strømskap. Det indre trykket pumpes sakte opp mens temperaturen stiger. Når man har fått ønsket trykk (gjærne satt en 10 bar over) skrur man pumpekruen (Fig. 14 G) igjen. Om man åpner denne mens forsøket går uten å på forhånd pumpet opp trykket i håndpumpen (Fig. 14 I,J), vil det indre trykket forsvinne og forsøket havarerer. Ventilen for trykkstempel fremføring må stå oppe når forsøket går, da det er gjennom denne det indre trykket måles. Når forsøket tas ned følger man omtrent samme prosedyre som når det settes opp, bare i motsatt rekkefølge, med unntak av følgende:

1. Temperaturen senkes ved å slå av strømmen.
2. Trykket må senkes sakte, derfor må ventilen (Fig. 14 G) åpnes forsiktig.
3. Vannet blåses ut med trykkluft
4. Når man skal fjerne endelasten må man først fjerne trykket (Fig. 14 K). Dette gjøres ved å åpne avlastningsventilen(Fig. 14 F).
5. Videre følger nedtakning samme prosedyre som oppsett.

Når prøvepluggen er fjernet fra prøvekommeret, brukes en tang til å fjerne bly, karbon og salt, slik at man står igjen med gullkapslen. Denne sjekkes så for om man har gjenværende fluid, og man fjerner siste rest av salt ved å skylle dem i varmt vann. Gullkapslen er deretter klar til å støpes inn i epoxy og så settes inn i messingholder, som deretter slipes ned og poleres. Prøven er da klar for å undersøkes på sveip-elektron mikroskopet (SEM) eller elektronmikrosonde.



Figur 14, Skisse av hydraulisk system for påføring av trykk. A: Ovn, B: Display for avlesning av trykk, knotter på høyre side for å slå på måleenheten, trykket leses av på venstre side. C,D,E,G: ventiler for å styre trykket. H: knapper for å pumpe opp eller ned yttre stempel, for å holde delene i ovnen på plass. K: Måler for trykket påført med H. I,J pumpe for å tilføre prøve trykk.

Beskrivelse av forsøkene

Syntese av klorholdig amfibol under kontrollerte betingelser kan gi viktig informasjon om klorinnhold i amfibol som en funksjon av temperatur, trykk og fluidsammensetning. Etter hva vi kjenner til er det ikke tidligere beskrevet vellykkede synteser av klorholdig amfibol i litteraturen. Første mål med oppgaven var derfor å lage et oppsett der man fikk syntetisert klorholdig amfibol. Når dette målet var nådd skulle videre arbeid konsentreres om hvordan klorinnhold i amfibol forandrer seg som funksjon av trykk, temperatur og fluid sammensetning.

Gjennomføring:

Etter modell av Kullerud (1996) vil klorholdig amfibol kun dannes dersom det ikke eksisterer gjenværende fluid, dette fordi klor sterkt foretrekker å bli værende i en vandig løsning fremfor å gå inn i amfibol. Derfor vil det om det tilføres mer fluid en det som trengs for å fullstendig hydratisere bergarten, ikke dannes klorholdig amfibol. Det er således først ved underskudd av ett klorholdig fluid at man kan få dannet klorholdig amfibol. Den første amfibolen som dannes vil være den med minst klor, og senere vil det suksessivt dannes mer klorrike amfiboler, men den mest klorrike dannet av siste rest av den frie fluidfasen. For å teste modellen etter Kullerud (1996) ble det både kjørt forsøk med overskudd og underskudd av fluid. Valget av 1 wt% H_2O/H_2O_{eq} ble tatt da dette var den minste mengde fluid som kunne måles med tilgjengelig målemetode. Etter forsøket var kjørt ble det sjekket for fluid, ved å punktere gullkapslen og se i mikroskop om det kom noe fluid ut, det gjorde det ikke for 1 wt%, mens det i to andre forsøk der vi brukte henholdsvis 4 og 8 wt% ble det funnet gjenværende fluid.

Eksperimentet ble utført med finknust material av gabbro (prøve G4, se kapittel 1) tilsatt forskjellige løsninger. Ved oppstart av oppgaven ble det i første rekke bestemt å kjøre forsøk undermettet på fluid, og med NaCl + vann og HCl som fluid. Etter å ha

kjørt de første tre forsøkene (ved 750, 800 og 850 °C), ble prøvene analysert på SEM, og klorholdig amfibol ble funnet.

I de videre forsøkene ble følgende løsninger brukt: 1) H₂O og NaCl, 2) HCl, 3) KCl + H₂O og 4) HCl + NaCl (se Tab. 3). For å sjekke avhengigheten av aHCl ble det kjørt forsøk både med og uten HCl (se Tab. 3). De fleste forsøk ble kjørt med 1 wt% H₂O_{eq} (tilsatt HCl ble rekalkulert slik at H₂O innholdet ble 1 wt%), dette for å sikre at alt fluid ble brukt opp. Det ble også kjørt forsøk med 4 og 8 wt% H₂O_{eq}, noe som gav et overskudd av fluid, dette for å sjekke om Cl har en preferanse for fluid eller amfibol. Det ble kjørt flere forsøk også med tilsatt KCl, fordi analysene av amfibol gav lavere verdier for K i forhold til hva som er kjent fra naturlig forekommende klorholdig amfibol, og Kullerud (1996) viste at bergarten ble infiltrert av ett K-holdig fluid. Det ble også besluttet å kjøre et med NaCl + HCl for å se om økende mengde Cl i fluidet ville gi høyere innhold av Cl i amfibolen. Det ble så besluttet å kjøre noen forsøk også ved 6 Kbar trykk, for å se på trykkavhengigheten for Cl i amfibol.

Problemer:

De første forsøkene (Tab. 2, 1-4) ble vellykket (både NaCl og HCl ved 750 grader, 10Kbar trykk), deretter fulgte en rekke på 9 forsøk som havarerte. Feilen viste seg å være manglende MgO-skive, og etter dette var det to havarert forsøk til, en gang pga problemer med vanntilførsel, og den andre gangen som følge av dårlig tilknyttet strømledning. Forsøkene kjørt ved 6 Kbar trykk og tilsatt HCl gav i liten grad amfibol, og med gjennværende pyroksen er det sansynlig at fluidet har unnsloppet før reaksjon med pyroksen har funnet sted.

<i>Ekspr. nr.</i>	<i>P i Kbar</i>	<i>T (°C)</i>	<i>Fluid</i>	<i>Tilsatt salt</i>	<i>Tid forsøket tok</i>
1	10 ± 0,40	750	1.5 wt% HCl		7 dager
2	10 ± 0,40	750	1 wt% H ₂ O	NaCl	7 dager
3	10 ± 0.45	800	1,5 wt% HCl		7 dager
4	10 ± 0.45	800	1.5 wt% H ₂ O	NaCl	7 dager
5	10 + 0.1-1.0	850	1.5 wt% HCl		6 dager
6	10 + 0.1-1.0	850	1 wt% H ₂ O	NaCl	6 dager
7	10 + 0.0-0.55	800	8 wt% HCl		4 dager
8	10 + 0.1-0.9	800	1.5 wt% HCl	NaCl	8 dager
9	10 ± 0.9	800	1 wt% H ₂ O	KCl	10 dager
10	6 ± 0.3	750	1.5 wt% HCl		8 dager
11	6 ± 0.3	750	1 wt% H ₂ O	NaCl	8 dager
12	6 ± 0.9	800	1.5 wt% HCl	NaCl	7 dager
13	6 ± 0.9	800	1 wt% H ₂ O	NaCl	7 dager

Tabell 3. Liste over de forskjellige suksessfulle forsøkene.

Resultater

10 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt HCl.

Det ble dannet miarolittiske druserom (Fig. 15A), med amfibol. Primære mineral funnet i prøven er: ilmenitt, pyritt granat, feltspat (både plagioklas og alkali-feltspat), og amfibol i en tynn reaksjons sone (Fig. 15B). Sekundær mineral funnet i prøven er: amfibol og halitt.

10 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt NaCl + H₂O

Det ble ikke dannet druserom i denne prøven, og de primære mineraler er de samme som i foregående (Fig. 15C). Sekundære mineraler funnet i prøven er: amfibol.

10 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt HCl

Det ble dannet miarolittiske druserom med amfibol (Fig. 15D). Ett av druserommene hadde også rester av halitt (Fig. 15K). Det ble ikke brukt prosedyrer under preparering av prøven for å bevare halitt. Derimot viser enkelte analyser halitt kontaminering. De primære mineralene er de samme i denne prøven som ved 750 grader (Fig. 15E). Sekundære mineraler er halitt, skapolitt og amfibol.

10 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt NaCl+H₂O

Det ble dannet miarolittiske druserom, med amfibol krystaller (Fig. 15F). Primære mineraler er de samme som for foregående. Sekundær mineraler: amfibol.

10 Kbar trykk, 850°C.

Det ble ikke dannet druserom. Det var spor av smelting. Primære mineraler er de samme som for foregående (Fig. 15G) Sekundære mineraler: amfibol.

10 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt 8 wt% HCl

Det ble ikke dannet druserom i dette forsøket. Primære mineraler er de samme som for foregående forsøk (Fig. 15H) Sekundær mineraler er amfibol

6 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt HCl

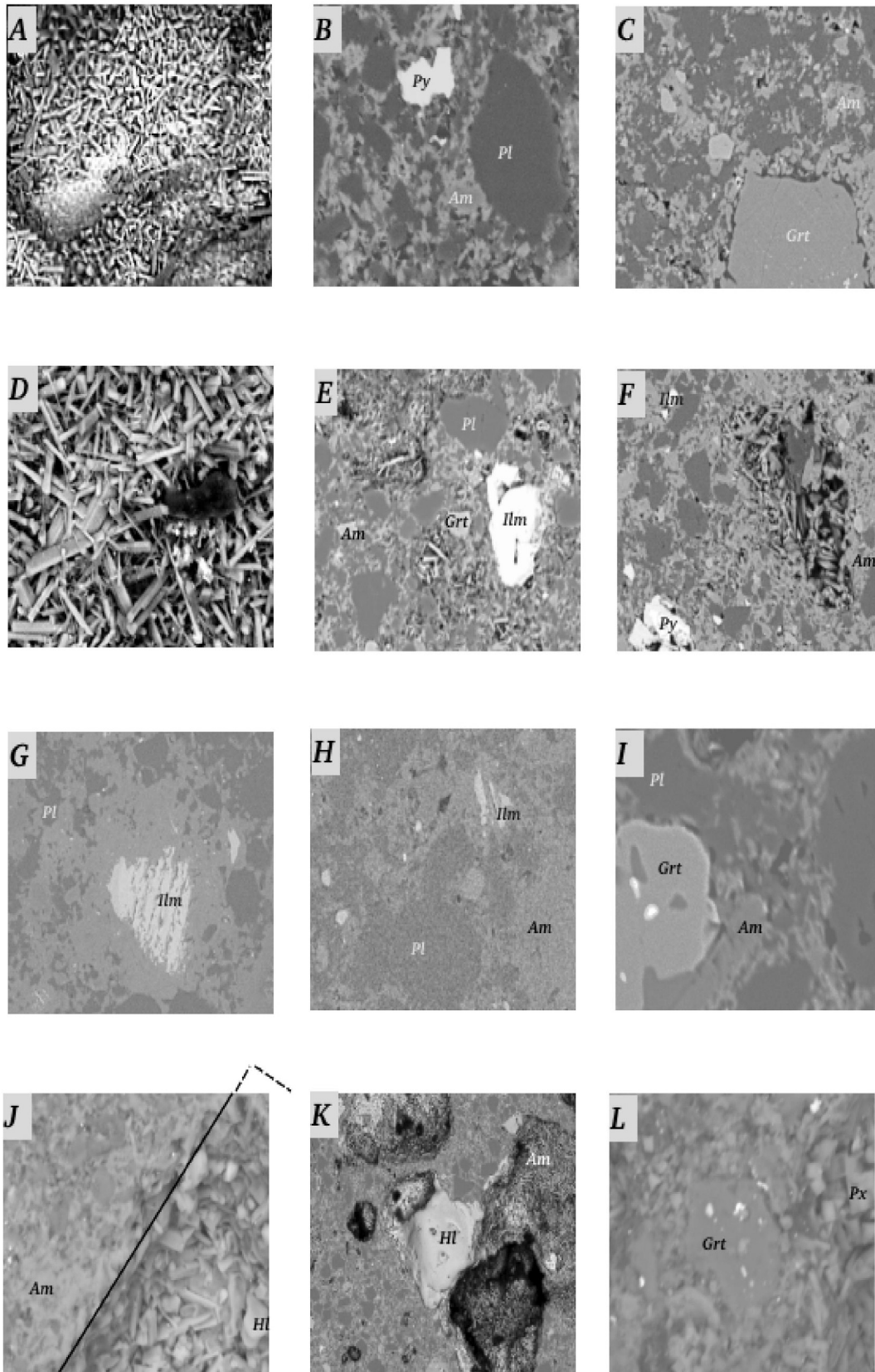
I dette forsøket ble det dannet lite med amfibol (Fig. 15I). Mesteparten av pyroksen er tilstedet etter at forsøket er kjørt. Dette kan tyde på at mengden fluid er mindre enn den skal. Det må derfor flere forsøk ved dette trykk og med dette fluid for å få pålitelige resultater.

