

NGU Rapport 98.063

Industrimineralitet av kalkstein: Effekten av  
kontaktmetamorfose på teksturelle egenskaper,  
hvithet og geokjemi.

Rapport nr.: 98.063		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Industrimineralkvalitet av kalkstein: Effekten av kontaktmetamorfose på teksturelle egenskaper, hvithet og geokjemi.			
Forfatter: Idunn Kjølle		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Oppland		Kommune: Gran, Lunner, Jevnaker	
Kartblad (M=1:250.000) Hamar		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1815-1 Gran	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 42	Pris: 130,-
Feltarbeid utført: Nov.95 & aug.96		Rapportdato: 13. mai 1998	Prosjektnr.: 270500
		Ansvarlig: <i>Nigel Erik</i>	
Sammendrag:  <p>Det er foretatt en undersøkelse av hvilke effekter kontaktmetamorfose har på industrimineralkvaliteten av kalkstein når det gjelder teksturelle egenskaper, hvithet og geokjemi. Studiet er basert på kalksteiner fra Oslofeltet, da disse finnes både i umetamorf og kontaktpåvirket utgave. Kalkstein med variabel grad av metamorf påvirkning er sammenlignet med sine umetamorfe ekvivalenter.</p> <p>Undersøkelsene har vist at kontaktmetamorfose har en gunstig innvirkning på industrimineralkvaliteten av kalkstein når det gjelder følgende egenskaper: Den resulterer i økt kornstørrelse, jevnere kornform og -grenser, lysere farve, økte hvithets-/reflektivetsverdier, og mindre kullstøv/organisk karbon. Kontaktmetamorfose har imidlertid ikke vist seg å gi noen bedring i kvaliteten når det gjelder opptreden og mengde av forurensninger. Sammenvoksningene og finkornigheten av mange av fasene tyder på at kontaktmetamorf kalkstein ikke vil være lettere å rense enn umetamorf utgave. Er kalksteinen i tillegg metasomatisk omvandlet, er det store sjanser for at den har blitt mer uren enn den var i utgangspunktet, og at kvaliteten faktisk har blitt forringet.</p> <p>Resultatene indikerer at kontaktmetamorfose fører til en bedret industrimineralkvalitet på kalkstein bare dersom den var av høy renhet i utgangspunktet og har unnsloppet metasomatose.</p>			
Emneord: Industrimineraler	Kalkstein	Kontaktmetamorfose	
Tekstur	Hvithet	Geokjemi	
		Fagrapport	

## INNHOOLD

1. INNLEDNING.....	4
2. KALKSTEIN - EGENSKAPER, BRUK OG KVALITETSKRAV .....	5
3. GEOLOGI OG PRØVETAKING.....	6
4. PETROGRAFI - TEKSTURER & MINERALOGI .....	8
4.1 Borealis-Pentamerus-kalken .....	8
4.2 Gastropode-kalken .....	11
5. GEOKJEMI, HVITHET OG KORNFORDELING.....	14
6. OPPSUMMERING OG DISKUSJON .....	17
7. KONKLUSJON .....	20
8. LITTERATURREFERANSER .....	20

## FIGURER

Figur 1. Geologi og prøvelokaliteter.

Figur 2. Mikroskopbilde av umetamorf Borealis-kalk.

Figur 3. Mikroskopbilde av høymetamorf Borealis-kalk.

Figur 4. Mikroskopbilde av medium metamorf Borealis-Pentamerus-kalk.

Figur 5. Mikroskopbilde av umetamorf Gastropode-kalk.

Figur 6. Mikroskopbilde av lav-medium metamorf Gastropode-kalk, Gruppe 2.

Figur 7. Mikroskopbilde av lav-medium metamorf Gastropode-kalk, Gruppe 3.

Figur 8. Mikroskopbilde av høymetamorf Gastropode-kalk, Gruppe 4.

Figur 9. Syreløselig CaO og MgO i umetamorf og kontaktmetamorf kalkstein.

Figur 10. Utvalgte hoved- og sporelementer i Borealis-Pentamerus-kalken, XRF.

Figur 11. Utvalgte hoved- og sporelementer i Gastropode-kalken, XRF.

Figur 12. Hvitheten av umetamorf og kontaktmetamorf kalkstein.

Figur 13. Kornstørrelsesfordelingen for et utvalg av prøvene.

## TABELLER

Tabell 1. Krav til kjemisk sammensetning og hvithet for noen typer CaCO<sub>3</sub>-baserte fyllstoff.

Tabell 2. Prøveoversikt, Borealis-Pentamerus-kalken.

Tabell 3. Prøveoversikt, Gastropode-kalken.

Tabell 4. Analysedata, XRF hoved- og sporelementer.

Tabell 5. Analysedata syreløselig CaO og MgO, og beregnet innhold av kalsitt, dolomitt og uløst.

Tabell 6. Analysedata, total organisk karbon.

Tabell 7. Analysedata, hvithet.

## 1. INNLEDNING

NGU har besluttet å gjøre en større satsning innenfor industrimineraler og i denne forbindelse ble det i 1996 igangsatt et flerårig prosjekt som tar sikte på å fremskaffe en større viten omkring Norges karbonatbergarter («Carbonate formations of Norway: A multidisciplinary study»). Karbonatbergarter, og da spesielt kalkstein, er blant Norges viktigste industrimineralressurser både i årsproduksjon og salgsverdi. De reneste marmorforekomstene som er råstoff for høyhvite fyllstoffer, er lokalisert innen høymetamorfe områder. Det antas at metamorfose er en viktig mekanisme m.h.t. å frembringe kalksteinskvaliteter som kan utnyttes industrielt, og det har derfor vært uttrykt interesse for å få dokumentert hvordan metamorfose virker inn på kalksteinens egenskaper.

Det rapporteres her for et delprosjekt av karbonatprosjektet som har hatt som formål å undersøke hva slags effekter *kontakt*-metamorfose har på industrimineral kvaliteten av kalkstein når det gjelder teksturelle egenskaper, hvithet og geokjemi. Kalksteiner fra Oslofeltets kambro-siluriske lagrekke ble utvalgt som studieområde. Disse sedimentære bergartene er mange steder gjennomstrømmet av permiske plutoner og kontaktmetamorfosert i en sone tilgrensende intrusivene, men er forøvrig på regional målestokk nærmest umetamorfe. En har derfor innen Oslofeltet, i motsetning til kalksteinsformasjoner andre steder i Norge, tilgang til kalkstein med relativt godt bevarte primære trekk å vurdere de metamorfe effekter imot.

Tidligere studier av den metamorfe og metasomatiske omvandling av karbonatbergartene i Oslofeltet omfatter bl.a. Vogt (1897), Goldschmidt (1911), og nyere studier av Ihlen (1986), Jamtveit et al. (1992<sup>a</sup>, 1992<sup>b</sup>) og Jamtveit & Andersen (1993). Disse arbeidene er av relevans for dette prosjektet, men de inneholder ingen direkte evaluering av forhold vedrørende industrimineral kvalitet. Vogt (1897) har imidlertid vurdert den norske marmors egnethet som naturstein og noen av disse forhold er også aktuelle aspekter sett fra et industrimineralogisk synspunkt. Forøvrig har Holtedahl (1912) gitt en utdypende oversikt over Oslofeltets kalksteiner som er av mer generell ressursgeologisk karakter. Denne er i høy grad basert på Kiær's (1908) større verk om Oslofeltets siluriske lagrekke. Nyere studier fra andre områder av kontaktmetamorfe effekter på karbonatbergarter omfatter bl.a. de av Todd (1990) og Labotka et al. (1988).

## 2. KALKSTEIN - EGENSKAPER, BRUK OG KVALITETSKRAV

Kalkstein er en sedimentær bergart som inneholder mer enn 50% karbonat, der kalsitt [ $\text{CaCO}_3$ ] er det dominerende karbonatmineralet. Kalsitt har spesifikk vekt på  $2.7 \text{ g/cm}^3$  og en hardhet lik 3 på Moh's hardhetsskala.

Kalkstein brukes til svært mange formål. De viktigste er: sement, industrifyllstoff (filler) i asfalt, betong, papir, maling, lakk, plast, gummi osv., kunstgjødsel, mjølkalk og jordforbedringsmiddel, som slaggdanner og flussmiddel i metallurgiske prosesser og glassindustrien, kalsiumkarbid ( $\text{CaC}_2$ ), steinull, cellulose, og til bygningsindustrien som lesket kalk.

Til de ulike bruksområdene stilles det forskjellige krav til kjemisk sammensetning og/eller fysiske egenskaper. Hvorvidt kalksteinen kan anvendes og hvilken kvalitet og pris man kan oppnå på industrimineralproduktet avhenger i høy grad av hva slags type urenheter som forekommer og i hvilken mengde og hvordan disse opptrer i bergarten. Kalkstein kan forekomme som en tilnærmet monomineralsk bergart med bortimot 100% kalkspat, men oftest inneholder den større eller mindre mengder av forurensende komponenter. Eksempler på vanlige mineralinneslutninger er kvarts, glimmer, svovelkis og grafitt. Kalksteinens teksturelle egenskaper, som kornstørrelse, -form, og -grenser, om urenhetene opptrer som enkeltkorn, avblandinger, eller i gitterstrukturen, type sammenvoksninger o.l., er avgjørende faktorer m.h.t. om forurensningene kan frigjøres ved nedmaling og fjernes ved hjelp av oppredningsprosesser. Utsettes en bergart for metamorfose, forandres tekturen ofte i en gunstig retning ved økning i kornstørrelsen, en viss refordeling av bestanddelene, og ofte kan jevnt fordelte primære aksessorier ha blitt mobilisert og segregert.

Ved kjemisk analyse oppgis bergartens sammensetning i form av vekt-prosent oksyder. For en kalkstein bestående av 100%  $\text{CaCO}_3$  tilsvarer dette en sammensetning med 56.03% CaO og 43.97%  $\text{CO}_2$ . Kalksteiner regnes som rene når de består av mer enn 95%  $\text{CaCO}_3$ .

Det er stor variasjon i de kjemiske og fysiske kvalitetskravene som stilles til kalkstein for de mange anvendelsesområdene. Som eksempel skal her bare nevnes fyllstoffer (filler) som i omsetningsverdi er de langt viktigste kalksteinsprodukter i Norge. De viktigste standard-spesifikasjonene for nedmalte, naturlige  $\text{CaCO}_3$ -råstoffer til slike formål er gitt i Tabell 1. Kravene varierer sterkt også for fyllstoffer. Som den ene ytterlighet har man de relativt grove, lite bearbejdede og billige fyllstoffer, hvor krav til egenvekt og volum dominerer, og som benyttes til f.eks. fugematerialer, linoleum og asfalt. For de dyreste fyllstoffkvalitetene som brukes til f.eks. papir, plast, maling og gummi, stilles det strenge krav til en rekke parametre: finhet/partikkel-fordeling, kjemisk renhet, høy refleksivitet (>90%), opasitet, partikkelform/-overflate, spesifikk overflate, viskositet, vann- og olje-absorpsjon, og mekaniske egenskaper. De høyhvite fyllstoffene som produseres i Norge går i hovedsak til produksjon av papir.

**Tabell 1. Krav til kjemisk sammensetning (i vekt%) og hvithet (% reflektivitet) for noen typer CaCO<sub>3</sub>-baserte fyllstoff. (Data fra Harben (1992) og Øvereng (1996)).**

	USA fyllstoff kalk	USA fyllstoff marmor	USA jordbr. kalk	USA glass- kvalitet	USA PCC- fyllstoff	USA skjell- sand	Norge kalk Verdal	Italia fyllstoff	England fyllstoff kritt	England fyllstoff kalsitt
CaCO <sub>3</sub>	96	>95	97.1	98	98.4	96-98	98.8	98.05	97.2	98.6
MgCO <sub>3</sub>	1.5	max. 3.0	2.0	1.3	0.7	1.0	1.05	2.34	0.46	0.44
SiO <sub>2</sub>	1.2			0.15	0.05	0.5-1.5	0.34	0.11	1.82	0.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3			0.08		0.1-0.2	0.12	0.05	0.17	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08			0.12	0.10	0.1	0.04	0.02	0.10	0.03
hvithet	96	92-95			98	88	83	96	86-93	96

### 3. GEOLOGI OG PRØVETAKING

Et studium av hvilke effekter kontaktmetamorfose har på industrimineralogiske parametre som teksturelle egenskaper, hvithet og geokjemi utføres best på kalkstein som i utgangspunktet er av høy renhet. Oslofeltet gir den fordel at her finnes både umetamorfe og metamorfe utgaver, men forholdene kompliseres av at alle kalksteinene her i større eller mindre grad er forurenset av leirskifer, oftest i form av en tett veksling av knollekalklag og leirskiferlag. Kalksteinshorisonter som oppfyller krav om høy renhet, tilgjengelighet og tilstrekkelig blottningsgrad langs strøket, som fins både i umetamorf og kontaktpåvirket utgave, og som helst er massive og godt adskilt fra skifer, fins ikke mange steder. Ifølge utdypende beskrivelser av Oslofelt-kalkene og deres kvaliteter gitt i Holtedahl (1912), skiller Borealis-Pentamerus-kalken på Hadeland seg ut som den enhet som best fyller disse kriteriene. Hadelandsregionen var å foretrekke også i og med at det finnes et nytt, detaljert geologisk kart over området. I tillegg til Borealis-Pentamerus-kalken, tilhørende etasje 7a og 7b $\alpha$  etter tidligere stratigrafisk inndeling, ble Gastropodekalksteinen, etasje 5a, utvalgt for prøvetaking. Gastropodekalken hører også med blant de reneste kalksteinene i Oslofeltet, grenser opp mot plutoner flere steder, og er den mest tilgjengelige enhet i Hadelandsområdet ut fra mektighet og utbredelse.

Prøver ble tatt i variabel avstand fra kontakten til intrusjonene for å kunne sammenligne kalkstein med ulik grad av metamorf påvirkning. I den grad det var mulig ble det også lagt vekt på å følge strøkretningen og prøveta samme nivå innen formasjonen, for å kunne sammenligne materiale som var mest mulig likt forut for metamorfosen. I praksis viste det seg i flere tilfeller problematisk å strengt følge samme horisont over større avstander, men prøvene opprinner grovt sett fra samme nivå og skulle representere et nogenlunde likt utgangsmateriale. Geologi med prøvelokaliteter er vist på Fig. 1. Prøvetakingen foregikk først og fremst i veiskjæringer og steinbrudd med godt blottet stratigrafi og ble hovedsakelig

konsentrert til 2 intrusiv-områder. Det ene er lokalisert sørvest for Gran i det sentrale Hadeland, omkring gabbro-"pluggen" Buhammaren/Kjekshushaugen ( $\leq 1 \text{ km}^2$  i overflateareal). Det andre området strekker seg fra Grua og halvveis vestover mot Randsfjorden. Her grenser sedimentene opp mot voluminøse granitt- og Nordmarkitt-batolitter og en mindre gabbro-"plugg", Ballangrudkollen (ca.  $0,5 \text{ km}^2$  i overflateareal). En del umetamorfe prøver er også tatt fra mer spredte, distale lokaliteter mellom og vest for disse intrusiv-områdene.