6 Kbar trykk, 750°C. Tilsatt NaCl og H₂O

Det ble dannet store hulrom etter halitt krystaller (skissert ved streker i Fig. 15J). Langs veggene i disse hulrommene ble det observert krystaller av amfibol, samt rester av halitt (Fig. 15J). Primære mineraler er de samme som i foregående forsøk. Sekundære mineraler: Skapolitt, amfibol.

6 Kbar trykk, 800°C. Tilsatt HCl og NaCl

Det ble dannet store hulrom etter halitt krystaller. Langs veggene i disse hulrommene ble det observert krystaller av amfibol, samt rester av halitt. Primære mineraler er de samme som i foregående forsøk (Fig. 15L). Sekundære mineral: skapolitt, amfibol

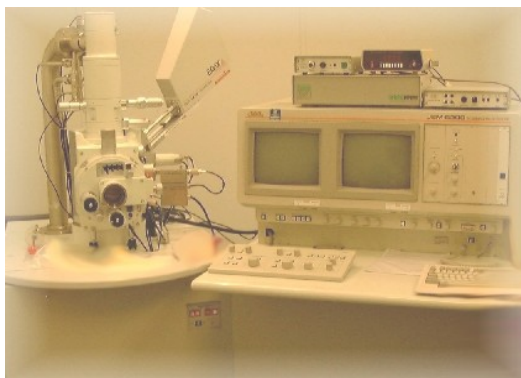


Figur 15, Bildet av de forskjellige forsøkene. A-H,K, 10Kbar trykk, I,J,L 6 Kbar trykk. Forkortelser av mineralnavn etter Bucher & Frey (1994). Se tekst for nærmere beskrivelse.

Mineralkjemi

Analysene ble foretatt ved bruk av EDS (Energidespersiv) mikroanalyseutstyr på SEM (sveipe-elektron mikroskop) tilhørende UiTø. Det ble brukt EDAX programvare for å kjøre både standardløs ZAF korreksjon, og standard kvantitativ ZAF analyse. I tillegg ble 11 analyser foretatt ved bruk av en Cameca SX100 mikrosonde med WDS (bølgelengde dispersivt) mikroanalyseutstyr tilhørende Institutt for Mineralogi, Petrologi og Geokjemi ved Universitetet i Freiburg. Usikkerhet i analysene fra Freiburg antas å være mellom 1 – 3 relativ prosent. Usikkerheten i analysene fra Tromsø antas å være mellom 2-5 %. Det ble også foretatt 91 analyser på Cameca SX100 mikrosonden ved UiO. Usikkerheten i analysene foretatt ved UiO antas å være identiske med analysene fra Freiburg. Cameca's egen programvare ble brukt for databehandling. Det ble foretatt standard kvantitativ analyse.

Før analyser kunne kjøres ble messingholderen, ferdig slipt og polert, dekket med karbon, såkalt sputring. Messingholderen dekket av karbon ble så satt inn i elektron mikroskopet. Når prøven var satt inn i elektron mikroskopet, brukes SE (sekundærelektroner) analysatoren for å fokusere. Siden ble denne slått av, og BE (backscatterelektroner) analysatoren satt inn. Analyse punktene ble valgt ut ved å se på



Figur 16, SEM ved UiTø
(<http://uit.no/geologi/laboratoriene/7>)



Figur 17, Mikrosonde ved UiO
(<http://www.geo.uio.no/laboratorier/mikrosonde.html>)

kontrast forskjeller i bildet dannet av BE, og utfra analyser av valgte punkter kunne jeg fastslå hvilket mineral som hadde de forskjellige gråtonene i BE.

Skapolitt

Det ble dannet skapolitt ved 10 Kbar trykk med en sammensetning mellom 50 og 60% marialitt. Skapolitt dannet ved 6 Kbar trykk og NaCl-fluid ga mellom 50 og 65% marialitt. Da skapolitt ikke var hovedmål for oppgaven, ble det ikke lett aktivt etter denne.

Halitt

Det ble dannet halitt i hulrommene for prøvene med tilsatt HCl og 10 Kbar trykk, Mye tyder på at hulrommene er fylt med halitt, Ingen spesiell prosedyre ble fulgt for å hindre oppløsning og fjerning av halitt fra prøvene, men noe halitt ble funnet i grensen mellom to hulrom. Det er derfor sansynlig at det har vært halitt i hele hulrommet, det kan også forklare enkelte analyser som ga for mye Na (sum på A

plassen > 1).

Amfibol

Det ble forkastet en del analyser. Disse ble forkastet på bakgrunn av at de enten ikke hadde tilstrekkelige med kationer i [B] eller [C], eller hadde for mange kationer i [A]. Når det gjelder analysene fra mikrosonden ble analyser med en sum < 90 eller > 99 fjernet, da dette tyder på feil. (En analyse av amfibol har en total sum mellom 96 og 98 til vanlig, da man ikke analyserer OH). Etter disse kriteriene ble 10-20 % av analysene forkastet, flest pga for høy verdi i sum[A]. Alle data er gitt i Appendiks B.

I mine forsøk ble det dannet både Ca- og NaCa-amfibol, og da hovedsakelig NaCa-amfibol. En full liste over hvilke amfibol som ble funnet er gitt i Appendiks C.

10 Kbar trykk, 750 °C, reagerende fluid er HCl.

I dette forsøket ble det dannet både NaCa- og Ca-amfibol.

Ca-amfibol er hovedsakelig en kaliumholdig pargasitt/hastingitt (det er ikke gjort analyser på Fe³⁺), men det er enkelt analyser med en kjemi tilsvarende kaliumholdig tschermakitt og tschermakitt. NaCa-amfibol er hovedsakelig en taramitt, men det er enkeltanalyser med en kjemi tilsvarende katophoritt, barroisitt. Ca amfibolen er i dette forsøk hovedsakelig klorfri, med ett klorinnhold fra 0.01 til 0.23 apfe, men det er 2 analyser med en klorholdig og en klor-rik, henholdsvis 0.28 og 1.15 apfe (atomer pr formel enhet). For NaCa amfibol er det en større variasjon i Cl-innhold, med analyser for klorfri amfibol der Cl-innholdet varierer fra 0.10 til 0.24 apfe, klorholdig amfibol innholdet av Cl varierer fra 0.25 – 0.69 apfe, og en analyser viser en klor-rik amfibol med ett innhold av Cl på 1.15 apfe.

10 Kbar trykk, 800 °C, reagerende fluid er HCl.

I dette forsøket ble det dannet både Ca- og NaCa-amfibol.

Ca-amfibol er hovedsakelig en kaliumholdig pargasitt, med noen forskjeller i Al, Fe og Ti innhold. Det er også enkelt analyser som gir en kjemi tilsvarende klorholdig ferro-edenitt, titansk sadaganitt og kaliumholdig tschermakitt. NaCa-amfibol er hovedsakelig en taramitt eller katophoritt, men også barroisitt kjemi forekommer i 7 analyser. Ca-amfibol er i dette forsøket hovedsakelig klorfri med ett klorinnhold fra 0.01 til 0.21 apfe, mens analysen for klorholdig amfibol er på 0.29 apfe. For NaCa-amfibol er det en større variasjon i Cl-innhold også for dette forsøket. For klorfri amfibol varierer innholdet i Cl fra 0.08 til 0.25 apfe, klorholdig amfibol 0.26 til 0.97 apfe, og to analyser viser klor-rik amfibol med ett innhold av Cl på 1.11 og 1.22 apfe.

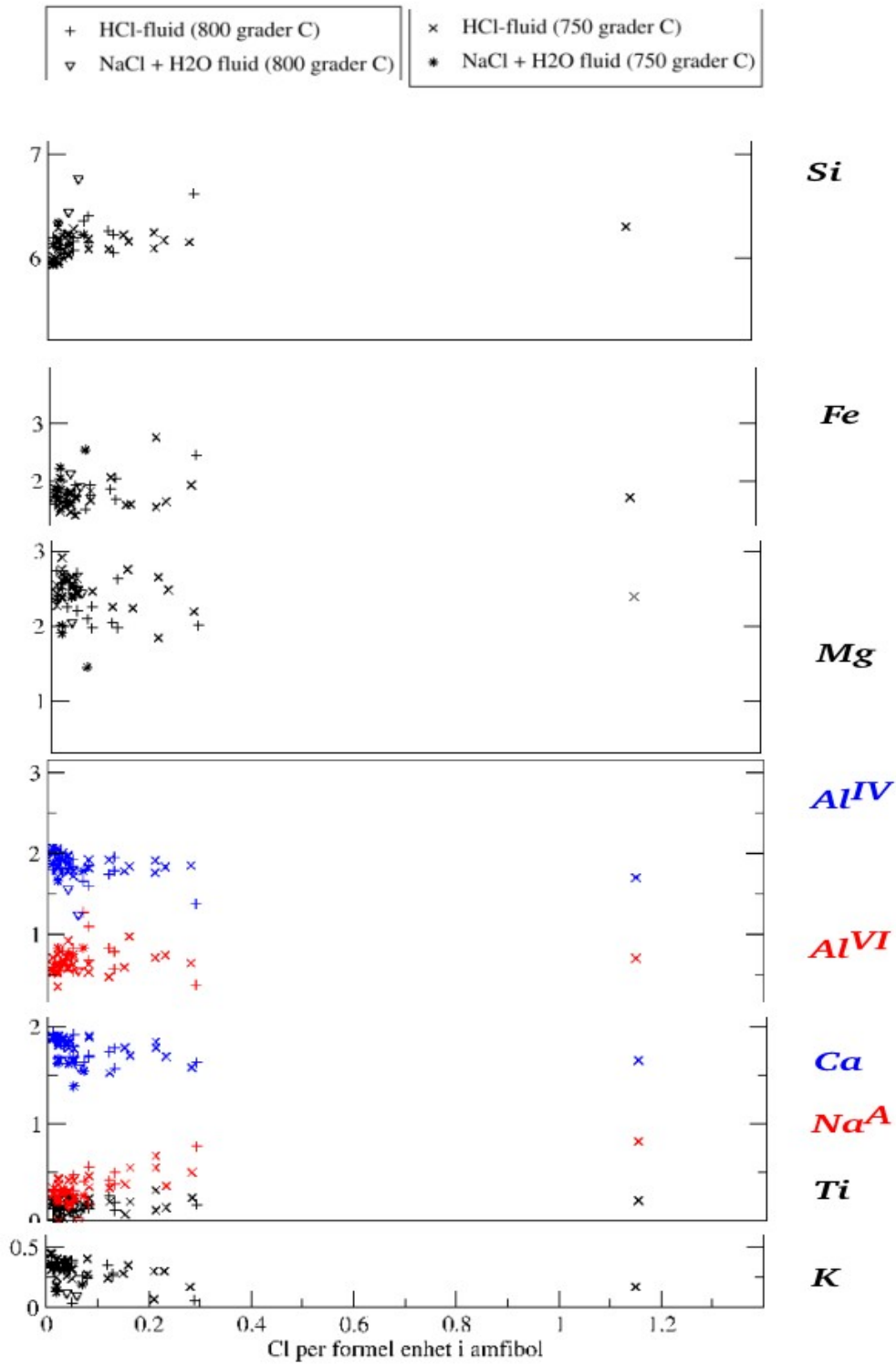
10 Kbar trykk, 750 °C, reagerende fluid er NaCl + H₂O

For dette forsøket ble det ikke dannet klorholdig amfibol, det ble derfor ikke gjort

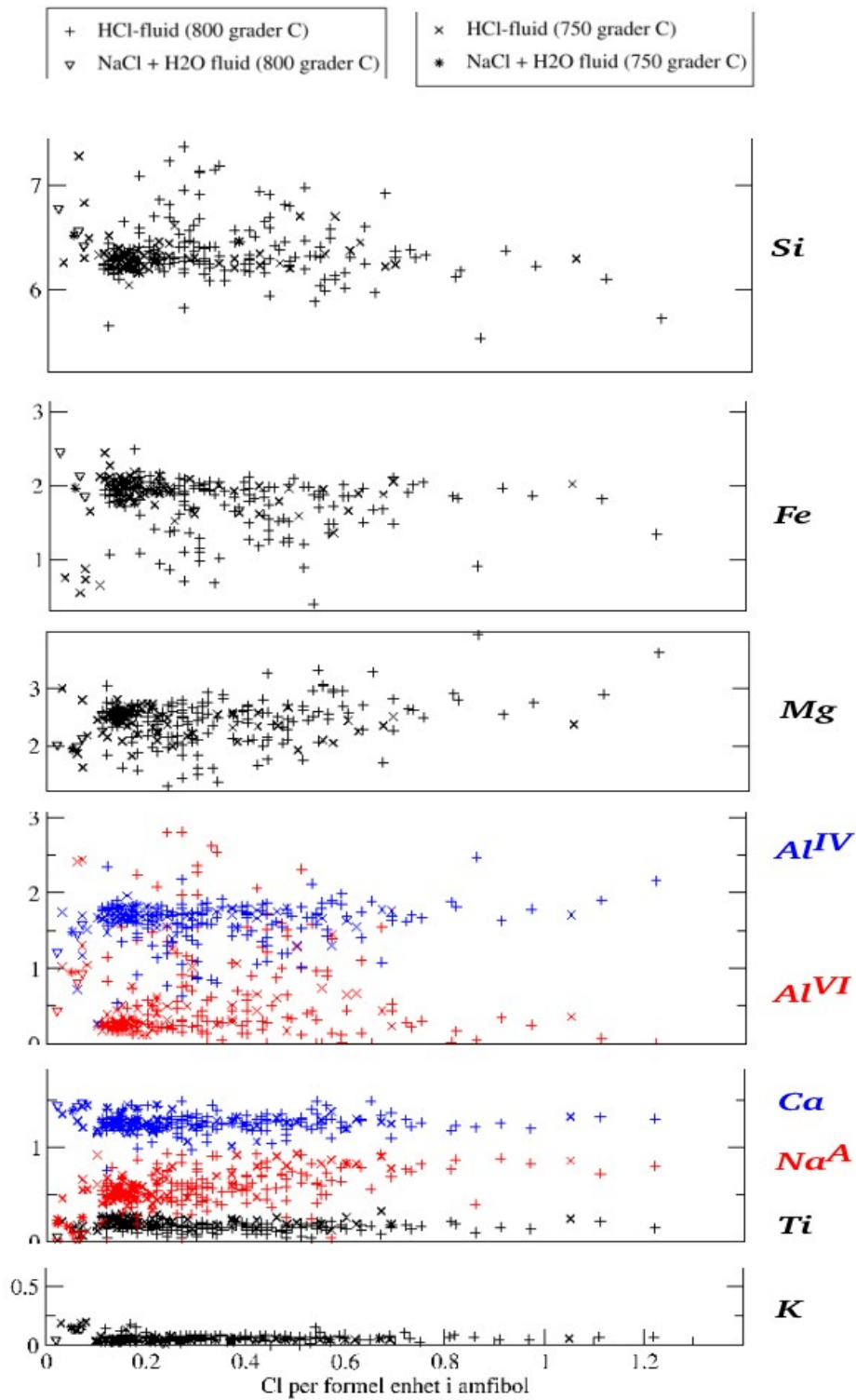
mange analyser på amfibol fra dette forsøket. Analysene som ble gjort ga kun Ca-amfibol, kaliumholdig titanholdig alumipargasitt, alumi-ferrotschermakitt og ferrotschermakitt.

10 Kbar trykk, 800 °C, reagerende fluid er NaCl + H₂O

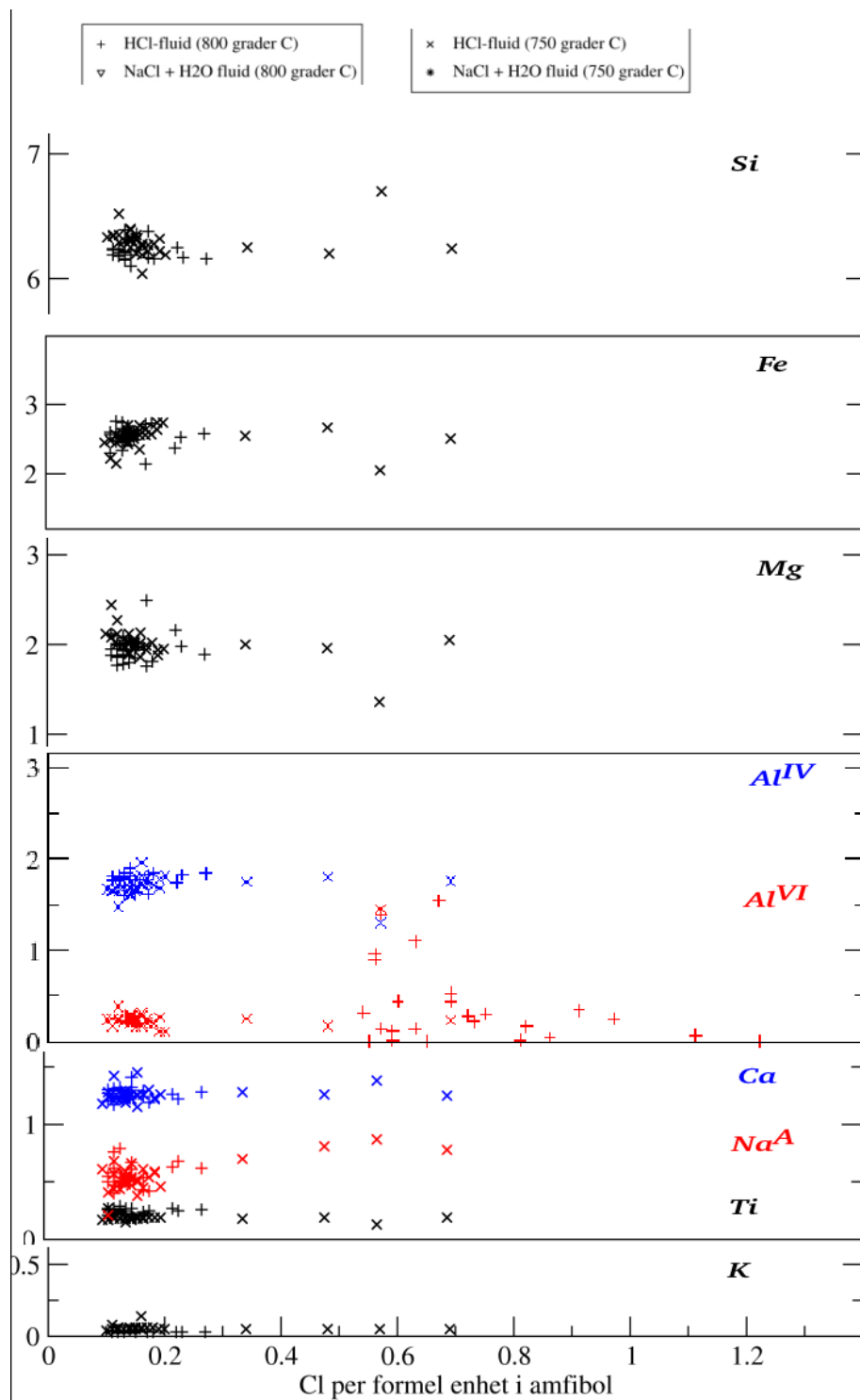
For dette forsøket ble det ikke dannet klorholdig amfibol, det ble derfor ikke gjort mange analyser på amfibol fra dette forsøket. Analysene som ble gjort ga både Ca- og NaCa-amfibol, magnesiohornblede, ferrotschermakitt og barroisitt.



Figur 18. Ca amfibol data multiplot. Alle verdier er gitt i atomer pr formel enhet (afpu). Data fra både SEM og mikrosonden i Oslo.



Figur 19, Na Ca amfibol data multiplot. Alle verdier er gitt i atomer pr formel enhet (afpu). Data fra både SEM og mikrosonden i Oslo.



Figur 20, Na Ca amfibol data multiplot. Alle verdier er gitt i atomer pr formel enhet (afpu). Kun data fra mikrosonden i Oslo er brukt.

Som plottene tydelig viser, er det for denne oppgaven ikke funnet en positiv korrelasjon mellom K og Cl. Det er derimot for Ca-amfibol funnet en svak negativ trend for SEM + mikrosondedata (Fig. 18). Dette kan forklares med at det kun er få analyser av klorholdig Ca-amfibol. For NaCa-amfibol er det derimot ingen korrelasjon mellom K og Cl. Korrelasjonen mellom Na og Cl er som vist i alle de tre plottene (Fig. 18-20) en ganske klar positiv trend. For Fe viser plott for Ca-amfibol (Fig. 18) en svak positiv trend mens det er en svak negativ trend for Mg, slik tidligere artikler foreslår. Denne trenden opptrer også til en viss grad for klorfri NaCa-amfibol. Det synes derimot ved høyere Cl verdier ikke å være noen tydelig trend for mikrosondedata (Fig. 20), men det synes å være en svak positiv trend for Mg hvis man også inkluderer data fra SEM.

Diskusjon

Mine forsøk har vist at det ikke er noen sterk temperaturavhengighet når det gjelder klorinnhold i amfibol. Foreløpige resultater indikerer at det derimot er en viss trykkavhengighet, særlig hvis fluidet har en pH nær 7. (Appendiks D). I alle forsøkene der det ble dannet klorholdig amfibol ble alt fluid brukt i reaksjonen. NaCa-amfibol viser en stor spredning i Al, Si og Na, der kun Na viser en klar trend i forhold til Cl. Det er for få analyser av Ca-amfibol, og da særlig klorholdige til å si noe sikkert om trendene for Al, Si, Fe, Mg, Na og K vs Cl for denne. For NaCa-amfibol er det en bred spredning i Cl fra 0.05 til mer enn 1.20 apfe (atomer per formel enhet). Ingen NaCa-amfibol inneholder større mengder K, mengden er tilnærmet konstant mellom 0 og 0.15 apfe med noen få rundt 0.2 apfe. Som vist i plottene (fig. 19 og 20) er det mest K i amfibol med minst Cl. Det er kjent K rike NaCa-amfibol fra før (F.K.Mazdab, 2003), men det kan ut fra mine analyser se ut som K har en preferanse for Ca-amfiboler over NaCa-amfiboler. Dette kan sees både i mine eksperimentelt dannede amfibol, og i amfibol dannet i bergarten fra før. Det er også en tydelig kobling mellom K og Fe innhold (Appendiks E), noe som kan sees både for mine eksperimentelt dannet og naturlig dannet amfibol. For å få dannet klorholdig amfibol må det ved 10 Kbar trykk tilsettes HCl, kun tilsatt NaCl og H₂O gir ingen klorholdig amfibol. Derimot viser foreløpige analyser at ved 6 Kbar trykk vil det dannes klorholdig amfibol også uten tilsatt HCl, men kun NaCl og H₂O (Appendiks D). Det ble dannet miarolittiske druserom med amfibol, mye tyder på at disse senere ble fylt med NaCl. Dermed kan NaCl kontaminering forekomme, da det ikke er mulig å vite hvorvidt druserom med NaCl eksisterer under overflaten. Et forsøk på å kvantifisere dette er gitt i Appendiks F.

Konklusjon

Dannelse av klorholdig amfibol eksperimentelt er mulig ved tilstedeværelse av et fluid med lav pH (HCl) ved høyt trykk. Det er også viktig at mengden fluid er lav. (1wt%, eller slik at alt fluid blir brukt i reaksjoner under forsøket). Ved høyt trykk får dannes NaCa-amfibol istedet for vanlig forekommende i Ca-amfibol. NaCa-amfibol følger ikke de trender som tidligere er funnet i Ca-amfibol, med hensyn til K, Mg og Fe. Det er ingen korrelasjon mellom K og Cl mens det synes å være svake korrelasjoner mellom Fe, Mg, Al og Cl. Det er derimot en positiv korrelasjon mellom Na på A plassen og Cl.