Borealis-kalken, etasje 7a, opptrer som et massivt kalklag med 4-5 m mektighet. Den er en gråblå biosparittisk kalkstein karakterisert ved sitt høye innhold av store, tykke, hvite brachiopode-skjell av *Pentamerus Borealis* (Holtedahl, 1912). Den inneholder også rikelig med koraller og stromatolitter (Owen, 1978). Over Borealis-kalken følger den beslektede Pentamerus-kalken, etasje 7b $\alpha$ , som er en 5-7 m mektig sone av massiv bioklastisk kalkstein (Holtedahl, 1912; Owen, 1978). Denne skiller seg fra Borealis-kalken ved å mangle de tykke skallene; isteden opptrer i enkelte horisonter tallrike tynnere pentamerid-skjell. Sjøliljestilker og koraller er også vanlig. Disse massive kalksteinene i etasje 7a-b $\alpha$  er av undersilurisk alder og utgjør en del av Rytteråkerformasjonen etter nyere litostratigrafisk formasjonsinndeling (Worsley et al., 1983).

Gastropodekalksteinen i etasje 5a er av overordovicisk alder og hører ut fra en litostratigrafisk inndeling til Kalvsjøformasjonen (Owen, 1978). Den består av knollete og lagdelte bioklastiske kalksteiner i veksling med tynne leirskiferlag og siltige lag, der kalksteinen utgjør 50-70 % av formasjonen (Owen et al., 1990; Braithwaite et al., 1995). I de prøvetatte områder er gastropodekalken observert som en lagpakke bestående av vanligvis omkring 10-20 cm tykke knollekalklag vekslende med 1-3 cm tykke skiferlag. Den uomvandlede kalksteinen er mørk grå av farge, har en svært finkornet grunnmasse og inneholder rikelig med fossiler. Ifølge Braithwaite et al. (1995) er bioklastene ofte abraderte og omfatter fragmenter av kalkalger, gastropoder (snegler), echinodermer (pigghuder), brachiopoder (armfotinger), orthocones, og bryozoaer (mosdyr). Koraller forekommer også relativt hyppig (Owen, 1978; Owen et al., 1990); f.eks. ble pent utviklede kjedekoraller observert på lokalitet H17.

Innenfor kontaktaureolene varierer kalksteinene i karakter fra relativt finkornige og mørke i fargen et stykke vekk fra intrusivene til mellomkornig eller grov-krystallin marmor med mellomgrå eller lysere grå til nesten hvit farge nærmere intrusivene. Marmoren kan også være mer eller mindre skarnomvandlet og vise en svakere eller sterkere grønn tone. Kalksteinens mekaniske egenskaper synes også å variere med metamorfosegraden. Begge kalksteinstypene har blitt omvandlet til en sukkeraktig marmor som har vært mer utsatt for forvitring og ofte ryr i de mest kontaktpåvirkede sonene. Den lavere til medium metamorfe kalksteinen virker fastere og friskere.

Leirskifer-sjiktene ses innen kontaktaureolene å ha blitt omvandlet til harde hornfels-lag uten skifrihet som har stått mer imot forvitringen enn kalklagene. De har oftest lyse beige/grå/svakt grønnlige farver, men også mørkere grå, grønne eller svakt rødlige farver. De er tydelig kalkholdige ettersom de oftest reagerer svakt på saltsyre.

## 4. PETROGRAFI - TEKSTURER & MINERALOGI

### 4.1 Borealis-Pentamerus-kalken

En oversikt over prøvene inndelt i grupper ut fra kontaktpåvirkning er gitt i Tabell 2.

**Tabell 2. Prøveoversikt, Borealis-Pentamerus-kalken.**

Prøvenr.	Kalksteinstype	Kontaktpåvirkning
P11	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P17	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P19	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P20	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P21	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P22	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P24	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P25	Borealis, etasje 7a	Umetamorf, distal.
P18A	Pentamerus, etasje 7b $\alpha$	Umetamorf, distal.
P18B	Pentamerus, etasje 7b $\alpha$	Umetamorf, distal.
P23	Pentamerus, etasje 7b $\alpha$	Umetamorf, distal.
P26	Pentamerus, etasje 7b $\alpha$	Umetamorf, distal.
P8	Borealis, etasje 7a	Lav metamorf, litt unna intrusiv
P3	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P4	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P5	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P12	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P13	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P14	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P15	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P16	Usikker Borealis el. Pentamerus	Medium metamorf, lenger fra batolitter.
P1	Borealis, etasje 7a	Mye metamorf, nær intrusiv.
P2	Borealis, etasje 7a	Mye metamorf, nær intrusiv.
P7	Borealis, etasje 7a	Mye metamorf, nær intrusiv.
P9	Borealis, etasje 7a	Mye metamorf, nær intrusiv.
P10	Borealis, etasje 7a	Mye metamorf, nær intrusiv.
P6	Usikker Borealis el. Pentamerus	Ganske nær intrusiv og mye metamorf, delvis p.g.a. deformasjon

*Umetamorf kalkstein:* Flere cm store hvite brachiopode-skjell utgjør en vesentlig andel av Borealis-kalken og gir den et karakteristisk utseende. Den umetamorfe kalksteinen er en biosparitt, hvor en relativt grovkornet blågrå-brungrå grunnmasse omgir de tykke, hvite fossilene. Mikroskopisk er den umetamorfe teksturen som vist i Fig. 2. I den sparittiske



grunnmassen ligger kornene nokså uordnet og tilfeldig spredt og griper tildels inn i hverandre. Kornformen er variabel og korn grensene er tildels jevne og tildels uregelmessige. De vanligst observerte kornstørrelser er 0.2-0.8 mm. Fossilene har vanligvis nokså jevne, avrundede konturer og former og har ofte en lamellær oppbygning. De er mer grovkornet enn grunnmassen og lamellene kan være opptil 5 mm lange.

Bergarten er generelt ren, men enkelte urenheter forekommer. Det aller meste av kalsitten har en brunlig egenfarge og ser skitten ut p.g.a. en "pepring" av kryptokrystalline inneslutninger. Dette er mest fremtredende i grunnmassen, men også fossilene har en svak brun tone og synes noe forurenset. Disse mørke prikkene kan minne om den pepring av Fe-oksyder som er vanlig å se i K-feltspat. Trolig skyldes de hovedsaklig organiske forbindelser/grafitt samt evt. noe sulfider og andre Fe-forbindelser, ettersom en mørk grå farge på karbonatbergarter generelt knyttes til slike urenheter og spesielt til veldig finfordelt kullstøv (Vogt, 1897; Blatt, 1982; Dons, 1977; Todd, 1990). Optisk identifiserbare forurensninger i kalksteinen omfatter aksessoriske mengder av jevnt spredte små kvarts- og pyrittkorn. Disse opptrer for det meste ved korn grenser men også inni kalsitten.

Pentamerus-kalken i etasje 7b $\alpha$  har fossiler som for det meste er langt mindre av størrelse og en mer finkornet matriks enn etasje 7a. Grunnmassen består av noe sparitt men vesentlig av veldig finkornet, opak eller semiopak mikritt (mikrokrystallin kalsitt) med mørk brun egenfarge. Innholdet av fossiler er rikelig. Disse består oftest av ett kalsittkorn på 0.2-1 mm størrelse og er skittenbrune med mye pepring av kullstøv el.l. De er av variabel form og har ofte uregelmessige, litt korroderte konturer men noen steder jevnere, bedre bevarte korn grenser. Urenheter er tilsvarende som for Borealis-kalken.

*Høy metamorfosegrad:* Den mest metamorfe kalksteinen nært opptil intrusivene er rekrystallisert til en lys marmor. De store karakteristiske brachiopode-skjellene er likevel godt bevart og trer tydelig fram i blotninger av Borealis-kalken. Disse er hvite og grunnmassen er lys grå og gulaktig. Marmorens tekstur er som vist i Fig. 3. Både fossiler og grunnmasse er rekrystallisert til en krystalloblastisk tekstur. Kornstørrelsen varierer fra 0.05-2 mm, men de fleste kornene er 0.2-1 mm. Spesielt de mindre kornstørrelser men også de større kornene danner en polygonal mosaikk med rette, jevne korn grenser. Fossilene er mindre synlige i tynnslip, men de skiller seg ut her og der ved sin form og noe grovere kornstørrelse enn omgivende kalsitt. Den forurensning av mørke støvpartikler som er så fremtredende i kalsitten i den umetamorfe kalksteinen er tilstede i langt mindre grad i den kontaktmetamorfe kalksteinen. Her er kalsitten mye lysere og renere. Mengden av andre urenheter i prøvene med høy grad av kontaktpåvirkning synes å være omtrent som før metamorfosen. Observerte mineraler er små mengder av svært finkornet pyritt, magnetkis, Fe-oksyder, amfibol og klinozoisitt-epidot, oftest med opptreden langs korn grenser.

*Lav - medium kontaktpåvirkning:* Lav-medium grads metamorf Borealis-Pentamerus-kalk var ikke å finne andre steder enn i en blotning på nordsiden av Buhammaren/Kjekshushaugen (prøve P8), og langs en smal kalksteinssone som strekker seg østover fra Ballangrudkollen og ligger innenfor kontaktaureolen til batolittene helt sør i feltet (Fig.1). De store karakteristiske brachiopode-skjellene er svært sjeldne å se i denne kalksonen; den reneste, massive kalksteinen inneholder små mengder synlige fossiler og disse er oftest tynnere og mindre. Det er derfor mulig at de fleste prøvene tilhører Pentamerus-kalken (etasje 7b $\alpha$ ), mens noen er tatt så nære overgangen til den underliggende Skøyen sandsteinformasjon at de mer sannsynlig tilsvarer Borealis-kalken (etasje 7a).

I forhold til den høymetamorfe kalken er den medium metamorfe noe finere kornet (Fig. 3 og 4), men de fleste prøvene er tilsvarende lyse i farven. Vanligste kornstørrelse er 0.1-0.5 mm. Den lavest metamorfe prøven P8 er mest finkornet, med 0.03-0.05 mm som vanligste kornstørrelse i grunnmassen. Denne prøven er også mørkest, men farven er lysere grå enn den umetamorfe kalksteinen. Alle prøvene er gjennomgripende rekrystallisert; det eneste tegn til bevaring av den umetamorfe teksturen er rester av den lamellære teksturen i et par av brachiopodene i P8. Teksturen er hovedsaklig krystalloblastisk (Fig. 4), med polygonale korn og rette korn grenser, men endel av de grovere kornene har mer uregelmessig form, og teksturen er ikke alltid like pent utviklet som i den høymetamorfe kalken. Også mikroskopisk synes mengden av fossiler å være sparsom i de medium metamorfe prøvene (kalksonen i sør); noen få grovkornede felt antas å tilsvare fossiler.

Kalsittens renhet er tilsvarende som i den høymetamorfe kalksteinen når det gjelder innholdet av mørke støvpartikler (pepring av kullstøv o.l.). Forøvrig skiller de medium metamorfe prøvene seg ut som mer forurenset enn både de umetamorfe og høymetamorfe prøvene. Mengden og typen av urenheter observert petrografisk synes å stemme bra overens med prøvenes kjemiske sammensetning (se kapittel 5). Forurensningsmineralene omfatter varierende mengder av kvarts og kalksilikatene epidot, wollastonitt, amfibol, granat, vesuvian og pyroksen, mindre mengder magnetkis, magnetitt og pyritt, samt noen få korn titanitt og zirkon. Disse forekommer som jevnt spredte korn med størrelse  $\leq$  de mindre kalsittkornene (Fig. 4), ofte med opptreden langs korn grenser. Tildels griper de også inn i eller er innesluttet i kalsitten, især kalksilikatene er sammenvokst med og erstatter kalsitten. I tillegg til å opptre som spredte krystaller forekommer kalksilikatene som svært finkornede, grumsete masser eller "slør" som invaderer og erstatter kalsitten (Fig. 4).

## 4.2 Gastropode-kalken

En oversikt over prøvene inndelt i grupper ut fra kontaktpåvirkning er vist i Tabell 3.

**Tabell 3. Prøveoversikt, Gastropode-kalken.**

Prøvenr.	Kalksteinstype	Kontaktpåvirkning
<i>Gruppe 1</i>		
H1	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H3	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H4	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H12	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H14	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H25	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H26	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H27	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H28	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
H29	Gastropode, etasje 5a	Umetamorf, distal.
<i>Gruppe 2</i>		
H7	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna intrusiv.
H11	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna intrusiv.
H17	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna intrusiv.
H18	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna intrusiv.
<i>Gruppe 3</i>		
H21	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna batolitter.
H22	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna batolitter.
H23	Gastropode, etasje 5a	Lav-medium metamorf, litt unna batolitter.
<i>Gruppe 4</i>		
H19	Gastropode, etasje 5a	Mye metamorf, nær batolitter
H20	Gastropode, etasje 5a	Mye metamorf, ganske nær batolitter
H20B	Gastropode, etasje 5a	Mye metamorf, ganske nær batolitter
H30	Gastropode, etasje 5a	Mye metamorf, ganske nær intrusiv
H31	Gastropode, etasje 5a	Mye metamorf, ganske nær intrusiv
H32	Gastropode, etasje 5a	Mye metamorf, ganske nær batolitter

*Umetamorf kalkstein (Gruppe (1)):* Den distale, umetamorf Gastropode-kalken er en biomikritt, med oftest en vesentlig andel fossiler som ligger i en grunnmasse av veldig finkornet, opak eller semiopak mikritt med mørk brun egenfarge (Fig. 5). Fossilene er mer grovkornet, med kalsittkorn som kan nå opptil 2-3 mm. De har stort sett godt bevarte regelmessige konturer og former. Noen fossilsnitt viser grov kalsitt i et sirkulært eller ovalt skall og har en kjerne fylt av mikritt. Kalsittens renhet er variabel. En del av fossilene består av skittenbrun kalsitt som er mye forurenset av mørke støvpartikler (kullstøv el.l.) og andre består av lysere, rekrystallisert kalsitt som tildels er ganske ren og tildels er nokså pepret av kullstøv. De skittenbrune fossilene består oftest av ett kalsittkorn, mens de rekrystalliserte fossilene vanligvis er oppbygd av flere korn (Fig. 5). Optisk identifiserbare forurensninger i kalksteinen omfatter opptil et par % jevnt spredt finkornet pyritt og variable mengder klastiske kvartskorn (silt-sand størrelse).