Til slutt vil jeg rette en særlig takk til:

Kjell P. Skjerlie for all hjelp med å finne årsaker til at forsøkene brøt sammen, og i oppsett av forsøkene.

Erling Krogh Ravna for nyttige tips for å skaffe bedre data for klor i amfibol.

Karsten Eig for nyttige tips og hjelp når skrivesperra satte inn, samt gjennomlesning og kommentarer til oppgaven.

Kjetil Skoglund for allmenn distraksjon og muntrasjon i en stressende hverdag.

Referanser

- Austrheim, H & Boundy, T. M. (1994): Pseudotachylytes generated during seismic faulting and eclogitization of the deep crust. *Science* **265**, 82-83.
- Austrheim, H., Erambert, M. & Boundy, T. M (1996): Garnets recording deep crustal earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters* **139**, 223-238.
- Bucher, K, & Frey, M. (1994): *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag.
- Flaat, K. (1998): Elementmobilisering og fluid-bergartsinteraksjoner under dannelsen av dyp-skorpe skjærsoner på Flakstadøy, Lofoten. Upublisert cand. scient. oppgave, Universitetet i Tromsø.
- Kullerud, K. (1995): Chlorine, titanium and barium-rich biotites: factors controlling biotite composition and implications for garnet-biotite geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **120**, 42-59.
- Kullerud, Kåre (1996): Chlorine-rich amphiboles: interplay between amphibole composition and an evolving fluid. *Eur. J. Mineral.*, **8**, 355-370
- Kullerud, K & Erambert, M. (1999): Cl-Scapolite, Cl-amphibole, and plagioclase equilibria in ductile shear zones at Nusfjord, Lofoten, Norway: Implications for fluid compositional evolution during fluid-mineral interaction in deep crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **63**, 3829-3844
- Leake, B.E., Wooley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G, Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C.,

- Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G. (1997): Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist* **35**, 219-246
- Kuniaki Makino, Katsutoshi Tomita & Kanenori Suwa (1993): Effect of chlorine on the crystal structure of a chlorine-rich hastingsite. *Mineralogical Magazine* **57**, 677-685
- Markl, G. & Bucher, K. (1997): Proterozoic eclogites from the Lofoten Islands, northern Norway. *Lithos* **42**, 15-35.
- Markl, G. & Bucher, K. (1998): Composition of fluids in the lower crust inferred from metamorphic salt in lower crustal rocks. *Nature* **391**, 781-783.
- Markl, G., Ferry, J. & Bucher, K. (1998): Formation of saline brines and salt in the lower crust by hydration reactions and partially retrogressed granulites from the Lofoten Islands, Norway. *American Journal of Science* **298**, 705-757.
- Markl, G., Musashi, M. & Bucher, K. (1997): Chlorine stable isotope composition of granulites from Lofoten, Norway: Implications for the Cl isotopic composition and for the source of Cl enrichment in the lower crust. *Earth and Planetary Science Letters* **150**, 95-102.
- Mazdab, F.K (2003): The diversity and occurrence of potassium-dominant amphiboles. *The Canadian Mineralogist* **41**, 1329-1344
- Morrison, Jean (1991): Compositional constraints on the incorporation of Cl into amphiboles. *American Mineralogist* **76**, 1920-1930
- Oberti, R. Ungaretti, L., Cannillo, E. & Hawthorne, F.C. (1993): The mechanism of Cl incorporation in amphibole. *American Mineralogist* **78**, 746-752.
- Oberti R., Hawthorne F.C., Ungaretti L. & Cannillo E (1995):⁶¹Al disorder in amphiboles from mantle peridotite. *Canadian Mineralogist* **33**. 867-878
- Papike, J. J., Boyd, Francis R., Clark, Joan R., Ernst, W. G. & Holser, William T. (1969): Pyroxenes and amphiboles – crystal chemistry and phase petrology. *Special Paper – Mineralogical Society of America* **2**. 120
- Perchuk, L.L. & Lavrent'eva, I.V. (1983): Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite – garnet – biotite. In: Saxena, S.K. (ed.) *Kinetics and equilibrium in mineral reactions*. Advances in Physical Geochemistry **3**, 199-239, Springer.
- Romey, W. (1971). Basic igneous complex, mangerite and high grade gneisses of Flakstadøy, Lofoten, northern Norway. I. Field relations and speculations on origins. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **51**, 33-61.
- Volfinger, M., Robert, J.-L., Vielzeuf, D. & Neiva, A.M.R (1985): Structural control of the chlorine content of OH-bearing silicates (micas and amphiboles). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **49**, 37-48.
- Wade, S.J.R. (1985): Radiogenic isotope studies of crust-forming processes in the Lofoten-Vesterålen province of north Norway. Ph.D. Thesis, University of Oxford.

Appendiks A

Mineralanalyser for prøve G4.

Orthopyroksen

Label	1_5
Na2O	0
K2O	0
SO3	0
Cl	0,22
SiO2	52,78
Al2O3	1,83
TiO2	0
FeO	22,9
MgO	21,71
CaO	0,56
MnO	0
Sum	100
Corr sum	99,95

Klinopyroksen

Label	1_3	1_6
Na2O	0	0,93
K2O	0,15	0
SO3	0	0
Cl	0	0,13
SiO2	40,43	51,22
Al2O3	21,83	3,54
TiO2	0,23	0,86
FeO	24,71	7,78
MgO	5,67	13,44
CaO	6,98	22,1
MnO	0	0
Sum	100	100
Corr sum	100	99,97

Si	2,000
Al	0,082
Ti	0,000
Fe	0,726
Mn	0,000
Mg	1,226
Ca	0,023
Na	0,000
K	0,000
S	0,000
Cl	0,012

Si	1,568	1,896
Al	0,998	0,154
Ti	0,007	0,024
Fe	0,802	0,241
Mn	0,000	0,000
Mg	0,328	0,742
Ca	0,290	0,877
Na	0,000	0,067
K	0,007	0,000
S	0,000	0,000
Cl	0,000	0,007

Klinopyroksen

Label	2_1	2_3	Halvsirkel1
Na2O	0,8	0,84	0,48
K2O	0	0	0
SO3	0	0	0
Cl	0,16	0,09	0,08
SiO2	50,98	50,7	51,62
Al2O3	3,61	3,41	3,28
TiO2	0,42	0,76	0,54
FeO	7,82	9,1	8,14
MgO	14,59	14,02	13,72
CaO	21,62	21,08	22,14
MnO	0	0	0
Sum	100	100	100
Corr sum	99,96	99,98	99,98

Ilmenitt

TiO2	28,09
FeO2	68,98
Sum	97,07
Fe	0,96
Ti	0,35
	1,52
Ti	0,54
Fe	1,46

Si	1,906	1,906	1,932
Al	0,159	0,151	0,145
Ti	0,012	0,021	0,015
Fe	0,244	0,286	0,255
Mn	0,000	0,000	0,000
Mg	0,813	0,786	0,765
Ca	0,866	0,849	0,888
Na	0,058	0,061	0,035
K	0,000	0,000	0,000
S	0,000	0,000	0,000
Cl	0,008	0,005	0,004

Amfibol

Label	S_1	S11	S_2	S_3
Na2O	4,23	0,91	4,23	4,18
K2O	0,52	1,84	0,5	0,46
SO3	0	0	0	0
Cl	0,15	0	0,17	0,16
SiO2	45,81	44,22	45,77	45,69
Al2O3	18,33	13,36	18,35	18,38
TiO2	2,37	0,14	2,75	2,52
FeO	15,27	13,19	15,12	15,05
MgO	5	13,62	5,42	5,44
CaO	8,28	12,72	7,65	8,08
MnO	0	0	0	0
Sum	99,96	100	99,96	99,96
Corr sum	99,92	100	99,92	99,93
Si	6,660	6,289	6,598	6,604
Al	3,140	2,239	3,117	3,130
Ti	0,259	0,015	0,298	0,274
Fe	1,857	1,569	1,823	1,819
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,084	2,888	1,165	1,172
Ca	1,290	1,939	1,182	1,251
Na	1,192	0,251	1,182	1,171
K	0,096	0,334	0,092	0,085
S	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,036	0,000	0,042	0,040

Appendiks B

Mineralanalyser fra forsøkene.

Alle data fra forsøkene mine. Data merket med blå farge er de med Cl innhold over 1 apfe. De som er merket med mørk rød farge er analyser som høyst sannsynlig er feil da de gir resultater langt unna resten av dataene, men de gir fortsatt en strukturformel der alle plasser fylles, og ikke for mye Na på A-plassen, så det får bli opp til leser å ta stilling til disse analysene.

Eksperiment nummer i tabellene henviser til eksperiment nummer i tabell 3.

Amfibol

Ekspr. nr.	4	2	2
Kommentar	Mikrosonde undersøkelser		
Na ₂ O	1,45	1,99	2,02
K ₂ O	0,27	0,89	0,71
SO ₃	0	0	0
Cl ₂ O	0,09	0,11	0,09
Cl	0	0	0
SiO ₂	47,16	40,73	43,06
Al ₂ O ₃	9,83	14,36	14,37
TiO ₂	0,54	2,21	0,96
FeO	16,83	17,85	16,63
MgO	11,45	8,53	9,14
CaO	9,38	10,42	10,3
MnO	0,16	0,07	0,1
Sum	97,07	97,05	97,29
Corr sum	97,07	97,05	97,29
Si	6,780	6,085	6,337
Al	1,665	2,528	2,492
Ti	0,058	0,248	0,106
Fe	2,023	2,230	2,047
Mn	0,019	0,009	0,012
Mg	2,454	1,900	2,005
Ca	1,445	1,668	1,624
Na	0,404	0,576	0,576
K	0,050	0,170	0,133
S	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	12	12	12	12	12
Kommentar					
Na ₂ O	5,23	4,98	5,36	5,09	5,43
K ₂ O	0,41	0,38	0,52	0,4	0,39
SO ₃	0	0	0	0	0
Cl ₂ O	1,13	1,07	1	1,07	0,98
Cl	0	0	0	0	0
SiO ₂	43,83	43,74	45,92	46,43	45,61
Al ₂ O ₃	17,81	20,45	19,1	18,95	21,66
TiO ₂	1,22	1,06	1,05	0,99	1,01
FeO	16,56	15,8	12,17	12,21	13,05
MgO	7,33	5,9	6,12	6,16	4,61
CaO	6,48	6,63	8,78	8,7	7,26
MnO	0	0	0	0	0
Sum	98,87	98,94	99,02	98,93	99,02
Corr sum	98,87	98,94	98,76	98,93	99,02
Si	6,295	6,273	6,745	6,790	6,612
Al	3,014	3,456	3,345	3,265	3,700
Ti	0,132	0,114	0,110	0,109	0,110
Fe	1,989	1,895	1,496	1,493	1,582
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,569	1,261	1,304	1,343	0,996
Ca	0,997	1,019	1,356	1,363	1,128
Na	1,456	1,384	1,438	1,443	1,526
K	0,075	0,070	0,073	0,075	0,072
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kommentar	Mikrosonde undersøkelse fra oslo								
Na2O	4,42	5,12	5,31	4,75	4,45	4,31	4,36	1,3	1,38
K2O	0,29	0,29	0,38	0,18	0,17	0,18	0,2	2	1,93
SO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	1,31	1,48	1,2	1,06	0,55	0,62	0,62	0,11	0,09
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	42,57	48,38	46,23	41,9	41,95	41,51	41,56	41,1	41,46
Al2O3	11,69	18,08	15,78	11,02	11,46	11,61	11,66	14,12	14,31
TiO2	1,62	0,82	1,11	2,43	2,3	2,19	2,58	1,45	1,91
FeO	21,3	12,05	15,92	18,98	20,88	21,37	20,65	13,84	13,77
MgO	8,6	5,21	6,22	9,73	8,49	8,53	8,48	11,65	11,39
CaO	8,2	8,57	7,85	7,87	7,97	7,84	7,63	11,95	11,86
Cr2O3	0	0	0	0	0,02	0,03	0	0	0
MnO	0	0	0	0,16	0,11	0,16	0,17	0,07	0,05
Sum	98,69	98,52	98,8	97,01	97,79	97,74	97,28	97,47	98,06
Corr sum	98,69	98,52	98,8	97,01	97,79	97,74	97,28	97,47	98,06
Si	6,275	7,135	6,811	6,246	6,240	6,162	6,189	6,084	6,104
Al	2,030	3,142	2,739	1,935	2,008	2,032	2,046	2,463	2,483
Ti	0,180	0,091	0,123	0,272	0,258	0,245	0,289	0,162	0,211
Fe	2,626	1,486	1,961	2,366	2,598	2,654	2,572	1,713	1,695
Mn	0,000	0,000	0,000	0,020	0,013	0,020	0,021	0,009	0,006
Mg	1,890	1,145	1,366	2,161	1,883	1,888	1,882	2,570	2,500
Ca	1,295	1,354	1,239	1,257	1,270	1,248	1,217	1,895	1,872
Na	1,263	1,464	1,516	1,371	1,283	1,241	1,257	0,374	0,393
K	0,055	0,055	0,071	0,033	0,032	0,034	0,038	0,378	0,363
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kommentar									
Na2O	1,33	4,18	4,33	4,6	1,59	4,7	4,27	4,53	1,93
K2O	1,93	0,17	0,16	0,19	1,96	0,18	0,18	0,19	2,1
SO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,07	0,71	0,58	0,55	0,06	0,61	0,88	0,66	0,25
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	41,66	42,72	42,33	42,46	42,22	42,25	41,45	40,82	40,56
Al2O3	14,2	11,17	11,5	11,91	13,54	11,48	11,54	12,06	14,06
TiO2	0,21	1,99	2,06	1,89	1,14	2,21	2,25	2,39	1,66
FeO	13,31	20,81	22,43	21,12	12,97	20,1	21,98	21,49	13,95
MgO	12,44	8,33	8,07	8,99	12,46	8,7	8,19	8,07	11,26
CaO	12,23	8,83	7,4	7,69	11,96	7,82	7,45	7,72	11,92
Cr2O3	0,02	0,16	0	0,01	0	0,02	0,04	0,04	0
MnO	0,06	0,18	0,18	0,25	0,07	0,16	0,19	0,17	0,1
Sum	97,39	98,53	98,46	99,1	97,89	97,62	97,54	97,48	97,54
Corr sum	97,39	98,53	98,46	99,1	97,89	97,62	97,54	97,48	97,54
Si	6,134	6,359	6,228	6,189	6,202	6,287	6,159	6,101	6,067
Al	2,463	1,958	1,994	2,045	2,343	2,014	2,020	2,123	2,478
Ti	0,023	0,223	0,227	0,207	0,126	0,248	0,251	0,269	0,187
Fe	1,640	2,590	2,759	2,574	1,593	2,502	2,732	2,686	1,745
Mn	0,008	0,023	0,022	0,031	0,008	0,020	0,024	0,022	0,013
Mg	2,732	1,848	1,770	1,953	2,728	1,929	1,815	1,799	2,510
Ca	1,929	1,409	1,167	1,200	1,882	1,247	1,187	1,237	1,911
Na	0,380	1,206	1,235	1,300	0,451	1,356	1,231	1,311	0,559
K	0,363	0,032	0,029	0,035	0,367	0,034	0,034	0,036	0,401
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,001	0,009	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,003	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kommentar									
Na2O	4,15	5,03	4,4	5,27	4,4	4,11	5,08	1,35	4,24
K2O	0,21	0,17	0,2	0,18	0,17	0,18	0,19	2,05	0,17
SO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,66	1,1	0,61	0,58	0,64	0,81	0,62	0,22	0,62
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	40,93	41,1	42,15	41,62	41,13	41,19	41,8	40,32	41,92
Al2O3	11,07	11,59	11,55	11,56	11,72	11,73	11,85	13,9	11,4
TiO2	2,2	2,19	2,46	2,23	2,21	2,17	2,31	1,81	2,32
FeO	19,6	20,13	19,94	20,33	21,92	21,72	18,79	13,71	19,76
MgO	9,19	8,84	9,04	9,07	8	7,89	9,41	11,25	9,4
CaO	7,92	7,57	8,29	7,83	7,66	7,7	8,3	11,91	7,84
Cr2O3	0,1	0,1	0,07	0,07	0	0,1	0,03	0	0,08
MnO	0,22	0,13	0,11	0,12	0,13	0,19	0,12	0,06	0,16
Sum	95,6	96,85	98,2	98,29	97,34	96,97	97,87	96,36	97,27
Corr sum	95,6	96,85	98,2	98,29	97,34	96,97	97,87	96,36	97,27
Si	6,193	6,174	6,237	6,180	6,149	6,174	6,221	6,071	6,211
Al	1,974	2,052	2,013	2,022	2,064	2,072	2,079	2,466	1,989
Ti	0,250	0,247	0,274	0,249	0,248	0,245	0,259	0,205	0,258
Fe	2,480	2,529	2,468	2,525	2,741	2,723	2,339	1,726	2,448
Mn	0,029	0,017	0,013	0,015	0,017	0,023	0,015	0,008	0,019
Mg	2,073	1,981	1,994	2,008	1,782	1,762	2,087	2,524	2,075
Ca	1,284	1,219	1,314	1,246	1,227	1,237	1,324	1,922	1,245
Na	1,218	1,463	1,262	1,517	1,276	1,195	1,467	0,394	1,218
K	0,040	0,032	0,038	0,035	0,032	0,034	0,036	0,394	0,033
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,006	0,006	0,004	0,004	0,000	0,006	0,002	0,000	0,005

Amfibol

Ekspr. nr.	3	3	3	3	3	3	3	3
Kommentar								
Na2O	4,6	4,39	4,66	4,26	4,08	1,47	1,63	2,47
K2O	0,18	0,16	0,21	0,15	0,18	2,24	1,76	1,47
SO3	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	1,3	0,84	0,7	0,65	0,61	0,07	0,15	0,64
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	40,91	43,41	41,49	42,66	40,07	39,1	40,69	40,19
Al2O3	11,75	10,01	11,62	10,43	11,19	14,53	14,82	14,23
TiO2	2,33	2,01	2,35	2,05	2,51	1,88	0,64	1
FeO	20,47	17,44	19,81	20,26	19,9	14,6	12,92	13,34
MgO	8,42	11,38	8,67	8,9	8,53	10,4	12,07	11,74
CaO	7,95	8,2	8,18	8,1	7,84	11,67	11,65	11,06
Cr2O3	0,05	0	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0
MnO	0,24	0,19	0,17	0,15	0,17	0,19	0,1	0,01
Sum	96,9	97,18	97,2	96,95	94,49	96,08	96,3	95,51
Corr sum	96,9	97,18	97,2	96,95	94,49	96,08	96,3	95,51
Si	6,157	6,383	6,230	6,388	6,154	5,945	6,044	6,049
Al	2,083	1,733	2,056	1,840	2,025	2,603	2,594	2,524
Ti	0,264	0,222	0,265	0,230	0,290	0,215	0,072	0,113
Fe	2,577	2,144	2,488	2,537	2,557	1,856	1,605	1,679
Mn	0,030	0,024	0,021	0,019	0,023	0,024	0,012	0,001
Mg	1,889	2,494	1,940	1,986	1,952	2,358	2,672	2,634
Ca	1,282	1,291	1,316	1,299	1,291	1,901	1,855	1,783
Na	1,342	1,250	1,355	1,238	1,215	0,432	0,469	0,720
K	0,034	0,031	0,039	0,028	0,035	0,434	0,334	0,282
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,003	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	3	3	3	1	1	1	1	1
Kommentar								
Na2O	4,17	4,58	4,36	4,51	4,48	1,87	3,62	1,43
K2O	0,18	0,19	0,16	0,24	0,26	1,4	0,75	2,08
SO3	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,61	0,56	0,54	0,67	0,66	0,19	0,76	0,16
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	41,74	41,65	42,17	43,04	43,07	42,16	40,6	40,65
Al2O3	11,58	11,75	11,78	10,7	10,91	13,51	12,98	15,27
TiO2	2,3	2,1	2,47	1,37	1,66	1,93	1,69	0,27
FeO	20,96	20,97	18,63	20,49	19,88	13,19	18,87	13,54
MgO	8,45	8,36	9,61	9,2	9,17	11,6	9,63	12,03
CaO	7,98	8,1	8,23	8,11	7,75	11,24	9,13	11,95
Cr2O3	0,02	0,02	0,1	0	0,03	0	0	0
MnO	0,2	0,21	0,2	0,12	0,1	0,07	0,16	0,1
Sum	97,59	97,93	97,69	97,78	97,3	96,97	97,42	97,31
Corr sum	97,59	97,93	97,69	97,78	97,3	96,97	97,42	97,31
Si	6,208	6,206	6,231	6,385	6,395	6,234	6,037	5,993
Al	2,029	2,063	2,051	1,871	1,909	2,354	2,274	2,652
Ti	0,258	0,235	0,275	0,153	0,185	0,214	0,189	0,030
Fe	2,607	2,613	2,302	2,542	2,469	1,632	2,347	1,669
Mn	0,025	0,027	0,025	0,015	0,013	0,009	0,020	0,012
Mg	1,874	1,857	2,117	2,034	2,029	2,557	2,134	2,644
Ca	1,271	1,294	1,303	1,289	1,233	1,781	1,454	1,887
Na	1,202	1,322	1,249	1,297	1,289	0,536	1,044	0,409
K	0,035	0,036	0,029	0,045	0,049	0,265	0,143	0,391
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,001	0,001	0,006	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar						Sansynligvis hullrom	
Na2O	1,63	4,16	4,11	2,25	1,61	4,03	4,48
K2O	1,66	0,28	0,3	1,64	1,69	0,29	0,25
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,04	0,96	0,82	0,25	0,04	0,94	0,74
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	40,16	41,54	42,13	42,22	40,44	39,19	42,84
Al2O3	14,97	10,93	11,25	13,89	15,12	10,45	10,9
TiO2	1,84	1,7	1,64	1,82	1,88	1,64	1,57
FeO	14,45	22	20,57	14,05	14,02	22,88	20,55
MgO	11,03	8,78	8,98	11,02	11,01	8,44	9,08
CaO	11,82	7,87	7,92	11,24	11,83	7,68	7,9
Cr2O3	0	0,03	0,06	0,02	0,03	0,05	0,07
MnO	0,17	0,1	0,11	0,11	0,14	0,09	0,15
Sum	97,74	97,38	97,07	98,25	97,77	94,74	97,8
Corr sum	97,74	97,38	97,07	98,25	97,77	94,74	97,8
Si	5,943	6,189	6,275	6,222	5,979	6,027	6,349
Al	2,611	1,919	1,974	2,411	2,634	1,893	1,903
Ti	0,205	0,190	0,183	0,202	0,209	0,190	0,175
Fe	1,789	2,741	2,562	1,731	1,733	2,943	2,547
Mn	0,022	0,012	0,013	0,013	0,017	0,012	0,019
Mg	2,432	1,950	1,993	2,421	2,428	1,935	2,006
Ca	1,873	1,256	1,264	1,775	1,875	1,266	1,255
Na	0,468	1,202	1,187	0,642	0,462	1,201	1,286
K	0,313	0,053	0,057	0,308	0,320	0,058	0,048
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,001	0,004	0,001	0,002	0,003	0,004

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar							
Na2O	4,21	1,61	4,54	4,54	2,11	1,18	4,73
K2O	0,29	2,08	0,26	0,27	0,97	1,39	0,26
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,69	0,39	0,71	0,66	0,09	0,08	0,91
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	41,23	40,77	42,78	41,92	41,7	43,86	42,49
Al2O3	10,94	14,52	11,14	11,52	13,22	12,13	11,11
TiO2	1,62	2,04	1,56	1,69	1,55	0,31	1,73
FeO	21,32	13,28	20,34	20,92	15,26	14,03	21,18
MgO	8,38	11,06	9,23	8,58	10,8	13,62	8,45
CaO	7,87	11,78	7,71	7,62	11,52	10,73	7,67
Cr2O3	0,03	0	0	0,06	0	0,01	0,09
MnO	0,15	0,18	0,16	0,1	0,24	0,2	0,15
Sum	96,04	97,33	97,72	97,22	97,36	97,46	97,86
Corr sum	96,04	97,33	97,72	97,22	97,36	97,46	97,86
Si	6,248	6,080	6,322	6,254	6,195	6,294	6,325
Al	1,953	2,552	1,940	2,026	2,314	2,052	1,949
Ti	0,185	0,229	0,173	0,190	0,174	0,033	0,193
Fe	2,702	1,657	2,514	2,610	1,897	1,684	2,637
Mn	0,020	0,023	0,020	0,013	0,030	0,024	0,019
Mg	1,892	2,460	2,032	1,908	2,391	2,913	1,876
Ca	1,278	1,883	1,221	1,217	1,834	1,649	1,223
Na	1,237	0,465	1,299	1,314	0,607	0,329	1,363
K	0,055	0,395	0,049	0,051	0,184	0,254	0,050
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,005