*Lav - medium kontaktpåvirkning (Gruppe (2) og (3))*: Prøvene i denne kategorien inndeles i 2 grupper ut fra graden av teksturell omvandling relativt til den umetamorfe kalksteinen. Den ene gruppen (Gruppe (2)) er kontaktpåvirkede prøver innen ca. 200 m fra Buhamaren/Kjekshushaugen gabbroplugg. Disse viser minst forskjell fra den umetamorfe teksturen, men det er usikkert om dette er ensbetydende med at denne gruppen er den lavest metamorfe, fordi prøvenes avstand fra intrusivet er tilsynelatende ikke større enn for høymetamorfe prøver fra samme område. Den andre gruppen (Gruppe (3)) er kontaktpåvirkede prøver tatt vest for Grua et stykke unna batolittkontaktene (300-600 m i overflatesnitt).

Gruppe (2) har til tross for kontaktmetamorfosen en tekstur som i høy grad er lik den umetamorfe, med relativt jevnt konturerte og godt bevarte fossilformer bestående av grovkornet kalsitt satt i en mikrittisk matriks. Farven på håndstykkene er like mørkegrå som de umetamorfe. Visse forskjeller fra den umetamorfe kalksteinen er imidlertid observert: 1) Det alt vesentlige av kalsitten i fossilene er rekrystallisert og relativt lys og ren. 2) Enkelte steder, som vist i Fig.6, har den mikrittiske grunnmassen invadert og gjennomgått grovkornede kalsittfelt. Denne mikritten er svært lik den diagenetiske men må være en senere dannet generasjon, trolig i forbindelse med kontaktmetamorfosen. Rekrystalliseringen har altså her ført til en finere heller enn grovere kornstørrelse. 3) Kalksteinen kan fortsatt bestå av nesten utelukkende kalsitt, men noen steder er det litt kalksilikatutvikling på grensen mellom grov- og finkornet kalsitt, innen fossilene, eller mer uregelmessig opptredende med forgreninger gjennom kalksteinen. Disse kalksilikatene er, som hornfelsomvandlingen i de kalkholdige skiferlagene, temmelig urene og grumsete, med utallige submikroskopiske inneslutninger, og fasene er ofte vanskelig å identifisere. De omfatter pyroksen, wollastonitt, antagelig klinoisitt-epidot, og muligens feltspat og amfibol. (I skiferen opptrer også granat og vesuvian, men det meste av hornfelsen består av masser som er så finkornede og opake at de er helt uidentifiserbare under mikroskopet). Det alt vesentlige av sulfidforurensningene i Gruppe (2) er magnetkis. Mengde og opptreden er tilsvarende som i den umetamorfe kalksteinen, med svært små jevnt spredte korn.

Gruppe (3) er i håndstykke noe lysere grå enn flertallet prøver i Gruppe (1) og (2), men omtrent lik i farve som de minst sulfidforurensede prøvene fra disse gruppene (H3, 12 og 11). Gruppe (3) er gjennomgripende rekrystallisert til en polygonal granoblastisk tekstur (Fig.7). Kornstørrelsen er fortsatt noe variabel, men den ekstreme bimodale kornstørrelsesfordelingen mikritt-fossiler er utvisket. Enkelte steder gjenkjennes likevel fossiler ut fra formen på enkelte av de mer grovkornede felt. Submikroskopisk kalsitt fins fortsatt, men i aksessoriske mengder. Den dominerende kornstørrelsen er 0.05-0.2 mm. Kalsitten er relativt lys men innholdet av mørke støvpartikler varierer. Noen steder er den tilnærmet fri for slike og andre steder er den nokså pepret. Forøvrig er kalksteinen forurenset av kalksilikater som amfibol og pyroksen, samt noe kvarts og sulfider. Sistnevnte er vesentlig magnetkis, litt pyritt, og ørlite kobberkis. Mengden av sulfider er tilsvarende som i gruppe (1) og (2). Som Fig.7 viser, opptrer urenheterne tildels som små krystaller jevnt spredt innimellom kalsitten og forøvrig som svært

finkornede, grumsete, uregelmessige masser og forgreninger, årer eller slirer/bånd. Især kalksilikatene er sammenvokst med og erstatter kalsitten. Forurensningene kan utgjøre en betydelig andel (f.eks. ca. 30 % i tynnslip av H23). En del av dette tilsvarer antagelig rekrytallisering av en noe uren kalkstein som har litt leirskifersjikt innblandet, men bergarten kan i tillegg ha vært utsatt for litt metasomatose.

*Høy metamorfosegrad Gruppe (4):* Den mest metamorfe kalksteinen nært opptil intrusivene, Gruppe (4), er rekrytallisert til en mellomgrå til hvit marmor som er lysere og mer grovkornet enn Gruppe (3). Figur 8 viser den krystalloblastiske tekturen. Skillet mellom fossiler og grunnmasse er for det meste utvisket. Vanligste kornstørrelser ligger i området 0.2-2 mm. Den polygonale skumtekturen med regelmessig kornform og rette korn grenser er bedre utviklet blant de mindre enn de grovere kornene. Enkelte steder har det også blitt dannet noe submikroskopisk, nærmest mikrittisk kalsitt innimellom den grove. Kalsitten i Gruppe (4) er for det meste klarere og renere enn i Gruppe (3) når det gjelder innholdet av kullstøv. Ved sammenligning av prøver med røft samme kornstørrelse, som innen Gruppe (4) og blant gruppene av Borealiskalken, ser man at mørkheten av marmoren kan korreleres med mengden av mørke støvpartikler i kalsitten. Andre urenheter i marmoren omfatter kalksilikater som epidot, amfibol, pyroksen, granat, wollastonitt og vesuvian, og sulfider (mest magnetkis, noe pyritt). Sjeldnere opptrer sinkblende, kobberkis og biotitt. Mengden av urenheter varierer fra noen få korn til stedvis betydelig forurensning der marmoren har vært utsatt for metasomatose. Som i gruppe (2) og (3) er både de helt finkornede og mer grovkornede kalksilikatene oftest temmelig urene og grumsete, med utallige bittesmå inneslutninger, og fasene kan være vanskelige å identifisere. Urenhetene forekommer både segregert og jevnt spredt, ofte langs korn grenser, men også sammenvokst med og innesluttet i kalsitten.

## 5. GEOKJEMI, HVITHET OG KORNFORDDELING

Analyser av geokjemi og hvithet er utført på flesteparten av kalksteinsprøvene. Der hornfelsbånd (fra skifer) var tilstede, ble disse skilt fra, og prøver av renest mulig kalkstein ble innlevert for analyse. Disse ble knust og malt etter standard prosedyre og kjemisk sammensetning ble undersøkt ved metodene:

- XRF hoved- og sporelementer
- Syreløselig CaO og MgO (for bestemmelse av karbonatbundet Ca og Mg)
- Total organisk karbon (TOC) (for bestemmelse av C som ikke er karbonatbundet).

I tillegg er kornfordelingen målt (metode Coulter) på noen få av prøvepulverne. Grunnen er at hvitheten strengt tatt bør ses i relasjon til kornfordelingen. Normalt øker hvitheten med økende grad av nedmaling. Dette er imidlertid ikke alltid tilfelle hvis grafitt er tilstede. Hvitheten kan minke dersom nedmalingen når kornstørrelsesområdet der grafitt frimales.

Analyseresultatene er vist i Tabellene 4-7. Kalksteinene er rene når det gjelder de fleste sporelementer. Røntgenanalysene (XRF) viser at følgende elementer ikke er tilstede eller forekommer i mengder < deteksjonsnivå i alle eller en vesentlig andel av prøvene:

Borealis-Pentamerus-kalken: Na<sub>2</sub>O, Mo, Nb, Rb, Th, Pb, Cr, As, Sc, S, Cl, Sb, Sn, Cd, Ag, Ga, Zn, Cu, Ni, Yb, Co, Ce, La, Nd, W.

Gastropode-kalken: Na<sub>2</sub>O, Mo, Nb, Rb, Th, Pb, As, Sc, S, Cl, Sb, Sn, Cd, Ag, Ga, Zn, Cu, Yb, Co, Ce, La, Nd, W.

Elementer som er påvist, men som ikke viser noen systematiske endringer med graden av metamorf påvirkning er som følger:

Borealis-Pentamerus-kalken: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, V, Sr, Ba, Y, U, og Zr.

Gastropode-kalken: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr, Sr, Y, U, og Zr.

For Borealis-Pentamerus-kalken opptrer disse elementene i like store mengder i de umetamorfe og høymetamorfe prøvene, men viser en avvikende kjemi i de medium metamorfe prøvene (Fig. 9A og 10). Den avvikende sammensetningen for de medium metamorfe prøvene skyldes derfor lite sannsynlig metamorfosen. Disse prøvene representerer en kalksone som primært må ha hatt en noe ulik kjemi fra hva denne bergarten har i andre områder. Det forhøyede innholdet av SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, V, Zr (og Ba) og de lavere konsentrasjonene av CaO, MnO og P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i de medium metamorfe relativt til de øvrige prøvene stemmer godt overens med observerte mengder av kalksilikater, kvarts, sulfider, magnetitt, titanitt og zirkon. I tillegg tyder analysene på at også dolomitt er tilstede i noen av prøvene (Fig. 9A). Ettersom ingen K-mineraler er identifisert, antas det forhøyede K<sub>2</sub>O-innholdet å være knyttet til en viss tilblending av illitt (litt av de finkornede grumsaktige urenheterne observert).

Følgende elementer viser små endringer med graden av metamorf påvirkning:

Borealis-Pentamerus-kalken:  $K_2O$ .

Gastropode-kalken:  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Ni$ ,  $V$ ,  $Ba$ ,  $Rb$ .

Den umetamorfe Gastropode-kalken viser en stor variasjon i  $Fe_2O_3$ -innhold, men en svakt minkende trend med graden av kontaktpåvirkning synes likevel å være tilstede (Fig. 11C). Dette kan sammenholdes med observert mengde av jernholdige sulfid- og silikatforurensninger som er minst i de 4 høymetamorfe prøvene med lavest  $Fe_2O_3$ . Den høye renheten av disse prøvene er også indikert ved at de inneholder en tanke mer  $CaO$  og en tanke mindre  $SiO_2$  enn de reneste umetamorfe prøvene (Fig. 9B og 11A&B). En sammenligning av Fig. 11B (total  $Ca$  og  $Mg$ ) og Fig. 9B (karbonatbundet  $Ca$  og  $Mg$ ) viser at i de fleste prøvene er nær sagt alt  $Ca$  bundet i kalkspat. Dette gjelder spesielt de reneste prøvene med høyest  $CaO$ . Litt lavere syreløselige verdier enn totalverdier i noen av prøvene impliserer at noe  $Ca$  og  $Mg$  er silikatbundet, hvilket er i tråd med observert kalksilikatutvikling. Figur 9B indikerer at Gastropode-kalken generelt er tilnærmet fri for dolomitt, i samsvar med Bjørlykkes (1974) studier av de øvre ordoviciske kalker, men 10% syreløselig  $MgO$  i prøve H29 viser at dolomitt finnes enkelte steder. H1 anses lite representativ m.h.t. bakgrunnsverdier for «ren» Gastropode-kalk, da den er svært forurenset av kvarts.

Innholdet av  $K_2O$  er litt lavere i de høymetamorfe prøvene enn i de mindre kontaktpåvirkede og umetamorfe prøvene av Gastropode-kalken (Fig. 11E). Tildels gjelder dette også for de geokjemisk tilsvarende sporelementene  $Rb$  og  $Ba$  (Fig. 11F). Det er mulig tapet av  $K$  (og  $Rb$  og  $Ba$ ) reflekterer at mikritten er tilblandet med små mengder illitt som ved høy metamorfosegrad har blitt omtrent fullstendig erstattet med kalksilikater. I Borealis-Pentamerus-kalken derimot er  $K_2O$ -innholdet en tanke høyere i 2-3 av de høymetamorfe prøvene enn i de umetamorfe (Fig. 10D), og det er ukjent hva dette skyldes. (De medium metamorfe prøvene holdes utenfor sammenligningen. Som nevnt ovenfor var disse høyst sannsynlig mer urene i utgangspunktet).

Også for  $Ni$  og  $V$  ses en ørliten minkning med metamorfosen i Gastropode-kalken. Generelt er disse metallene ofte assosiert med  $Fe$ , og de synes i hvert fall tildels å være det også i dette tilfellet. En kan se fra Fig. 11C&D at  $Fe_2O_3$  viser en god korrelasjon med  $V$  og i store trekk også med  $Ni$ , men her stemmer kurvenes mønster litt mindre bra overens. Nikkel oppgis å forekomme både i silikatfaser (spesielt kloritt) og i sulfidfaser i Oslofeltets sedimenter (Bjørlykke, 1974). Dette er tydelig tilfelle også for  $Fe$ .

Vanadium kan i tillegg til assosiasjonen med  $Fe$  være knyttet til innholdet av organisk karbon. Det er generelt en nær assosiasjon mellom  $V$  og organisk  $C$  i Oslofeltets sedimenter ifølge Bjørlykke (1974). Forskjellen mellom mengde organisk  $C$  i umetamorf og metamorf Gastropode-kalk har ikke vært direkte målbar fordi innholdet er lavere enn deteksjonsgrensen på 0.10 vekt% for TOC-metoden i omtrent alle prøvene (Tabell 6). De relative mengdene kan imidlertid anslås indirekte basert på bergartens farve og kalsittens renhet. Mørke og grå farver

på karbonatbergarter knyttes generelt til organiske forbindelser og spesielt til veldig finfordelt kullstøv (Vogt, 1897; Blatt, 1982; Dons, 1977; Todd, 1990). De to kalksteinstypene studert i dette prosjektet har vist at jo mørkere prøvene er, jo mer forurenset er kalsitten av mørke støvpartikler, og disse representerer mest sannsynlig kullstøv/organiske forbindelser. Det kan derfor antas at den umetamorfe kalken inneholder mest organisk C og at de mest kontaktpåvirkede prøvene, som er lysest, inneholder minst. Et annet uttrykk for kalksteinens mørkhet/lyshet er gitt ved hvithetsanalysene (Tabell 7). For begge kalksteinene er det veldig godt samsvar mellom håndstykkenes farve (dvs. lyshet) relativt til hverandre og de relative hvithetsverdiene. Bare prøve P16 har en uventet lav hvithetsverdi i forhold til dens lyse farve. Ut fra de nevnte forhold skulle kurvene for V og hvithet være negativt korrelert, dersom V er nært knyttet til og en indikator på mengden av organisk C i kontaktmetamorf såvel som umetamorf kalkstein. En sammenligning av Fig. 11D og Fig. 12B viser at dette stemmer bra de metamorfe gruppene i mellom og også relativt bra enkeltprøvene i mellom når det gjelder Gastropode-kalken. For Borealis-Pentamerus-kalken derimot synes V å variere helt uavhengig av hvitheten (Fig. 10F og Fig. 12A) og er lite sannsynlig knyttet til innholdet av organisk C.

Figurene 12A&B viser tydelig at hvitheten av kalksteinene øker med metamorfosen. Den umetamorfe Borealis-Pentamerus-kalken har en refleksivitet på 50-70 %, og de lavere verdiene tilhører etasje 7b $\alpha$ , i samsvar med en tanke mørkere farve på disse prøvene. De lav-middels metamorfe prøvene spenner fra 60 til 88 % og overlapper med de høymetamorfe som ligger innenfor 76-88 %. Gastropode-kalken viser mer en økende trend med graden av kontaktpåvirkning, med refleksivitetsverdier på 30-65 % for umetamorfe, 48-73 % for lav-medium metamorfe, og 61-89 % for høymetamorfe prøver.

Hvithetsverdier bør strengt tatt sammenlignes bare for prøver som er malt ned i omtrent like stor grad. Som en test er kornfordelingen målt på pulverne fra noen av Gastropodekalkprøvene. Figur 13 viser en liten variasjon i kornstørrelsesfordelingen mellom prøvene, men alle prøvene har omtrent likt kornstørrelsesområde, der tilnærmet 100% av prøven har korn i området fra 125  $\mu\text{m}$  og ned til 0.4  $\mu\text{m}$  (og mindre). Pulverne representerer altså en lik grad av nedmaling og dette skulle tilsi at refleksivitetsverdiene til disse 7 stikkprøvene og sannsynligvis også til resten av prøvene er godt sammenlignbare.

Selv om NGUs prosedyre for å måle refleksivitetsverdier synes å være godt nok egnet for formål som i dette studiet, dvs. undersøke trender og relative forskjeller mellom prøver, skal det tilføyes at NGUs hvithetsanalyser kun bør anses som veiledende i sammenligning med de mål på hvithet som industrien setter. Ved vurdering av kalkstein som industrimineral er det vanlig med ytterligere nedmaling av prøven til fyllstoff-kvalitet. I tillegg til den økte nedmalingen avhenger refleksiviteten som måles også av hvor hardt pulvertabletten presses. Hvithetsdata fra industrien kan p.g.a. disse faktorene avvike flere prosent fra de hvithetsverdier man får ved NGUs metode (I. Lindahl, pers. medd., 1998).



## 6. OPPSUMMERING OG DISKUSJON

Det har vært foretatt en undersøkelse av hvilke effekter kontaktmetamorfose har på industrimineralkvaliteten av kalkstein når det gjelder teksturelle egenskaper, hvithet og geokjemi.

Økende grad av kontaktmetamorfose ledsages generelt av en gradvis forandring av følgende teksturelle parametre:

- \* Kornstørrelsen øker
- \* Farven blir lysere
- \* Kalsitten blir renere m.h.t. innhold av kullstøv
- \* Kornform og korngrenser blir jevnere

Innenfor kontaktaureolene varierer kalksteinene i karakter fra relativt finkornige og mørke grå i farven et stykke vekk fra intrusivene til mellomkornig eller grov-krystallin marmor med mellomgrå eller lysere grå til nesten hvit farve nærmere intrusivene. Metamorfosen har ført til en gjennomgripende rekrystallisering av kalksteinen til en krystalloblastisk tekstur. Spesielt de mindre kornstørrelser men også de grovere kornene danner en polygonal mosaikk med regelmessig kornform og rette, jevne korngrenser. Vanligste kornstørrelser i den mest kontaktpåvirkede kalksteinen ligger i området 0.2-2 mm. Det aller meste av kalsitten i den umetamorf kalksteinen har en brunlig egenfarge og ser skitten ut p.g.a. en pepring av kryptokrystalline inneslutninger. Disse mørke støvpartiklene tilsvarer mest sannsynlig kullstøv. En mørk grå farve på karbonatbergarter knyttes generelt til organiske forbindelser, og spesielt til veldig finfordelt kullstøv (Vogt, 1897; Blatt, 1982; Dons, 1977; Todd, 1990). Disse støvpartiklene er tilstede i langt mindre grad i den kontaktmetamorf kalksteinen. Kalsittkornene blir mye klarere, lysere og renere med metamorfosen.

Unntak fra disse teksturelle forandringene finnes imidlertid. Kontaktmetamorfose fører vanligvis til en økning av kornstørrelsen i biomikrittiske kalksteiner, men dette er ikke nødvendigvis tilfelle for kalkstein med sparittisk matriks. Den umetamorf Borealis-kalken er tilsvarende grovkornet som den høymetamorf utgaven. Det fins også eksempler på at biomikrittisk kalkstein hverken øker i kornstørrelse eller blir lysere med metamorfosen. Som Gruppe (2) av Gastropode-kalken viser, kan det enkelte steder opptre lav-medium metamorf kalkstein med like mørk farve og omtrent tilsvarende tekstur som sin umetamorf ekvivalent, med relativt godt bevarte fossiler bestående av grovkornet kalsitt satt i en mikrittisk matriks. Denne varianten er rekrystallisert i større grad enn den umetamorf kalksteinen, men rekrystalliseringen har tildels resultert i en finere heller enn grovere kornstørrelse.

Hvorvidt en kalkstein kan anvendes og hvilken kvalitet og pris man kan oppnå på industrimineralkvaliteten avhenger i høy grad av mengden urenheter og hvordan disse opptrer i bergarten. Kalksteinene studert i dette prosjektet viser i så måte ingen bedring i kvalitet etter å ha vært utsatt for kontaktmetamorfose. Mengden av forurensninger er uforandret eller har

økt. Det vanligste er metamorf rekrytallisering av de opprinnelige bestanddelene, med omdanning av innblandede leirskifersjikt til kalksilikater. Enkelte steder ses imidlertid en økning i mengden urenheter, der marmoren har vært utsatt for metasomatose (fått tilført komponenter utenfra via en fluid fase), med dannelse av større kalksilikatmasser (skarn). Kontaktmetamorf kalkstein synes heller ikke å komme noe gunstigere ut når det gjelder opptreden av forurensningene. Både i umetamorfe og metamorfe prøver forekommer urenheterne både som jevnt spredte korn og segregert, ofte langs korngrenser, men også sammenvokst med eller innesluttet i kalsitten. Selv om kalsittens kornform og -grenser blir jevnere og kornstørrelsen øker med metamorfosen, kan forurensningene ofte gripe like mye inn i kalsitten og kan være like finkornige i metamorf som i umetamorf kalkstein. I tillegg til å opptre som spredte små krystaller forekommer kalksilikat- forurensningene i den metamorfe kalken som svært finkornede, grumsete masser eller "slør" som invaderer og erstatter kalsitten. For en rekke anvendelser av kalkstein, f.eks. til fyllstoff-formål, må først forurensninger frigjøres ved nedmaling og fjernes ved hjelp av oppredningsprosesser. Den opptreden av urenheter som er observert tilsier ikke at kontaktmetamorf kalkstein lettere lar seg rense enn umetamorf kalkstein.

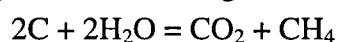
De fleste elementer som er påvist ved geokjemisk analyse viser ingen systematiske endringer med graden av metamorf påvirkning. I Borealis-Pentamerus-kalken opptre omtrent alle elementer i like store mengder i de umetamorfe som i de høymetamorfe prøvene, mens i Gastropode-kalken ses en svak endring for  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Ba, Rb, Ni, V. En omtrent uforandret kjemi er i tråd med de forhold som er observert petrografisk. (Metasomatisk omvandlet kalkstein ble bevisst unngått ved prøvetakingen, med unntak av H19 og H20).

Når det gjelder kalksteinens farve kan denne tydelig knyttes til de målte reflektivitetsverdiene på nedmalt prøve og til mengde støvpartikler observert i kalsitten i tynnslip. Lysheten av bergarten såvel som hvithetsverdiene på nedmalt pulverprøve øker klart med metamorfosen, og det er veldig godt samsvar mellom håndstykkenes farve (dvs. lyshet) relativt til hverandre og de relative hvithetsverdiene. Videre er det slik at når prøver med røft samme kornstørrelse sammenlignes, ser man at jo mørkere steinen er, jo mer forurenset er kalsittkornene av mørke kullstøvpartikler. De mest kontaktpåvirkede prøvene, som er lysest, viser petrografisk det laveste innholdet av kullstøv i kalsitten; følgelig skulle høymetamorf kalkstein ha det laveste innholdet av organisk karbon. Nøyaktig mengde organisk karbon er ukjent, da dette ikke var målbart ved TOC-metoden. Siden deteksjonsgrensen er på 0.10 vekt%, betyr det at det er svært små mengder organisk C som skal til for å gi kalkstein en mørk farve. Foruten de nevnte sammenhenger for håndstykkefarve, reflektivitetsverdier og innholdet av kullstøv, kan også vanadium-innholdet i enkelte tilfeller være knyttet til og en indikator på mengden av organisk C. Dette synes å være tilfelle i Gastropode-kalken, men ikke i Borealis-Pentamerus-kalken.

Farven på kalksteiner avhenger tildels av kornstørrelsen. De har gjerne mørkere farve jo mer finkornige de er, delvis p.g.a. at kullstøv/organiske forbindelser kan være mer finfordelt for

små kornstørrelser, og delvis p.g.a. at mikritt, som er analogt i hydraulisk oppførsel til leirminerale, adsorberer organisk materiale og inneholder oftest mer av dette enn mer grovkornede kalksteiner (Blatt, 1982; Blatt et al., 1980). Mørke farver på karbonatbergarter knyttes hovedsaklig til organiske forbindelser, men sulfider og silikater kan også til en viss grad bidra til kalksteinens farve. Dette ses bl.a. ved at sulfidfattige prøver er en tanke lysere enn mer sulfidholdige prøver innen samme prøvekategori (metamorf gruppe).

Todd (1990) har studert bleking av kontaktmetamorf kalkstein ved Notch Peak, Utah, og knytter kalksteinens farveforandring til organisk C. Hans TOC-analyser viser at blekede prøver inneholder mindre organisk C enn mørke prøver og tyder på tap av organisk C under metamorfosen. Tolkningen er at karbonet ble transportert vekk med en H<sub>2</sub>O-rik fluid. Ut fra faseforholdene for C-O-H fluider under metamorfe forhold er det en grense for mol% H<sub>2</sub>O som kan være i likevekt med grafitt. Økes X<sub>H<sub>2</sub>O</sub> utover dette, vil fluiden reagere med grafitten og C fjernes som CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> ifølge reaksjonen:



Gjennomstrømning av en H<sub>2</sub>O-rik fluid under metamorfosen synes derfor som en mulig mekanisme for å utrense det organiske karbonet fra kalksteinen. Dette støttes av resultater fra Labotka et al. (1988) som peker i retning av infiltrasjon av argillittiske lag innen samme formasjon med store volum H<sub>2</sub>O-rike fluider fra Notch Peak intrusjonen under kontaktmetamorfosen.

Til tross for den betydelige fluid-gjennomstrømningen under kontaktmetamorfosen ved Notch Peak synes ikke kalkstein-leirskifer sedimentene å ha blitt metasomatisert, men å ha bevart sin primære sammensetning (Labotka et al., 1988). Kontaktmetamorfosen av kalkstein-leirskifer sedimenter i Oslofeltet var også i høy grad drevet av H<sub>2</sub>O-rik fluid-gjennomstrømning (Jamtveit et al., 1992<sup>b</sup>). Det er imidlertid vanlig at kontaktmetamorfose lokalt ledsages av metasomatisk skarndannelse. F.eks. kan man i veiskjæringer og brudd ved Grua se kalkstein som er betydelig forurenset av kalksilikatmasser og sulfider; andre lokaliteter med skarnforurenset kalkstein i Oslofeltet er beskrevet i bl.a. Ihlen (1986) og Jamtveit et al. (1992<sup>a</sup>). Man skal derfor være oppmerksom på at visse soner av kontaktmetamorfe miljøer kan ha blitt tilført nye komponenter utenfra slik at kalksteinen har blitt mer forurenset enn den var i utgangspunktet.

Sist skal det nevnes at kalksteinens mekaniske egenskaper også synes å variere med metamorfosegraden. Den umetamorfe og den lavere til medium metamorfe kalksteinen virker fastere og friskere enn den mest kontaktpåvirkede, som synes mer sukkeraktig, har vært mer utsatt for forvitring og lettere ryr. Dette har muligens sammenheng med den polygonale skumteksturen og at jevne korn grenser er best utviklet i den høymetamorfe marmoren. Kontaktmetamorfose synes således å ha en uheldig effekt dersom det er snakk om å anvende kalksteinen som naturstein. Dette er i samsvar med Vogt's (1897) konklusjoner, basert på studier av en rekke norske marmor.

## 7. KONKLUSJON

Undersøkelsene har vist at kontaktmetamorfose har en gunstig innvirkning på industrimineralkvaliteten av kalkstein ved å gi økt kornstørrelse, jevnere kornform og -grenser, lysere farge, økte hvithets-/reflektivitetsverdier, og mindre kullstøv/organisk karbon. Kontaktmetamorfose har imidlertid ikke vist seg å gi noen bedring i kvaliteten når det gjelder opptreden og mengde av forurensninger. Sammenvekningene og finkornigheten av mange av fasene tyder på at kontaktmetamorf kalkstein ikke vil være lettere å rense enn umetamorf utgave. Er kalksteinen i tillegg metasomatisert, er det store sjanser for at den har blitt mer uren enn den var i utgangspunktet, og at kvaliteten faktisk har blitt forringet. Resultatene indikerer at kontaktmetamorfose fører til en bedret industrimineralkvalitet på kalkstein bare dersom den var av høy renhet i utgangspunktet og har unnsloppet metasomatose.