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar							
Na2O	4,26	1,55	4,28	4,36	2,19	4,59	1,33
K2O	0,27	1,9	0,27	0,32	1,77	0,29	2,3
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,77	0,07	0,63	0,8	0,12	0,67	0,07
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	41,77	41,37	42,41	41,95	40,48	42,38	39,36
Al2O3	11,11	13,67	10,98	11,41	14,51	10,98	15,68
TiO2	1,6	1,61	1,65	1,77	2,05	1,7	1,8
FeO	21,78	14,08	20,84	21,01	14,87	20,38	14,29
MgO	8,91	11,51	9,03	8,34	10,69	9,18	10,1
CaO	7,27	11,95	7,61	7,85	11,35	7,7	11,71
Cr2O3	0,08	0	0,02	0,06	0,03	0,04	0
MnO	0,18	0,11	0,11	0,15	0,16	0,12	0,12
Sum	97,21	97,76	97,19	97,21	98,09	97,35	96,69
Corr sum	97,21	97,76	97,19	97,21	98,09	97,35	96,69
Si	6,190	6,131	6,296	6,278	6,006	6,302	5,929
Al	1,940	2,387	1,921	2,013	2,537	1,924	2,784
Ti	0,179	0,179	0,184	0,199	0,229	0,190	0,204
Fe	2,699	1,745	2,587	2,629	1,844	2,535	1,800
Mn	0,022	0,014	0,013	0,019	0,020	0,015	0,015
Mg	1,969	2,543	1,999	1,861	2,364	2,035	2,268
Ca	1,154	1,898	1,210	1,259	1,805	1,227	1,891
Na	1,222	0,445	1,233	1,265	0,629	1,322	0,389
K	0,051	0,359	0,052	0,061	0,334	0,054	0,441
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,004	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar							
Na2O	1,34	4,85	2,86	4,3	1,62	4,93	4,58
K2O	2,33	0,28	1,26	0,31	2,13	0,25	0,28
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,04	1,64	0,61	0,87	0,1	2,66	0,68
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	39,92	41,28	40,97	42,12	40,32	43,01	42,71
Al2O3	14,14	11,19	13,62	10,93	15,15	14,99	11,11
TiO2	1,97	1,59	1,82	1,68	2,08	1,1	1,62
FeO	14,8	20,09	16,62	20,62	13,04	15,72	20,71
MgO	10,58	8,88	10,17	9,09	11,45	5,86	9,14
CaO	11,66	7,89	9,57	8,12	12,02	8,28	7,52
Cr2O3	0,02	0,06	0,02	0,05	0	0,01	0,05
MnO	0,14	0,14	0,14	0,19	0,07	0,13	0,1
Sum	96,9	96,23	97,03	97,4	97,88	94,28	97,82
Corr sum	96,9	96,23	97,03	97,4	97,88	94,28	97,82
Si	6,012	6,254	6,083	6,278	5,972	6,697	6,305
Al	2,509	1,997	2,382	1,920	2,644	2,749	1,933
Ti	0,223	0,181	0,203	0,188	0,232	0,129	0,180
Fe	1,864	2,545	2,064	2,571	1,615	2,047	2,558
Mn	0,018	0,018	0,017	0,024	0,008	0,017	0,012
Mg	2,375	2,005	2,250	2,019	2,529	1,361	2,012
Ca	1,881	1,281	1,523	1,298	1,908	1,382	1,189
Na	0,391	1,423	0,822	1,241	0,465	1,488	1,311
K	0,448	0,055	0,238	0,060	0,403	0,049	0,052
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,001	0,003	0,001	0,003	0,000	0,001	0,003

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar							
Na2O	4,46	1,57	4,01	4,22	1,67	4,27	2,1
K2O	0,28	1,77	0,3	0,26	2,06	0,26	1,94
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,77	0,15	0,59	0,68	0,08	0,57	0,22
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	42,35	41,29	44,16	42,73	40,19	42,85	40,9
Al2O3	11,19	14,75	10,69	10,96	16,06	10,8	14,6
TiO2	1,76	1,31	1,77	1,69	1,15	1,6	0,85
FeO	20,76	12,89	17,43	19,66	12,27	19,77	14,36
MgO	9,17	11,86	10,3	9,58	11,78	9,61	11,48
CaO	7,87	11,86	9	7,97	11,9	7,64	11,51
Cr2O3	0,05	0	0,06	0,07	0,06	0,05	0
MnO	0,13	0,17	0,08	0,16	0,13	0,15	0,13
Sum	98,03	97,46	97,8	97,29	97,26	96,99	97,88
Corr sum	98,03	97,46	97,8	97,29	97,26	96,99	97,88
Si	6,255	6,081	6,518	6,329	5,944	6,348	6,044
Al	1,948	2,560	1,859	1,912	2,798	1,884	2,542
Ti	0,196	0,145	0,197	0,189	0,128	0,178	0,095
Fe	2,565	1,588	2,151	2,435	1,517	2,449	1,774
Mn	0,017	0,021	0,010	0,020	0,016	0,018	0,017
Mg	2,020	2,605	2,266	2,116	2,597	2,123	2,528
Ca	1,246	1,871	1,424	1,264	1,886	1,212	1,823
Na	1,278	0,449	1,148	1,211	0,480	1,226	0,600
K	0,052	0,332	0,057	0,049	0,388	0,049	0,366
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,003	0,000	0,003	0,004	0,003	0,003	0,000

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar							
Na2O	4,82	4,46	1,54	5,05	4,39	5,16	5,27
K2O	0,29	0,25	2,06	0,23	0,29	0,27	0,27
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,75	0,52	0,2	0,5	0,75	3,25	2,29
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	42,35	43,19	40,37	43,2	42,09	40,77	41,04
Al2O3	10,86	10,94	14,55	11,01	11,37	11,08	11,12
TiO2	1,64	1,51	0,77	1,56	1,7	1,63	1,64
FeO	20,83	20,2	14,62	19,96	20,83	19,66	21,16
MgO	8,91	9,48	11,25	9,72	9,39	8,99	8,69
CaO	7,91	7,23	11,7	7,5	7,73	7,62	7,81
Cr2O3	0,03	0,07	0	0,05	0,07	0,08	0,06
MnO	0,15	0,16	0,13	0,16	0,12	0,13	0,1
Sum	97,77	97,48	96,98	98,44	97,97	95,37	97,17
Corr sum	97,77	97,48	96,98	98,44	97,97	95,37	97,17
Si	6,313	6,353	6,019	6,334	6,198	6,236	6,196
Al	1,907	1,897	2,556	1,902	1,973	1,996	1,977
Ti	0,184	0,167	0,086	0,172	0,188	0,187	0,186
Fe	2,597	2,485	1,823	2,448	2,566	2,514	2,672
Mn	0,018	0,019	0,016	0,020	0,015	0,016	0,013
Mg	1,981	2,079	2,500	2,124	2,060	2,049	1,956
Ca	1,263	1,139	1,869	1,178	1,219	1,248	1,264
Na	1,393	1,272	0,445	1,435	1,253	1,528	1,542
K	0,055	0,047	0,391	0,043	0,055	0,052	0,052
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,001	0,004	0,000	0,003	0,004	0,005	0,004

Amfibol

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1	1	1
Kommentar							
Na2O	5,03	4,44	3,29	2,03	4,67	1,88	4,6
K2O	0,27	0,27	0,43	1,31	0,29	1,64	0,27
SO3	0	0	0	0	0	0	0
Cl2O	0,61	0,68	0,53	0,25	0,83	0,1	0,89
Cl	0	0	0	0	0	0	0
SiO2	42,58	42,02	43,71	42,47	41,8	41,9	41,06
Al2O3	11,29	11,27	10,68	14,48	11,36	13,69	10,6
TiO2	1,63	1,66	1,54	1,04	1,7	1,69	1,65
FeO	20,7	20,66	18,27	13,96	21,21	13,08	21,68
MgO	9,08	9,03	11,26	11,22	8,75	12,31	8,6
CaO	7,81	7,92	8,26	10,67	7,91	11,74	7,61
Cr2O3	0,03	0,02	0,05	0	0,04	0,03	0,08
MnO	0,1	0,13	0,1	0,12	0,17	0,05	0,14
Sum	98,51	97,4	97,58	97,29	97,9	98,01	96,28
Corr sum	98,51	97,4	97,58	97,29	97,9	98,01	96,28
Si	6,288	6,251	6,342	6,217	6,218	6,145	6,216
Al	1,965	1,975	1,825	2,497	1,991	2,366	1,892
Ti	0,181	0,185	0,168	0,115	0,190	0,186	0,188
Fe	2,556	2,570	2,217	1,709	2,639	1,604	2,745
Mn	0,013	0,016	0,012	0,015	0,021	0,006	0,018
Mg	1,998	2,003	2,436	2,447	1,941	2,692	1,942
Ca	1,236	1,262	1,283	1,674	1,262	1,844	1,235
Na	1,439	1,281	0,926	0,577	1,347	0,534	1,349
K	0,051	0,050	0,080	0,244	0,055	0,307	0,051
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,002	0,001	0,003	0,000	0,002	0,002	0,005

Skapolitt

Ekspr. nr.	11	11	11	11	11	12	12
Na ₂ O	8,01	5,82	6,51	6,69	6,50	8,75	7,95
K ₂ O	0,26	0,30	0,32	0,25	0,19	0,23	0,22
SO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	2,54	1,06	2,47	1,54	1,59	7,95	1,83
SiO ₂	54,88	55,02	52,04	52,89	53,82	48,29	55,29
Al ₂ O ₃	24,30	27,51	24,59	26,04	25,28	20,36	23,75
TiO ₂	0,25	0,07	0,39	0,30	0,36	0,59	0,35
FeO	1,94	0,27	3,68	2,60	2,59	4,76	2,39
MgO	0,96	0,55	1,79	1,40	1,41	2,29	1,31
CaO	6,67	9,41	7,97	8,07	7,83	6,60	6,71
MnO	0,18	0,00	0,26	0,23	0,42	0,19	0,21
Sum	99,99	100,01	100,02	100,01	99,99	100,01	100,01
Corr. sum	99,42	99,77	99,46	99,66	99,63	98,22	99,6
Si	8,120	8,046	7,881	7,859	8,048	7,681	8,180
Al	4,236	4,740	4,387	4,559	4,454	3,816	4,140
Ti	0,028	0,008	0,044	0,034	0,040	0,071	0,039
Fe	0,240	0,033	0,466	0,323	0,324	0,633	0,296
Mn	0,023	0,000	0,033	0,029	0,053	0,026	0,026
Mg	0,212	0,120	0,404	0,310	0,314	0,543	0,289
Ca	1,057	1,475	1,293	1,285	1,255	1,125	1,064
Na	2,297	1,650	1,911	1,927	1,884	2,698	2,280
K	0,049	0,056	0,062	0,047	0,036	0,047	0,042
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,637	0,263	0,634	0,388	0,403	2,143	0,459

Plagioklas

Ekspr. nr.	3	3	3	5	6	6	7	9
Na ₂ O	6,29	5,54	6,04	7,19	8,05	8,05	6,09	0,59
K ₂ O	0,00	0,20	0,29	0,26	0,28	0,28	0,31	11,64
SO ₃	0,18	0,29	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
SiO ₂	56,93	54,26	55,78	55,75	55,28	55,28	54,40	57,33
Al ₂ O ₃	26,42	27,30	25,46	27,16	25,99	25,99	27,69	19,64
TiO ₂	0,16	0,26	0,22	0,29	0,41	0,41	0,56	0,89
FeO	1,33	1,57	1,70	1,10	1,56	1,56	0,85	2,36
MgO	1,00	1,16	1,22	0,95	1,19	1,19	0,98	4,35
CaO	7,60	9,24	8,24	7,30	6,71	6,71	9,01	2,47
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,4
Sum	99,91	99,82	99,34	100,00	99,47	99,47	99,89	99,67
Si	2,528	2,614	2,614	2,538	2,535	2,535	2,498	2,892
Al	1,499	1,406	1,406	1,457	1,404	1,404	1,498	1,167
Ca	0,461	0,414	0,414	0,356	0,330	0,330	0,443	0,134
Na	0,500	0,549	0,549	0,634	0,715	0,715	0,542	0,058
K	0,012	0,017	0,017	0,015	0,016	0,016	0,018	0,749