## 8. LITTERATURREFERANSER

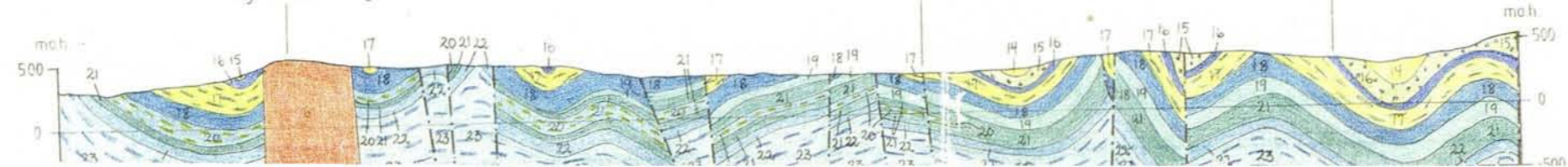
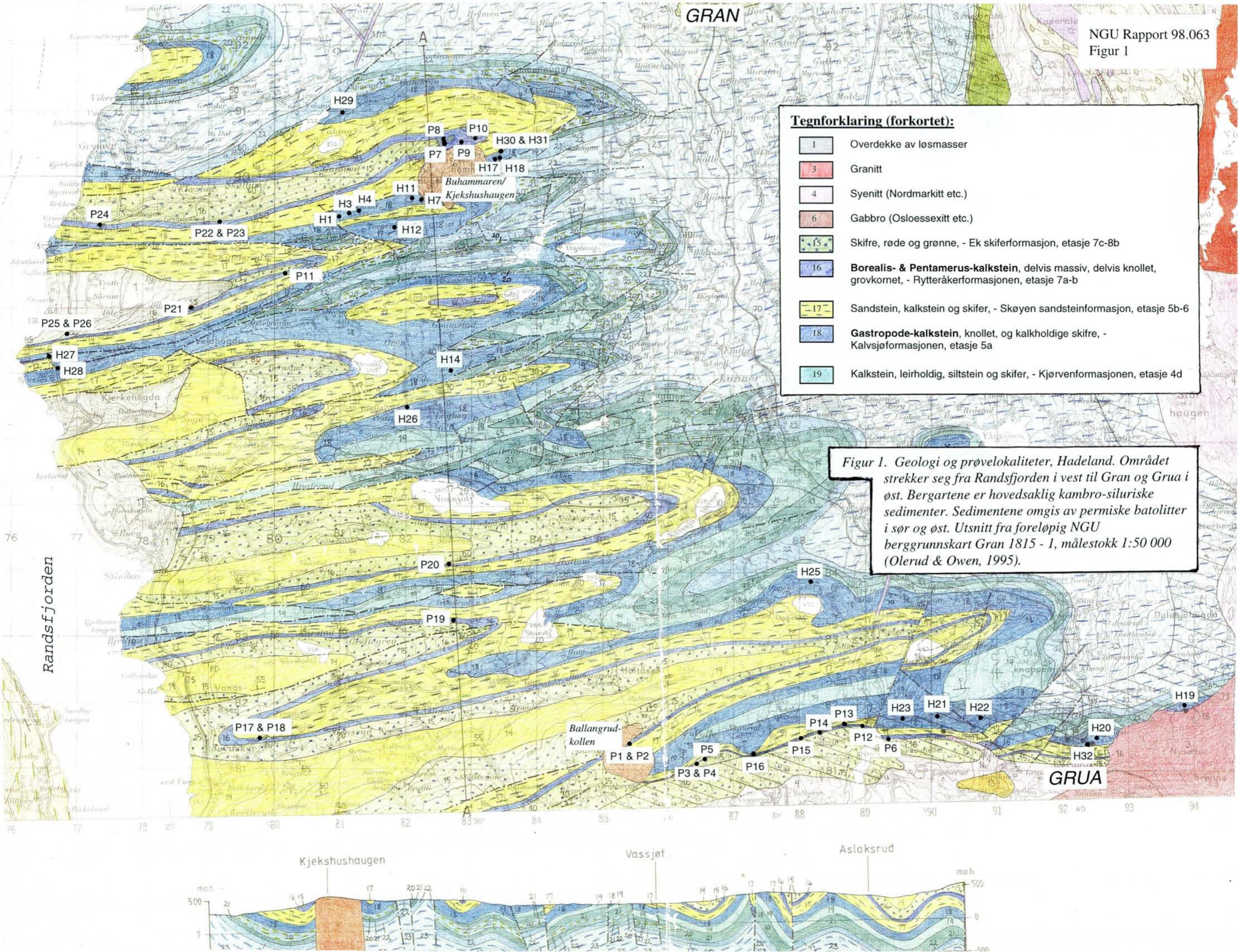
- Bjørlykke, K. 1974: Depositional History and Geochemical Composition of Lower Palaeozoic Epicontinental Sediments from the Oslo Region. NGU 305, s. 1- 81.
- Blatt, H. 1982: Sedimentary Petrology. Freeman & Co., San Francisco. 564 s.
- Blatt, H., Middleton, G., & Murray, R. 1980: Origin of sedimentary rocks, second edition. Prentice-Hall Inc., New Jersey. 782 s.
- Braithwaite, C.J.R., Owen, A.W., og Heath, R.A. 1995: Sedimentological changes across the Ordovician-Silurian boundary in Hadeland and their implications for regional patterns of deposition in the Oslo Region. Norsk Geol. Tidsskrift, Vol. 75, s. 199-218.
- Dons, J.A. 1977: Geologisk fører for Oslo-trakten. Tekst til "Geologisk kart over Oslo og omegn" 1:50 000. Universitetsforlaget, 173 s.
- Goldschmidt, V.M. 1911: Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet. Videnskapselskapets Skrifter I. Mat.-Naturv. Klasse, Kristiania 1911, no. 1, 483 s.
- Harben, P.W., 1992: The Industrial Minerals HandyBook, a Guide to Markets, Specifications, and Prices. Ind. Min. Div., Metal Bulletin PLC, London, 148 s.
- Holtedahl, O., 1912: Kalkstensforekomster i Kristianiafeltet. NGU nr. 63.
- Ihlen, P.M. 1986: The geological evolution and metallogeny of the Oslo paleorift. Sveriges Geologiska Undersökning Ser., nr. 59, s.6-17.
- Jamtveit, B., Nurminen, K.B., og Stijfhoorn, D.E. 1992<sup>a</sup>: Contact Metamorphism of Layered Shale-Carbonate Sequences in the Oslo Rift: I. Buffering, Infiltration, and the Mechanisms of Mass Transport. Journal of Petrology, Vol. 33, part 2, s. 377-422.
- Jamtveit, B., Grorud, H.F., og Nurminen, K.B. 1992<sup>b</sup>: Contact metamorphism of layered carbonate-shale sequences in the Oslo Rift. II: Migration of isotopic and reaction fronts around cooling plutons. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 114, s. 131-148.

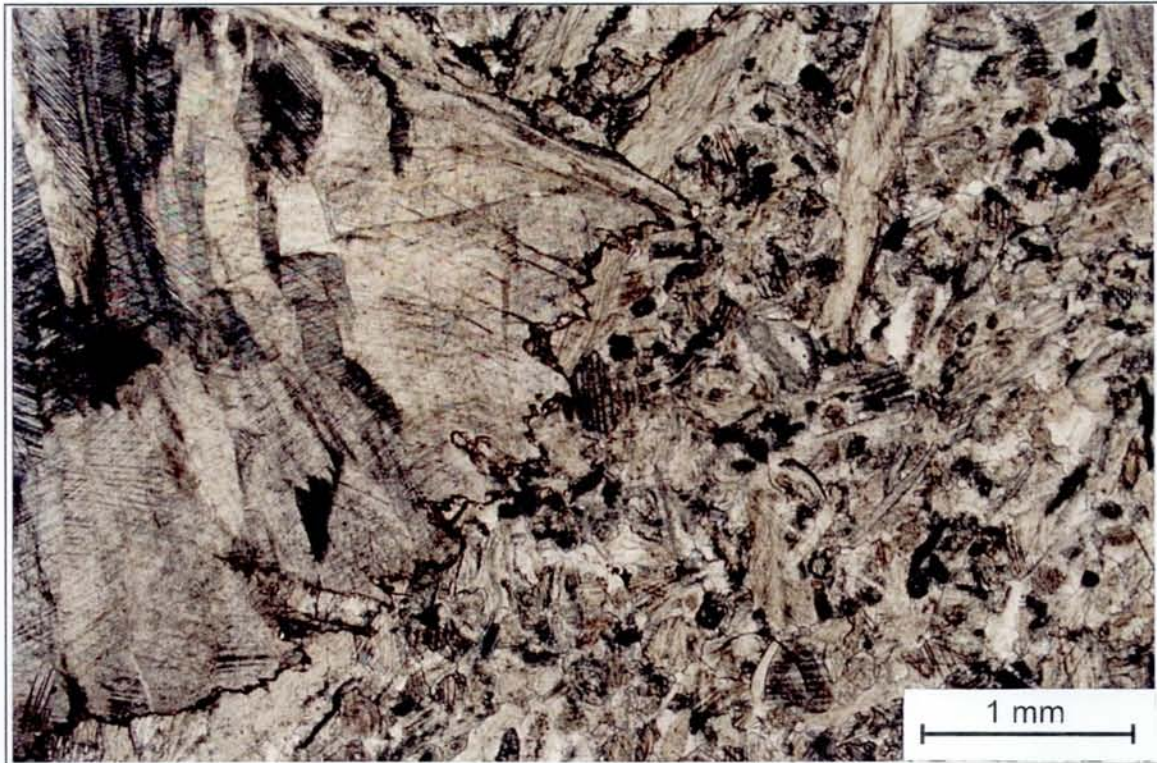
- Jamtveit, B. & Andersen, T. 1993: Contact Metamorphism of Layered Shale-Carbonate Sequences in the Oslo Rift: III. The Nature of Skarn-Forming Fluids. *Econ. Geol.*, Vol. 88, s. 1830-1849.
- Kiær, J., 1908: Das Obersilur im Kristianiagebiete. Eine stratigraphisch-faunistische Untersuchung. *Skr. Vidensk. Selsk. Kristiania I Mat.-Naturv. Kl.* 1906 II, 596 s.
- Labotka T.C., Nabelek, P.I., Papike, J.J., Hover-Granath, V.C., og Laul, J.C. 1988: Effects of contact metamorphism on the chemistry of calcareous rocks in the Big Horse Limestone Member, Notch Peak, Utah. *American Mineralogist*, Vol. 73, s. 1095-1110.
- Olerud, S. & Owen, A.W. 1995: Berggrunnskart Gran 1815 - 1, 1:50 000, foreløpig utgave, NGU.
- Owen, A.W., 1978: The Ordovician and Silurian Stratigraphy of Central Hadeland, South Norway. NGU nr. 338, s. 1-23.
- Owen, A.W., Bruton, D.L., Bockelie, J.F., og Bockelie, T.G. 1990: The Ordovician successions of the Oslo Region, Norway. NGU Special Publ. 4, 3-54.
- Todd, C.S. 1990: Bleaching of limestones in the Notch Peak contact-metamorphic aureole, Utah. *Geology*, Vol. 18, s. 83-86.
- Vogt, J.H.L. 1897: Norsk marmor. NGU nr.22, 365 s.
- Worsley, D., Aarhus, N., Bassett, M.G., Howe, M.P.A., Mørk, A., & Olausen, S., 1983: The Silurian succession of the Oslo Region. NGU nr. 384 (Bull. 72), s.1-57.
- Øvereng, O., 1996: Karbonatressurser i Finnmark, sluttrapport. NGU-rapport 96.043.

**Tegnforklaring (forkortet):**

- 1 Overdekke av løsmasser
- 3 Granitt
- 4 Syenitt (Nordmarkitt etc.)
- 6 Gabbro (Osloessexitt etc.)
- 15 Skifre, røde og grønne, - Ek skiferformasjon, etasje 7c-8b
- 16 Borealis- & Pentamerus-kalkstein, delvis massiv, delvis knollet, grovkornet, - Rytteråkerformasjonen, etasje 7a-b
- 17 Sandstein, kalkstein og skifer, - Skøyen sandsteinformasjon, etasje 5b-6
- 18 Gastropode-kalkstein, knollet, og kalkholdige skifre, - Kalvsjøformasjonen, etasje 5a
- 19 Kalkstein, leirholdig, siltstein og skifer, - Kjørvenformasjonen, etasje 4d

*Figur 1. Geologi og prøvelokaliteter, Hadeland. Området strekker seg fra Randsfjorden i vest til Gran og Grua i øst. Bergartene er hovedsaklig kambro-siluriske sedimenter. Sedimentene omgis av permiske batolitter i sør og øst. Utsnitt fra foreløpig NGU berggrunnskart Gran 1815 - 1, målestokk 1:50 000 (Olerud & Owen, 1995).*

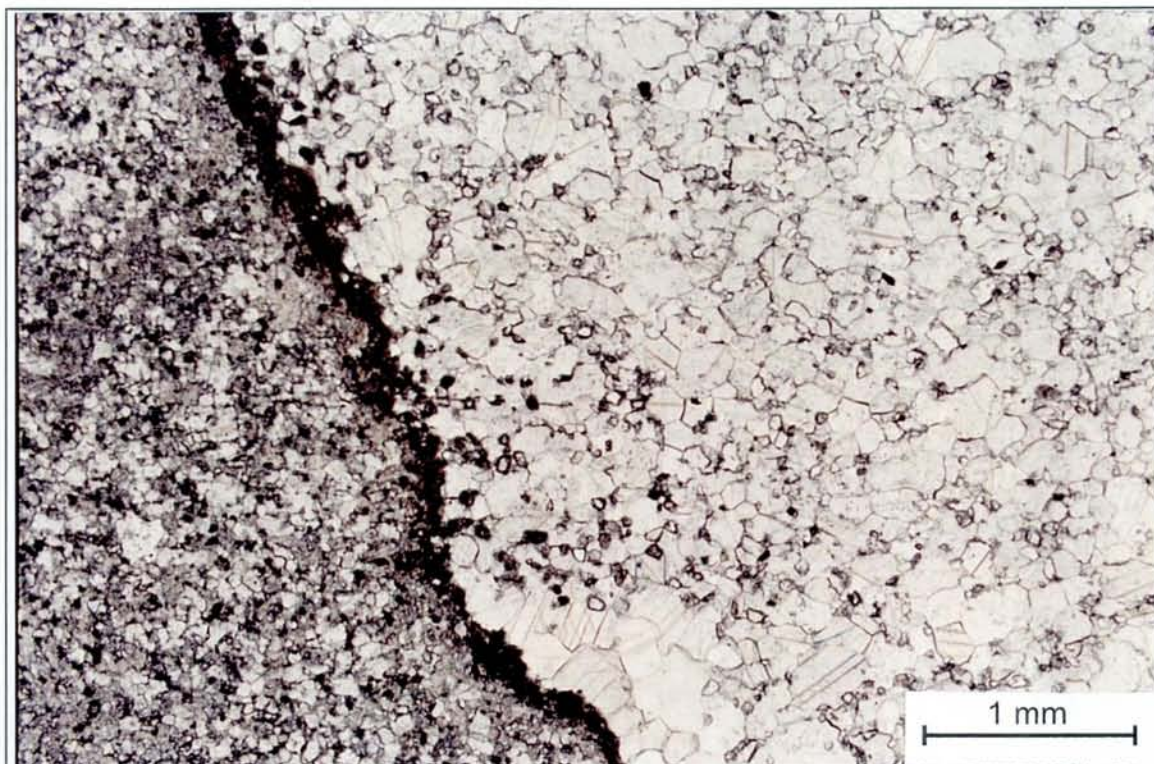




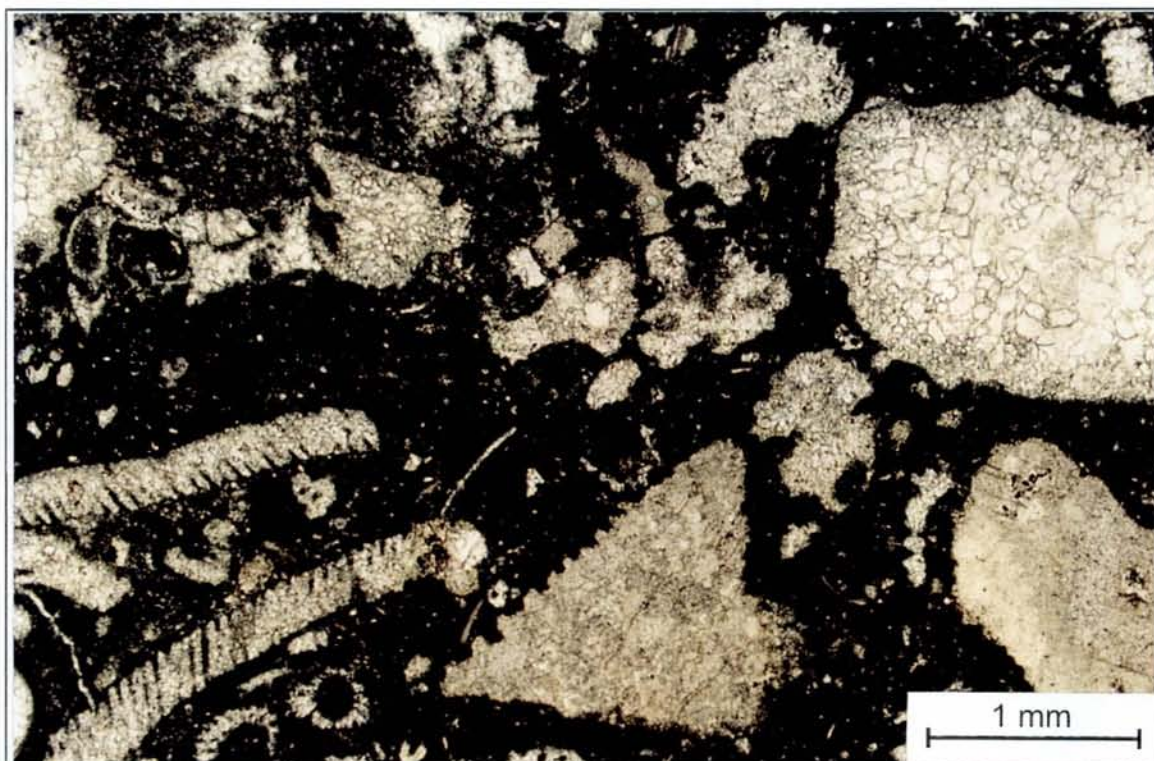
Figur 2. Umetamorf Borealis-kalk. Grunnmassen er sparittisk og til venstre i bildet ses deler av et av de store karakteristiske brachiopode-skjellene. Prøve P25, planpolarisert lys.



Figur 3. Høymetamorf Borealis-kalk, fra nært opptil intrusiv. Bergarten er rekrystallisert til en krystalloblastisk tekstur. Kalsitten er lys og ren i den kontaktmetamorfe kalksteinen, i motsetning til den umetamorfe kalksteinen, hvor kullstøvforurensning i kalsitten er fremtredende. Prøve P7, planpolarisert lys.

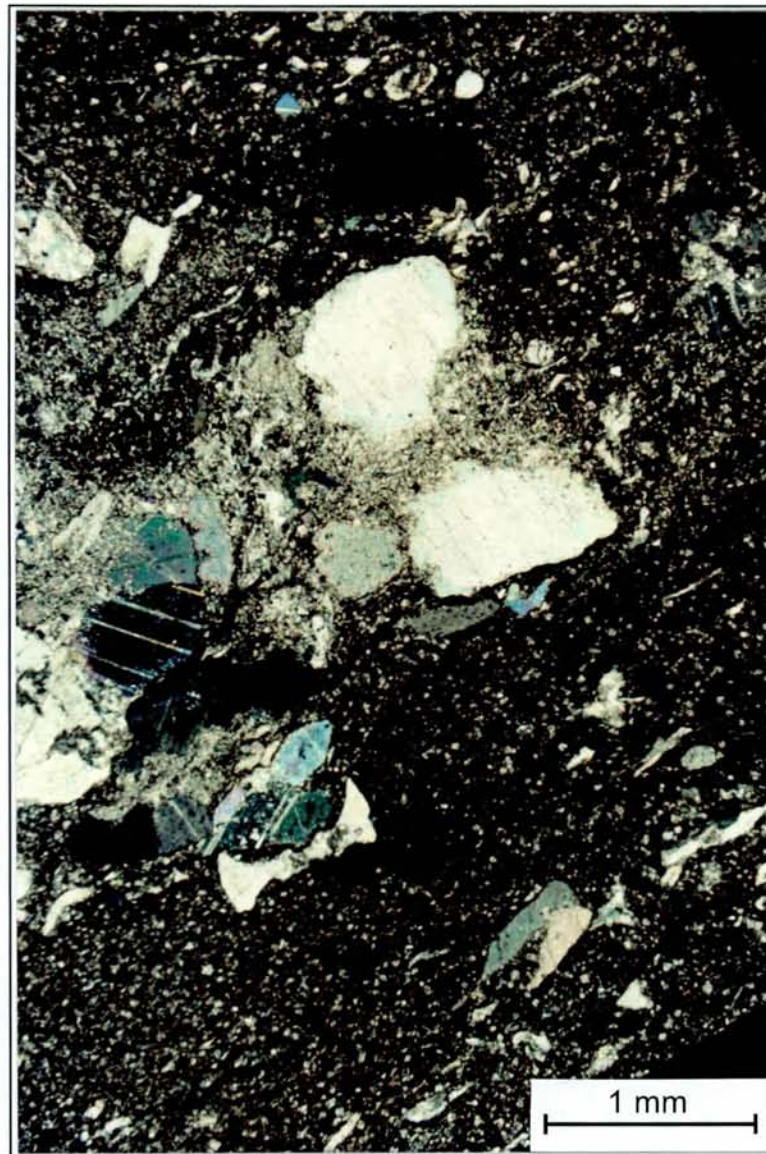


Figur 4. Medium metamorf Borealis-Pentamerus-kalk. Kalksteinen er, som den høymetamorfe, gjennomgripende rekrystallisert til en krystalloblastisk tekstur, men kornstørrelsen er mindre. Kalsittens renhet m.h.t. innhold av kullstøv er tilsvarende som i den høymetamorfe kalksteinen, men andre forurensninger som kalksilikater, kvarts og sulfider er mer fremtredende. Urenhetene opptrer som spredte krystaller og kalksilikatene forekommer i tillegg som svært finkornede, grumsete masser som invaderer og erstatter kalsitten. Prøve P14, planpolarisert lys.

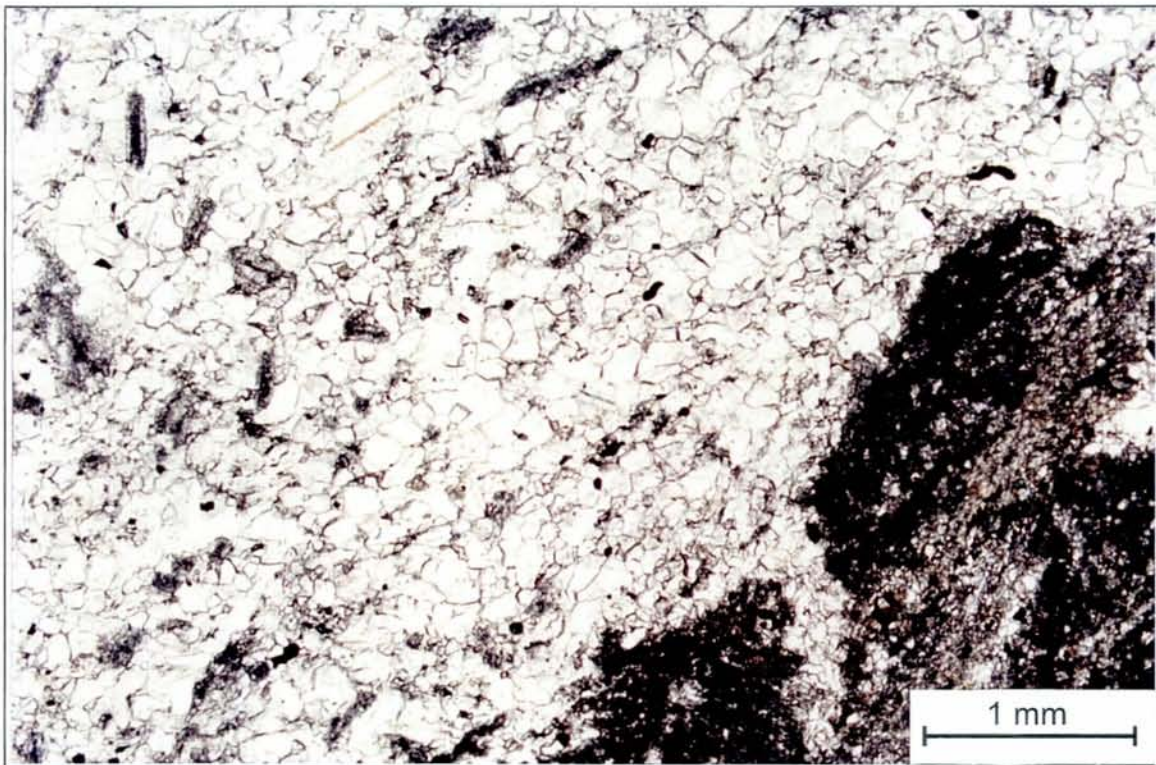


Figur 5. Umetamorf Gastropode-kalk med fossiler satt i en grunnmasse av veldig finkornet mikritt med mørk brun egenfarge. En del av fossilene består av ett kalsittkorn og er generelt skittenbrune (fossiler i nedre del av bildet, midt på og til høyre). Andre fossiler er rekrystallisert og oppbygd av flere kalsittkorn som oftest er litt lysere (øvre høyre felt), men renheten varierer og det er ikke uvanlig at også disse er nokså pepret med kullstøv. Prøve H4, planpolarisert lys.