Plagioklas

Ekspr. nr.	11	11	11	11
Na ₂ O	5,69	6,24	4,28	6,36
K ₂ O	0,26	0,25	4,11	0,38
SO ₃	0	0	0	0
Cl	0,6	0,64	0,26	0,05
SiO ₂	55,16	55,99	57,38	56,44
Al ₂ O ₃	26,6	26,94	24,14	26,66
TiO ₂	0,19	0,26	1,12	0
FeO	1,21	0,81	1,54	0
MgO	0,81	0,76	0,21	0,18
CaO	9,21	7,91	6,96	9,92
MnO	0,27	0,2	0	0
Sum	100,00	100,00	100,00	99,99
Si	2,560	2,577	2,686	2,536
Al	1,455	1,461	1,331	1,411
Ca	0,458	0,390	0,349	0,478
Na	0,512	0,557	0,388	0,554
K	0,015	0,015	0,245	0,022

Ekspr. nr.	9	9	9
Na2O	0,65	0,75	0,83
K2O	11,25	9,02	9,60
SO3	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00
SiO2	46,08	42,77	44,83
Al2O3	19,80	17,01	18,91
TiO2	2,45	2,50	2,30
FeO	7,15	8,93	6,43
MgO	10,64	15,60	9,11
CaO	0,94	2,46	7,02
MnO	0,42	0,40	0,29
Sum	99,38	99,44	99,32
Corr sum	99,38	99,44	99,32
Si	3,452	3,127	3,564
Al	1,748	1,465	1,771
Ti	0,138	0,137	0,138
Fe	0,448	0,546	0,428
Mn	0,027	0,025	0,020
Mg	1,188	1,700	1,080
Ca	0,075	0,193	0,598
Na	0,094	0,106	0,128
K	1,075	0,841	0,974
S	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000

Ekspr. nr.	1	1	1	1	1
Na2O	5,32	5,9	5,5	5,39	5,07
K2O	0,39	0,37	0,49	0,31	0,39
SO3	0	0	0	0	0
Cl	1,1	1,15	0,91	1,01	1,17
SiO2	45,81	44,97	46,02	47,08	46,11
Al2O3	18,44	18,15	22,98	22,55	19,41
TiO2	1,12	0,97	0,82	0,6	1
FeO	13,76	13,71	11,69	11,55	12,23
MgO	6,6	6,68	4,01	4,14	5,98
CaO	7,46	8,1	7,57	7,37	8,65
MnO	0	0	0	0	0
Sum	100	100	99,99	100	100,01
Corr sum	99,75	99,74	99,78	99,77	99,75
Si	1,7	1,66	1,7	1,74	1,71
Al	0,8	0,79	1	0,98	0,85
Ti	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
Fe	0,43	0,42	0,36	0,36	0,38
Mn	0	0	0	0	0
Mg	0,36	0,37	0,22	0,23	0,33
Ca	0,3	0,32	0,3	0,29	0,34
Na	0,38	0,42	0,39	0,39	0,36
K	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
S	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0

Appendiks C

Liste over all amfibol analysert.

Eksperiment nummer henviser til eksperiment nummer i tabell 3. Navn er en fornavn av navn funnet i Leake et al. (1997). Der -isk brukes istedet for -oan.

<i>Amfiboler</i>	<i>Eksp. Nr. 3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>7</i>
edenitt					
aluminono-ferro-edenitt					
klorisk ferro-edenitt	1				
kaliumisk pargasitt	12		25		
kaliumisk ferropargasitt	1				
kaliumisk titanisk aluminopargasitt	1			1	
titanisk ferropargasitt			1		
aluminopargasitt	1				
pargasitt			1		
klorisk pargasitt			1		
kloropargasitt			1		
kaliumisk aluminopargasitt	1		1		
kaliumisk titanisk pargasitt					
titanisk sadaganitt	1				
magnesiohornblende		1			
kaliumisk tschermakitt	1		1		
alumino-ferrotschermakitt				1	
ferrotschermakitt		1		2	
kaliumisk aluminotschermakitt					
tschermakitt			1		
aluminorichteritt					
klorisk aluminokatoforitt	24		2		
aluminokatoforitt	13				
klorisk alumino-magnesiokatoforitt					
klorisk katoforitt	2				
magnesiokatoforitt			1		
klorisk taramitt	56		8		
taramitt	28		25		
klorisk aluminotaramitt	5		2		

<i>Amfiboler</i>	<i>Eksp. Nr. 3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>7</i>
klorisk magnesiotaramitt					
klorotaramitt	1				
titanisk klorotaramitt			1		
alumino-magnesiotaramitt	1				
titanisk magnesiotaramitt			1		
titanisk taramitt	11		5		
klorisk titanisk taramitt	2		4		
aluminotaramitt	1				
magnesiotaramitt	1				
klorisk alumino-magnesiotaramitt					
barroisitt/taramitt * 1)	9	1	7		
klorisk barroisitt/taramitt	16				
klorisk alumino-barroisitt/taramitt	4				
titanisk alumino-barroisitt/taramitt	1				1
alumino-barroisitt/taramitt	2	1			1
titanisk barroisitt/taramitt	1		2		
klorisk titanisk barroisitt/taramitt					
barroisitt	3	1	1		2
ferrobarroisitt	1				
alumino-ferrobarroisitt	1				1
aluminobarroisitt	1		1		
klorisk aluminobarroisitt					
klorisk alumino-ferrobarroisitt	1				

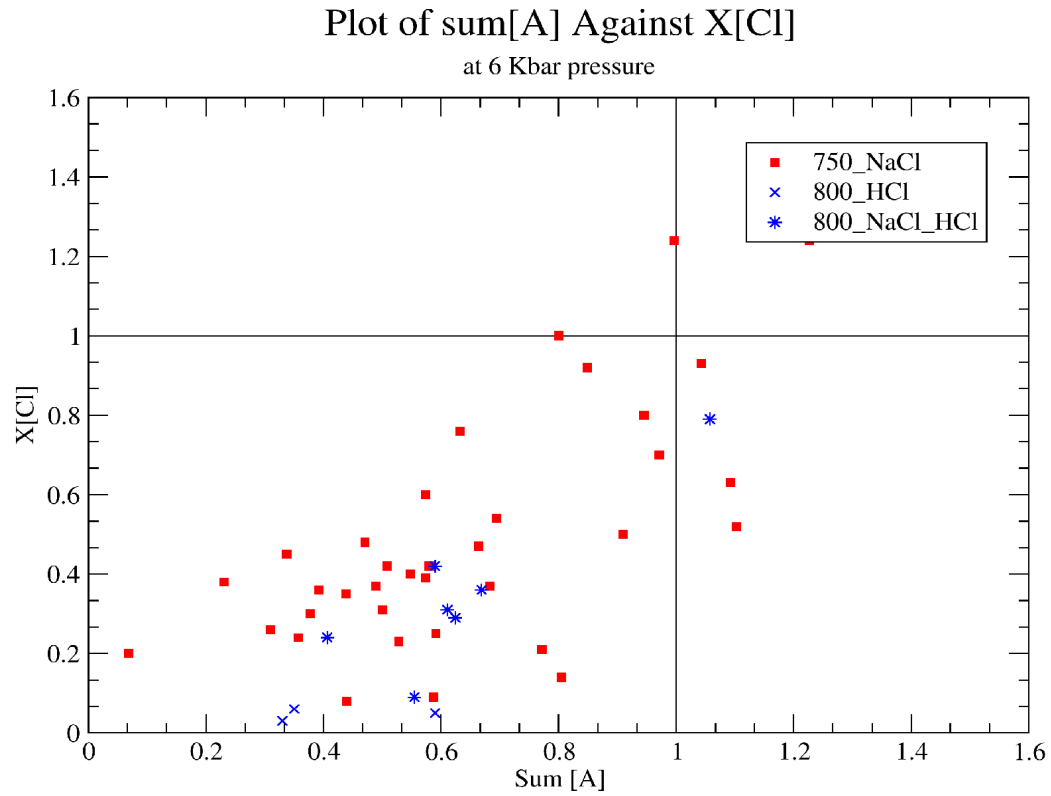
<i>Amfiboler</i>	<i>Ekspr. Nr. 12</i>	<i>11</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>5</i>
edenitt		1			
alumino-ferro-edenitt		2			
klorisk ferro-edenitt					
kaliumisk pargasitt	1				
kaliumisk ferropargasitt					
kaliumisk titanisk aluminopargasitt					
titanisk ferropargasitt					
aluminopargasitt					
ferropargasitt		1			
pargasitt		1			
klorisk pargasitt		1			
kloropargasitt					
kaliumisk aluminopargasitt					
kaliumisk titanisk pargasitt			1		
titanisk sadaganitt					
magnesiohornblende					
kaliumisk tschermakitt					
alumino-ferrotschermakitt					
ferrotschermakitt					
kaliumisk aluminotschermakitt			2		
tschermakitt		1			
aluminorichteritt				1	
klorisk aluminokatoforitt		1			
aluminokatoforitt					1
klorisk alumino-magnesiokatoforitt		2			
klorisk katoforitt					
magnesiokatoforitt					
klorisk taramitt	1	6			
taramitt		1			
klorisk aluminotaramitt		1			
klorisk magnesiotaramitt	1				
kloritaramitt		1			
titanisk klorotaramitt					
alumino-magnesiotaramitt	1				

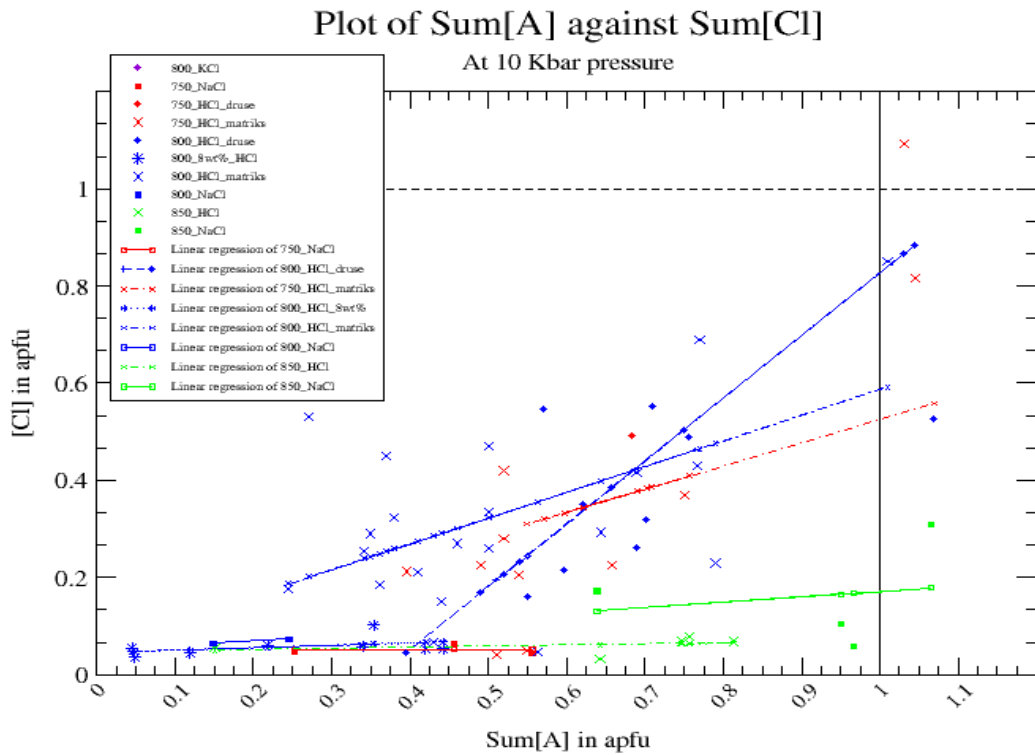
<i>Amfiboler</i>	<i>Ekspr. Nr. 12</i>	<i>11</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>5</i>
titanisk magnesiotalamitt					
titanisk taramitt					
klorisk titanisk taramitt	2	1			
aluminotalamitt					3
magnesiotalamitt				1	
klorisk alumino-magnesiotalamitt		2			
barroisitt/taramitt * 1)		1			
klorisk barroisitt/taramitt		8			
klorisk alumino-barroisitt/taramitt					
titanisk alumino-barroisitt/taramitt					
alumino-barroisitt/taramitt		1			
titanisk barroisitt/taramitt	1				
klorisk titanisk barroisitt/taramitt		1			
barroisitt					
ferrobarroisitt					
alumino-ferrobarroisitt	1				1
aluminobarroisitt	3				
klorisk aluminobarroisitt					
klorisk alumino-ferrobarroisitt					

*1) all amfibol benevnt barroisitt/taramitt er amfiboler som ikke passer inn i noen av kategoriene, de har for liten sum [A] til å være taramitt (de fleste mellom 0.45-0.49, taramitt ≥ 0.5), og for lite Si til å være barroisitt (mellom 6.1 og 6.49, barroisitt har $7.5 > Si > 6.5$).