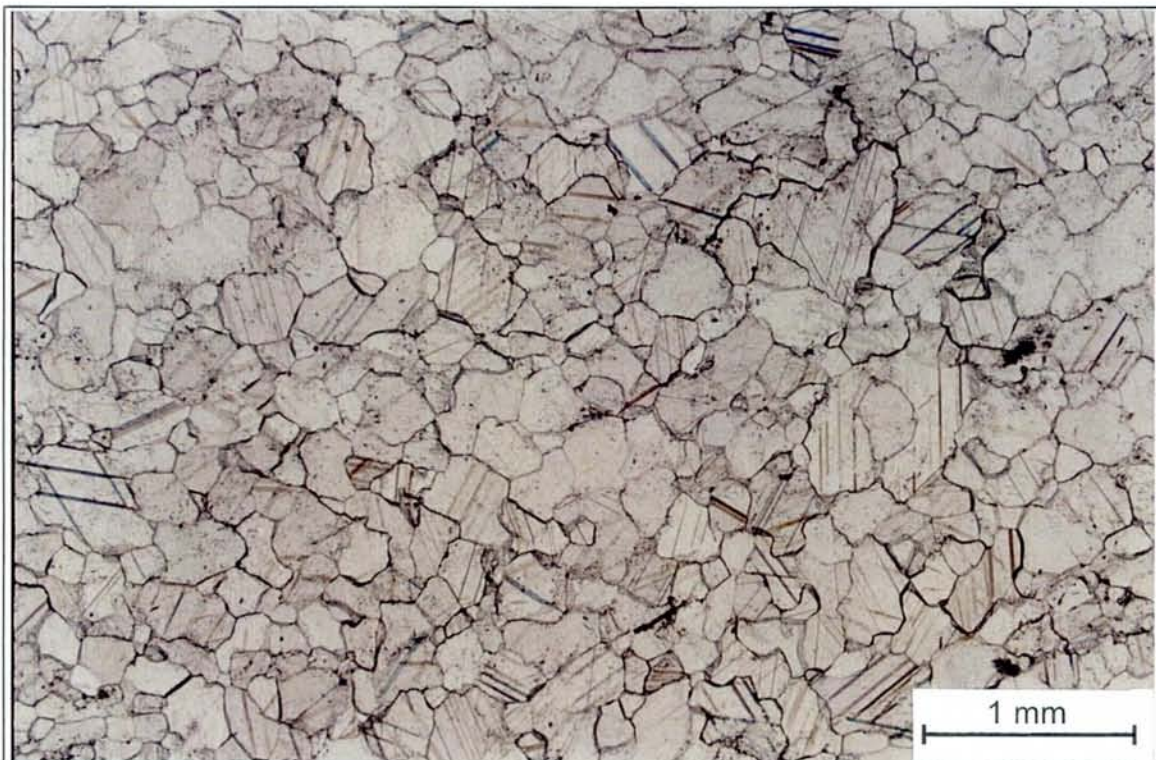




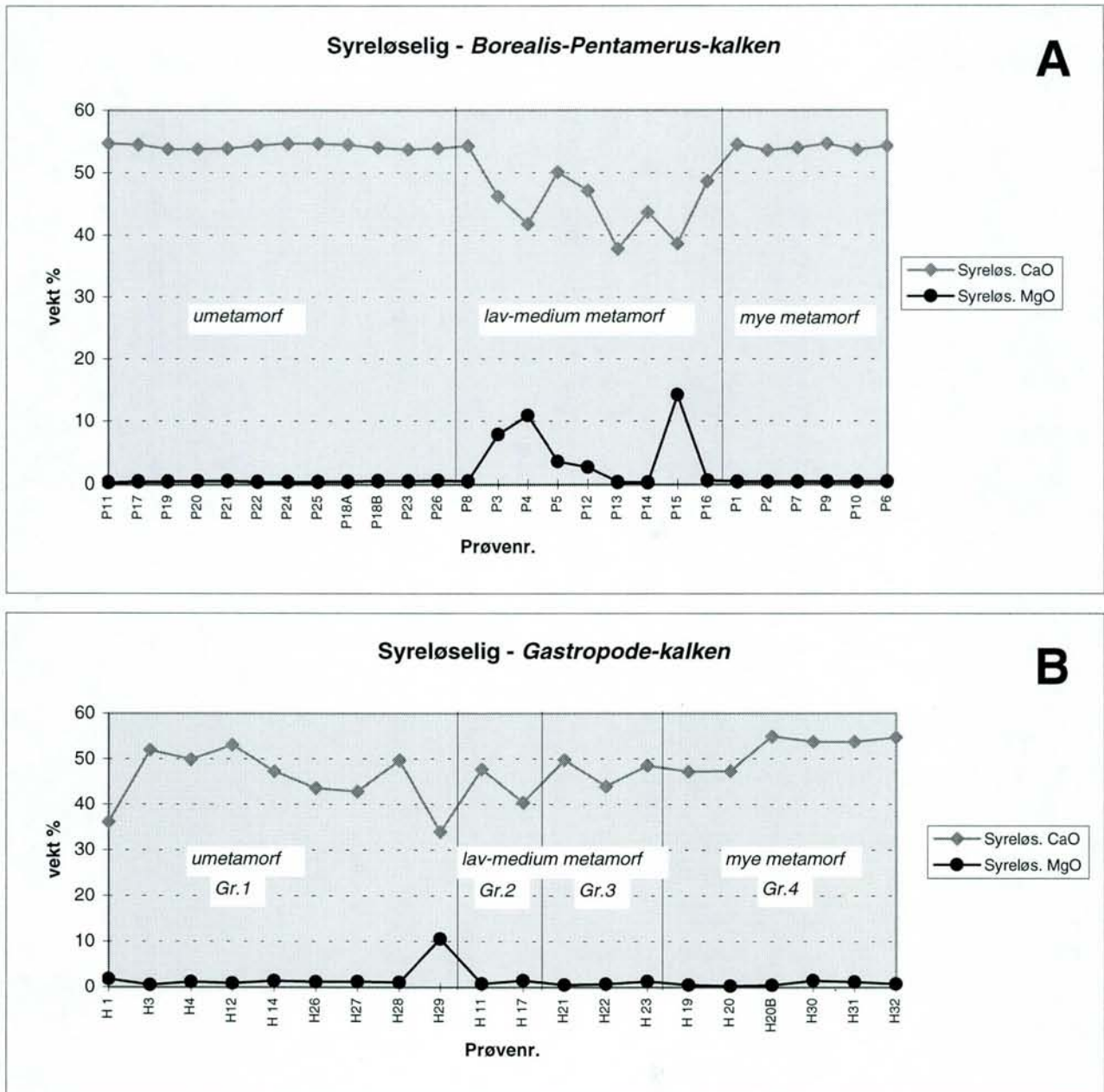
Figur 6. Lav-medium metamorf Gastropode-kalk, Gruppe 2. Teksturen er i høy grad lik den umetamorfe, men visse forskjeller fins, som f.eks.: Det større hvite kalsittkornet sentralt i bildet er invadert og gjennomført av finkornet mikrittisk kalsitt. Denne mikritten ligner den diagenetiske men må være en senere dannet generasjon, trolig i forbindelse med kontaktmetamorfosen. Rekrystalliseringen har altså her resultert i en finere heller enn grovere kornstørrelse. Prøve H18A, dobbelpolarisert lys.



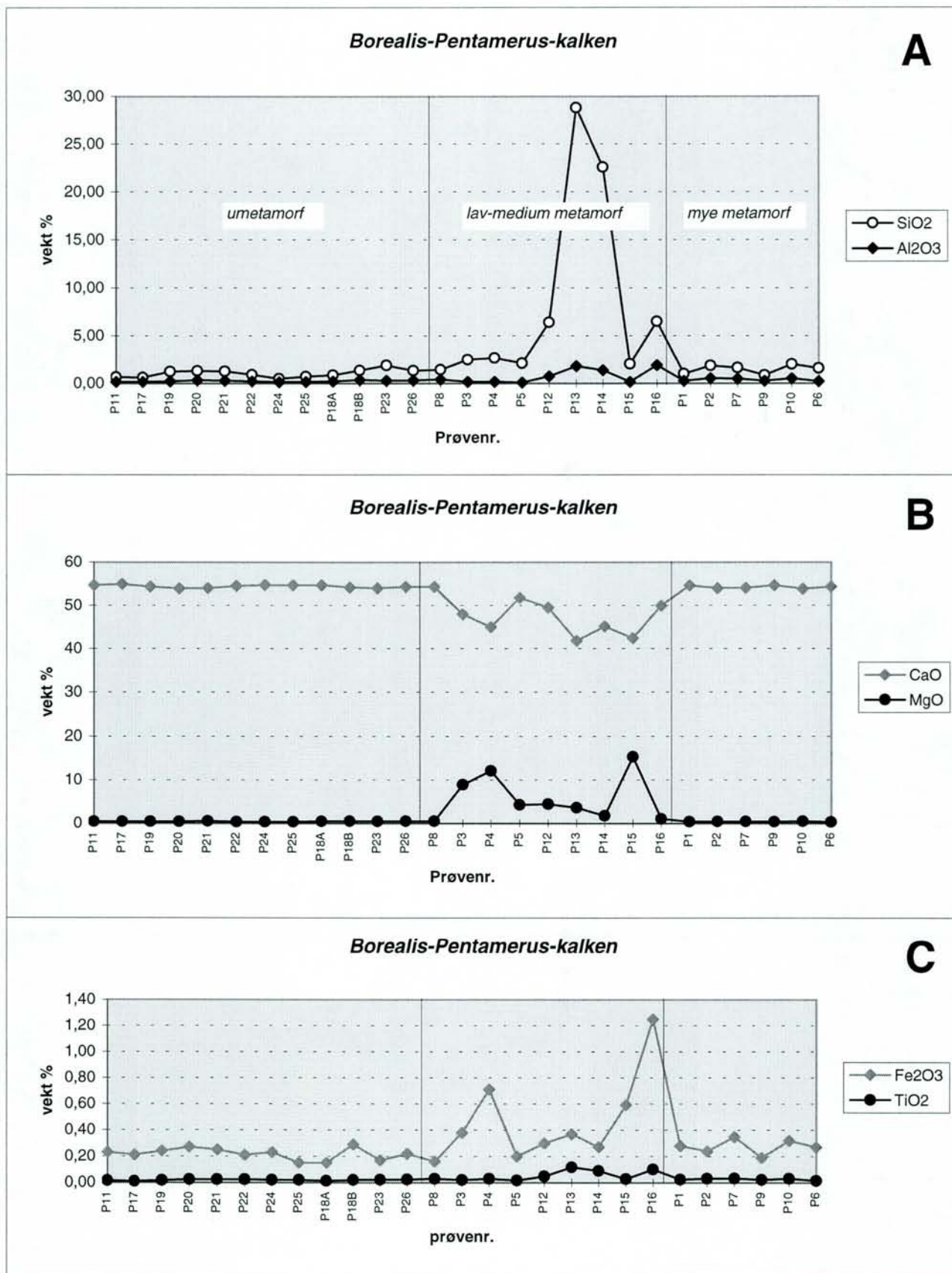
Figur 7. Lav-medium metamorf Gastropode-kalk, Gruppe 3. Kalksteinen er gjennomgripende rekrystallisert til en polygonal granoblastisk tekstur og den ekstreme bimodale kornstørrelsesfordelingen mikritt-fossiler er utvisket. Kalsitten er relativt lys men innholdet av mørke støvpartikler varierer. Andre forurensninger (vesentlig kalksilikater) opptrer tildels som jevnt spredte små krystaller og forøvrig som svært finkornede, grumsete, uregelmessige masser. Prøve H22, planpolarisert lys.



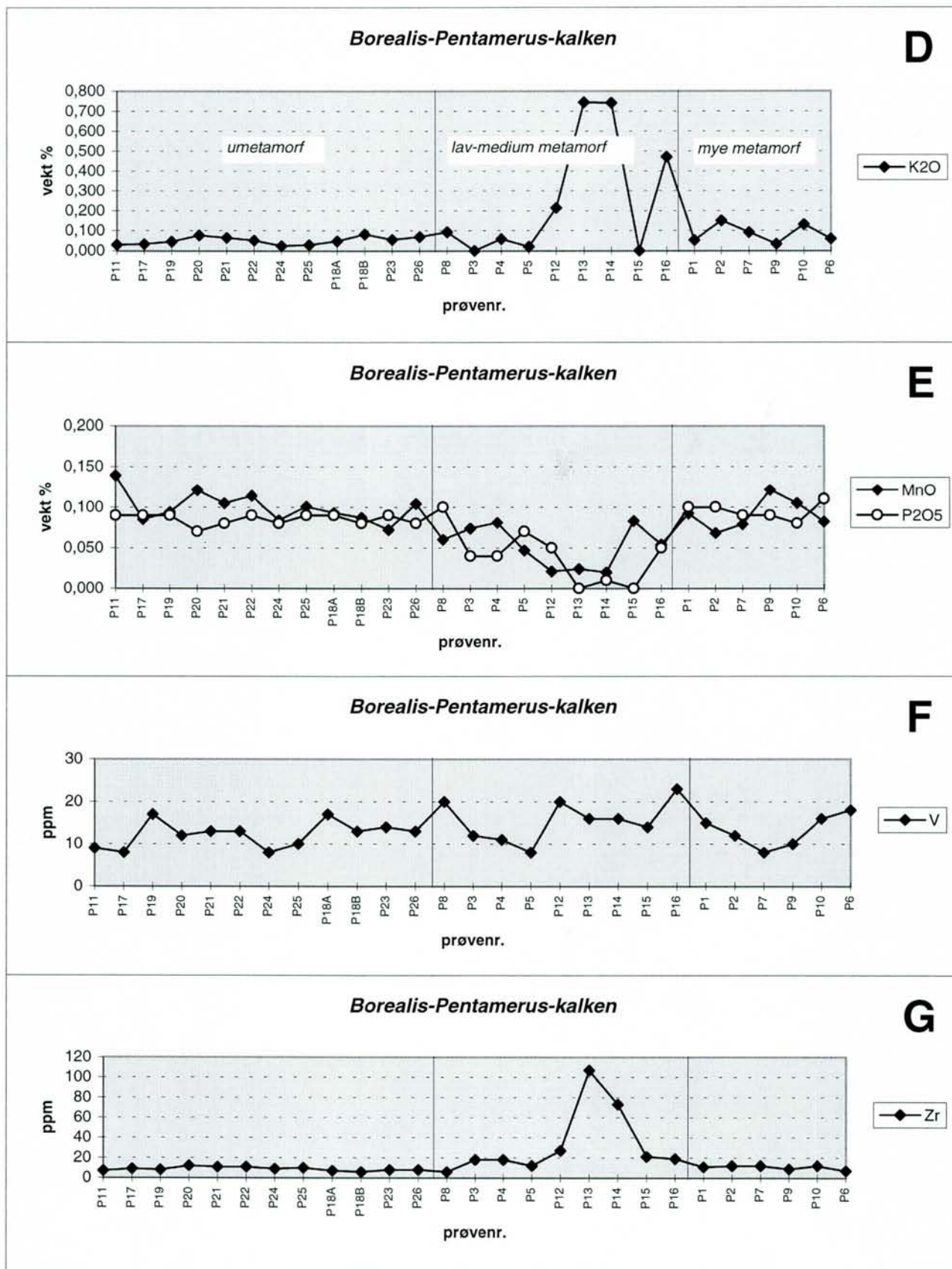
Figur 8. Høymetamorf Gastropode-kalk, Gruppe 4. Som Gruppe 3, men mer grovkornet og kalsitten er for det meste klarere og renere enn i Gruppe 3 m.h.t. innhold av kullstøv. Prøve H30, planpolarisert lys.