Appendiks D

Mulig trykkavhengig på bakgrunn av foreløpige resultater for 6 Kbar.



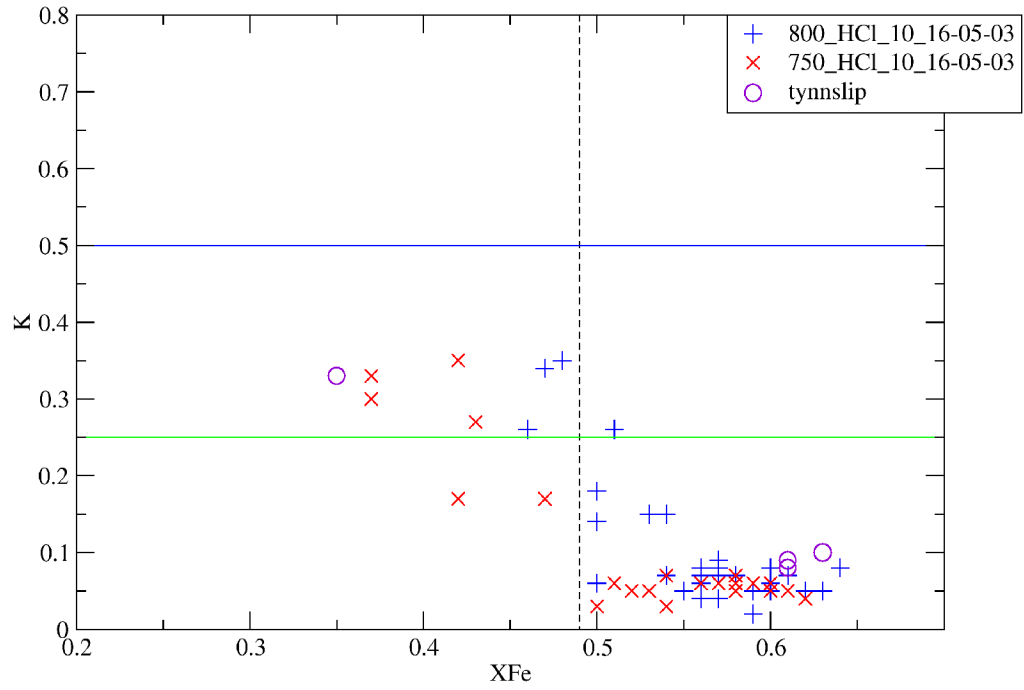


Som vises av plottene over, det ene for 10 Kbar og det andre for 6 Kbar trykk, synes det å være en trykkavhengighet når det gjelder pH, da bare 6 Kbar trykk gir klorholdig amfibol, mens det for 10 Kbar trykk ikke ble dannet noe klorholdig amfibol. Sansynligvis forsvant fluidet under forsøket for prøvene ved 6 Kbar tilsatt HCl, og dette er årsak til at det ikke ble funnet klorholdig amfibol i denne prøven. Om dette er tilfelle eller ett HCl fluid ikke danner klorholdig amfibol ved 6 Kbar må sjekkes nærmere med flere forsøk.

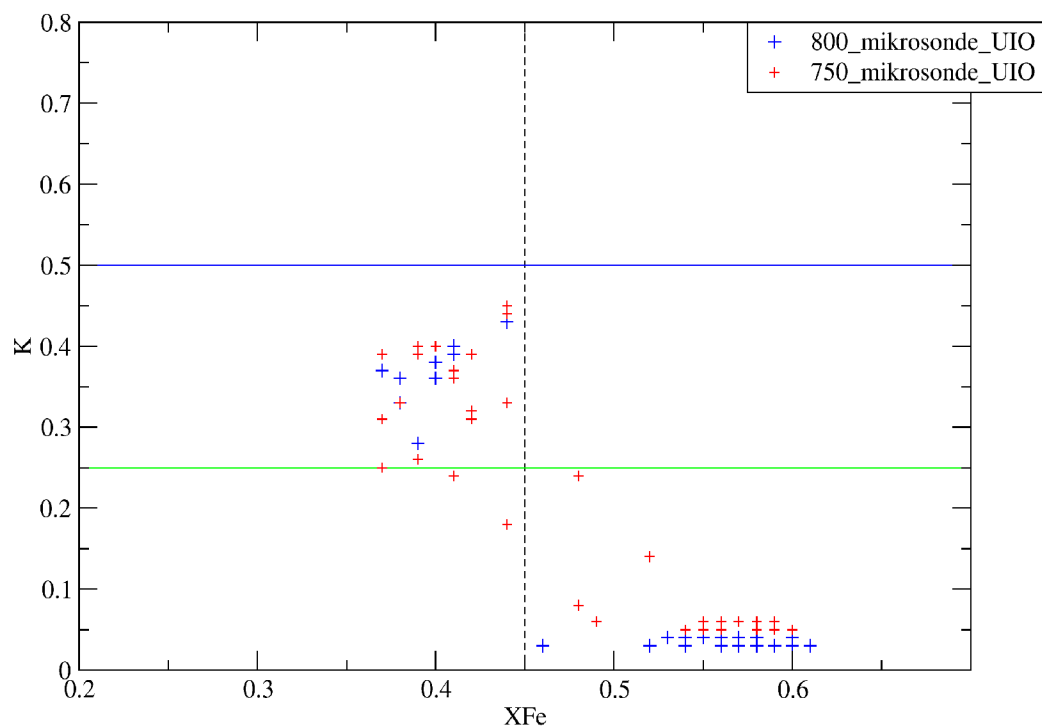
Appendiks E

Avhengighet mellom Fe og K

Plot av Amfiboler



Plot av Amfiboler



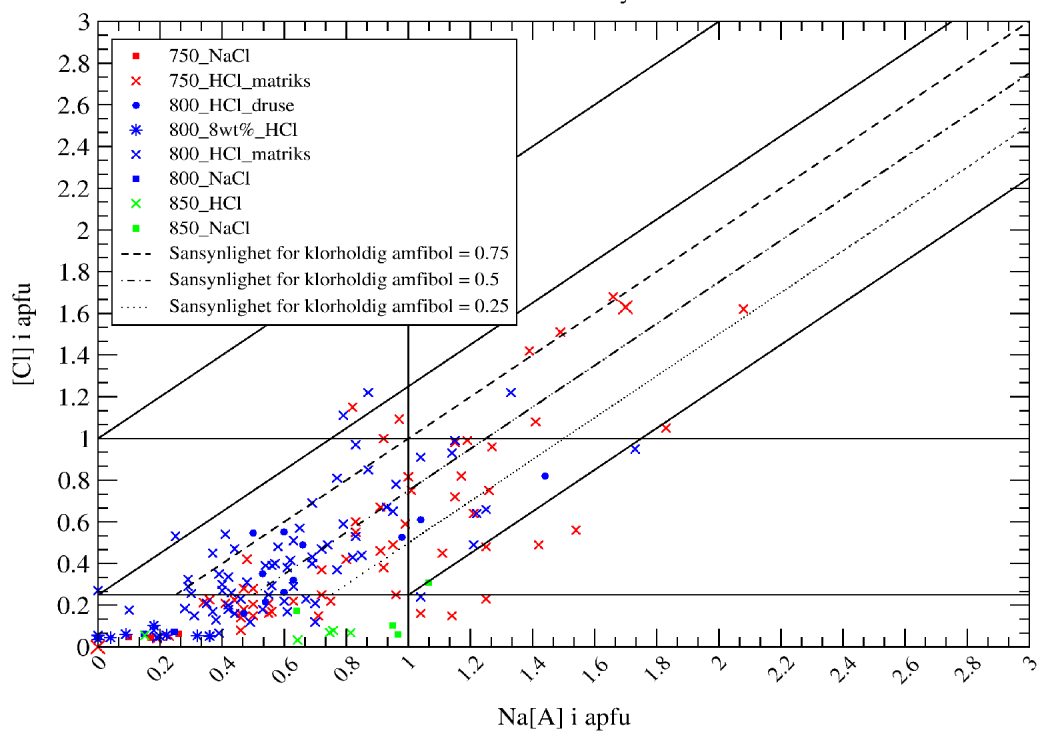
Som man kan se av plottenen eksisterer det en omvendt proporsjonalitet mellom Fe og K. Denne kan sees både i mikrosondedata og data fra EDS, og den er også tilstedet i amfibol dannet naturlig, slik data fra EDS av tynnslip indikerer.

Appendiks F

Forsøk på å kvantifisere NaCl kontaminering

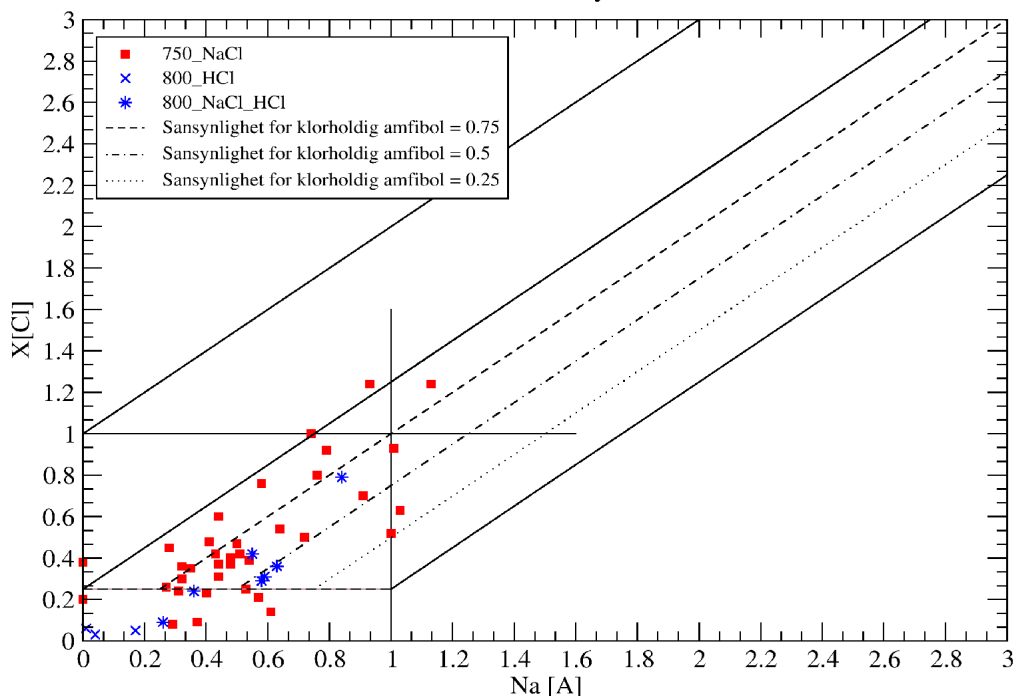
Plot av Na[A] mot Sum[Cl]

ved 10 Kbar trykk



Plot av Na[A] mot X[Cl]

ved 6 Kbar trykk



I plottene over er amfibolanalysene plottet i et Na mot Cl plott. Analyser som plotter til høyre for linjen som starter ved Na = 1, Cl = 0 til Cl = 0.25 vil ikke kunne være amfibol. Disse vil være feilanalyser og skal fjernes. Analyser som plotter på og til venstre for linjen som starter ved Na = 0 og Cl = 0.25 er helt sikkert klorisk amfibol. Analyser som plotter til venstre for linjen som starter ved Na = 0 og Cl = 1 er helt sikkert kloro-amfibol. Sannsynligheten er beregnet utifra forholdet mellom Na og Cl, der nullpunktet er satt til Na = 1 Cl = 0.25, formelen er gitt ved $y=ax+b$, der $a = 1$ og $b = 0.25$. Trianglet som dannes av linjene Cl = 1, Na = 1, Na = 0 og Cl = 1 er analyser som høyst sannsynlig er kloro-amfibol. Trianglet som dannes under dette er høyst sannsynlig klorisk amfibol.