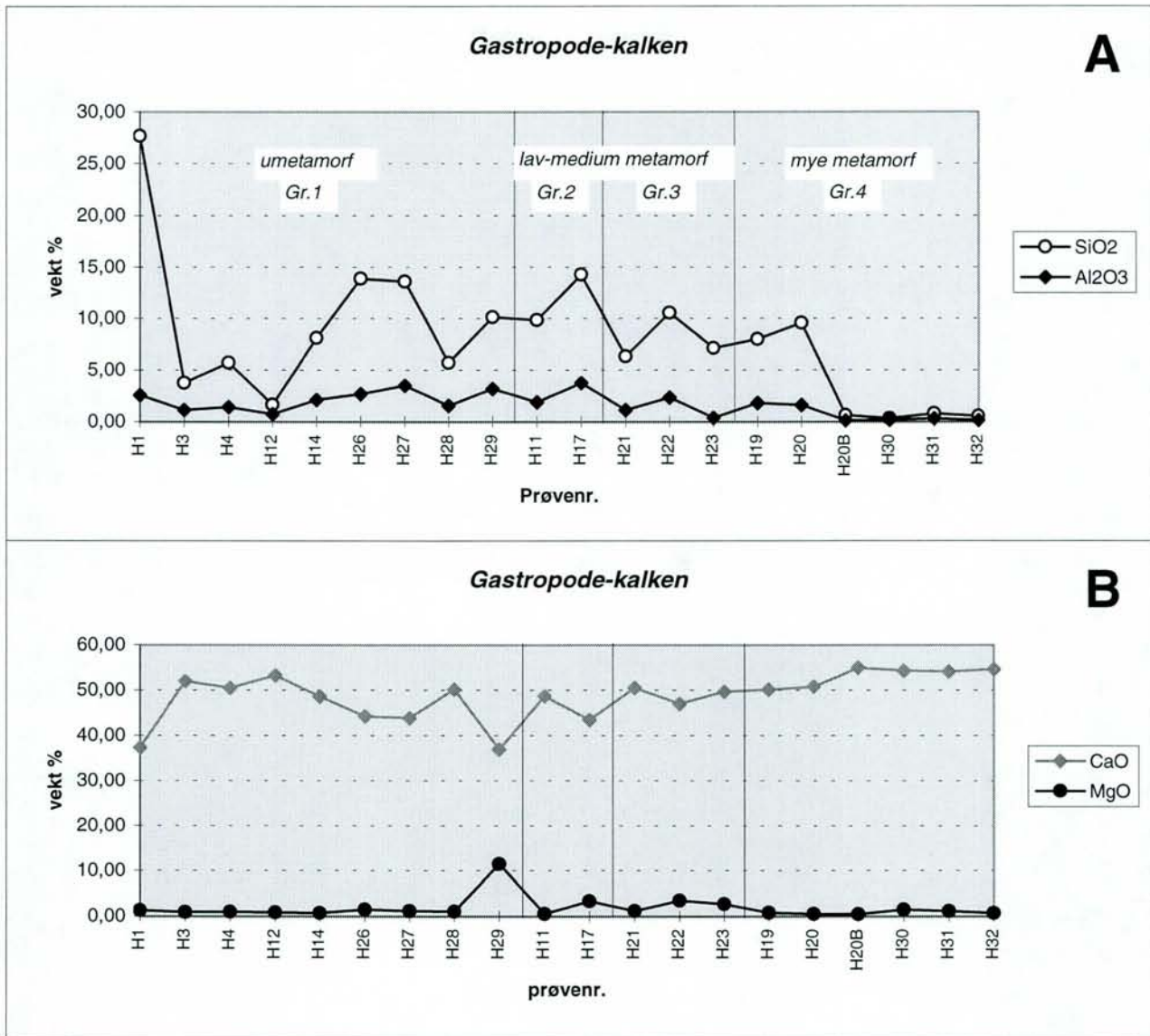


Figur 9. Syreløselig CaO og MgO i umetamorf og kontaktmetamorf kalkstein, A. Borealis-Pentamerus-kalken, og B. Gastropode-kalken.

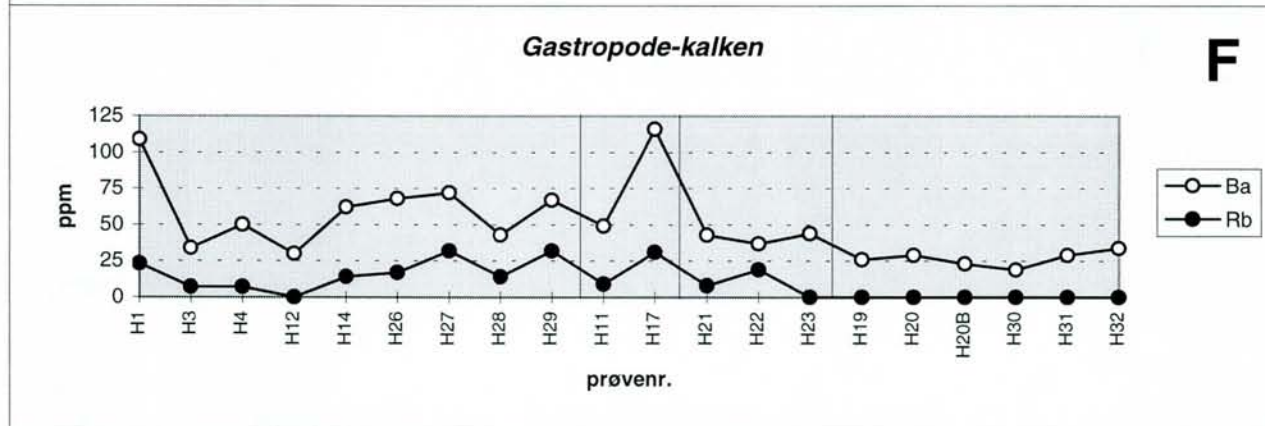
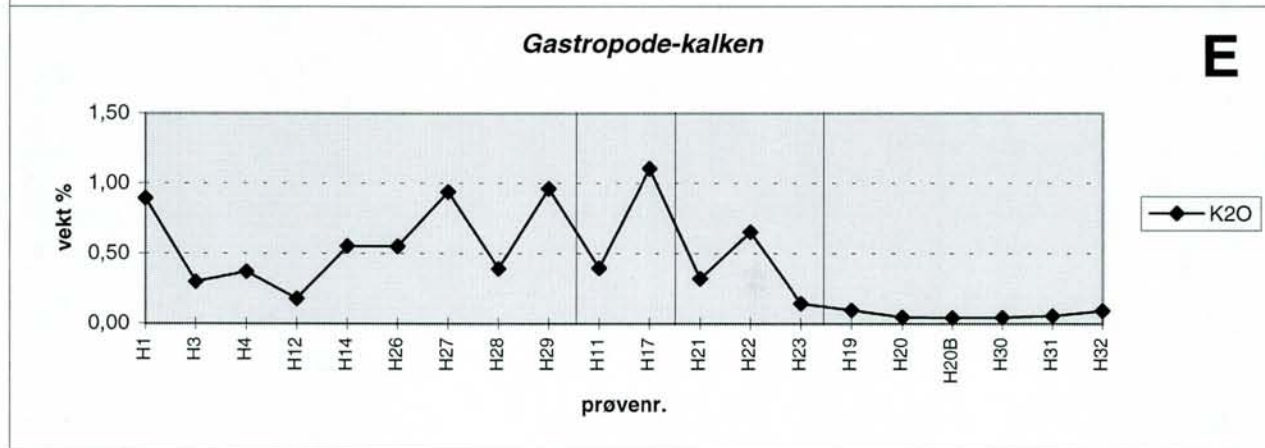
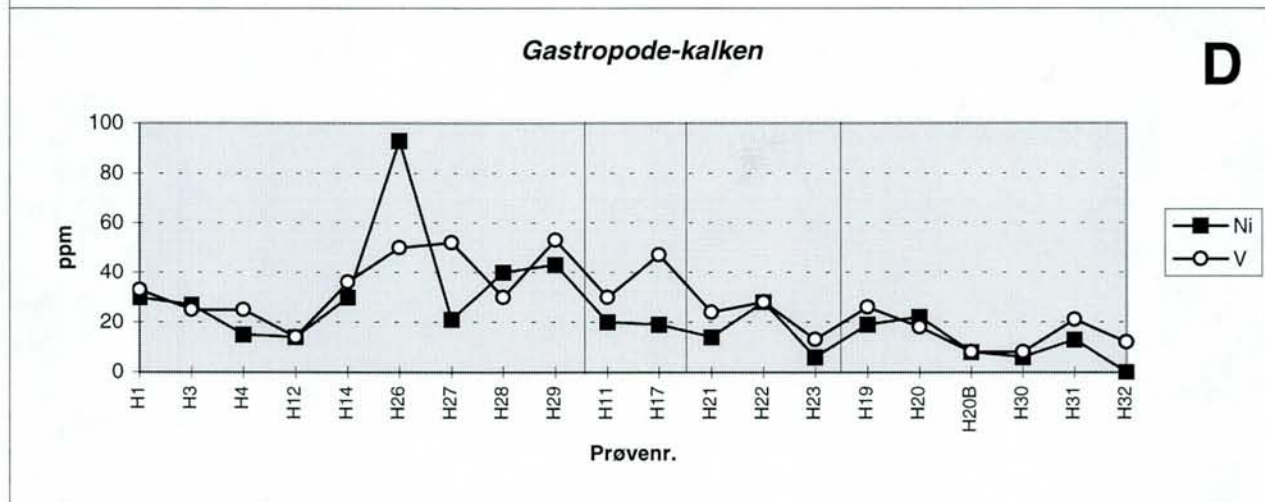
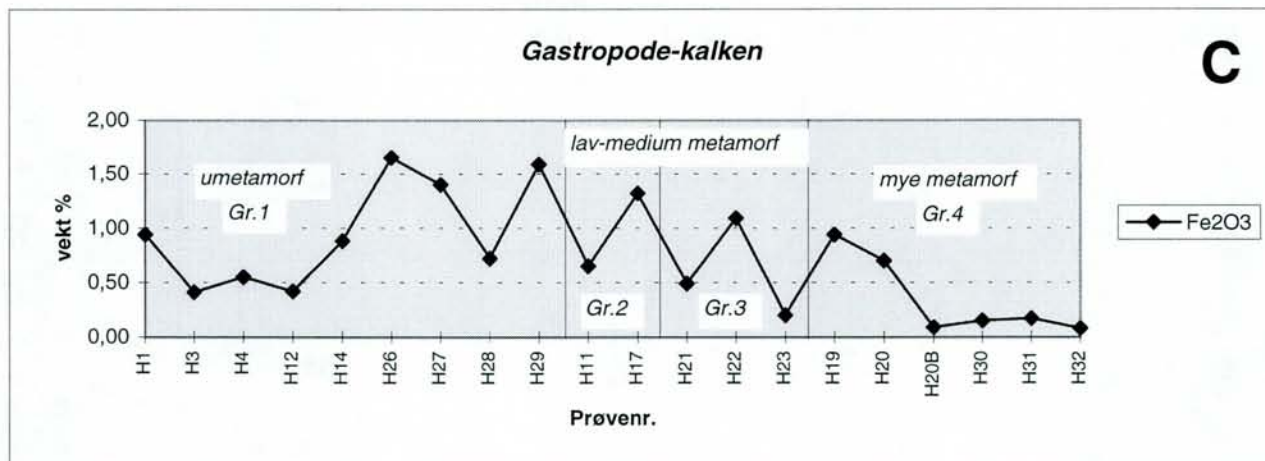


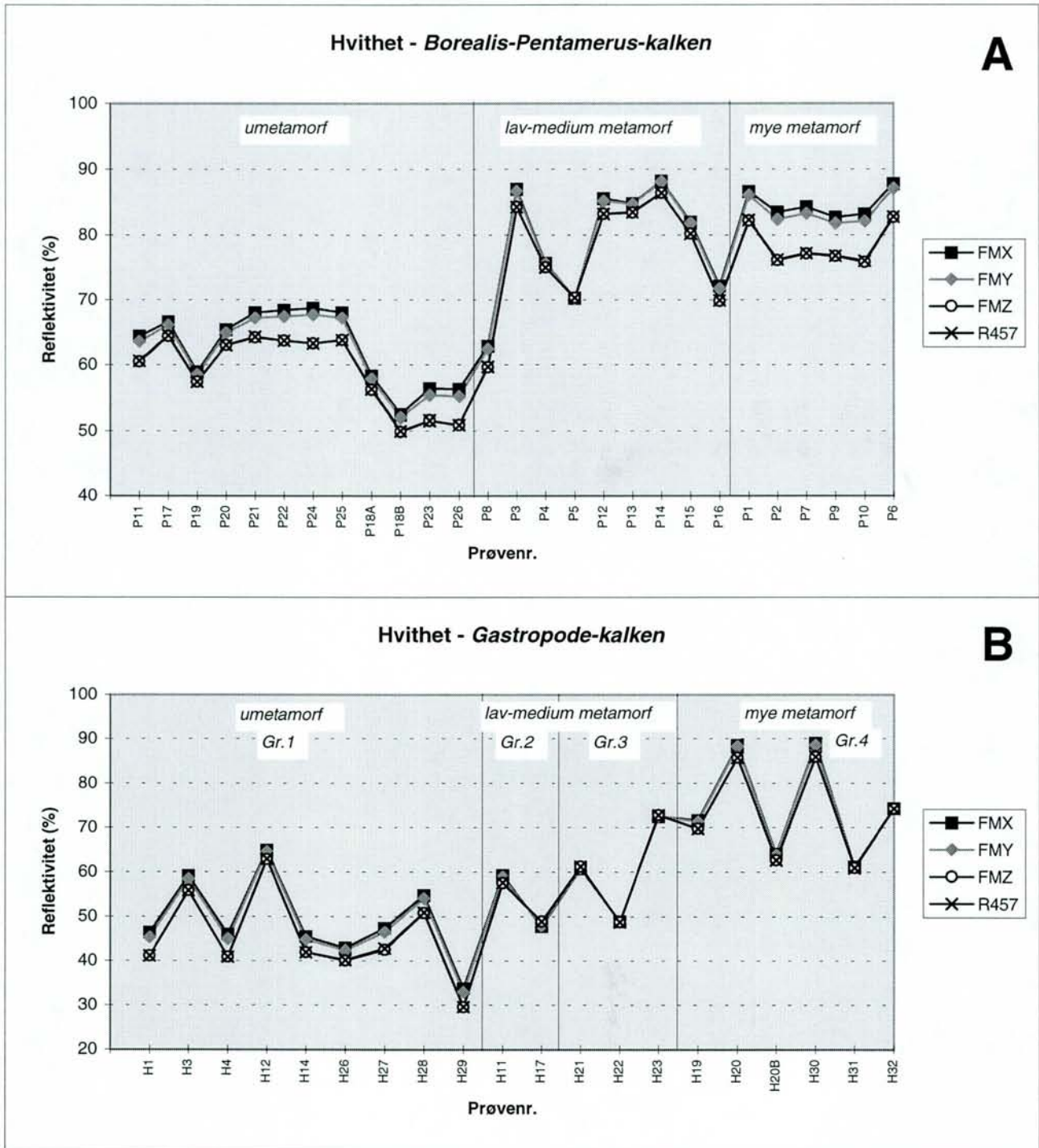
Figur 10. Utvalgte hoved- og sporelementer i Borealis-Pentamerus-kalken, analysemetode XRF. Ingen av de analyserte elementer (tabell 4) viser noen systematisk endring ut fra graden av kontaktmetamorf påvirkning. Konsentrasjonen er lik i umetamorfe og høymetamorfe prøver, med unntak av en svak økning for K<sub>2</sub>O. Den avvikende kjemien for de medium metamorfe prøvene skyldes en mer uren primærsammensetning i kalksonen disse opprinner fra.





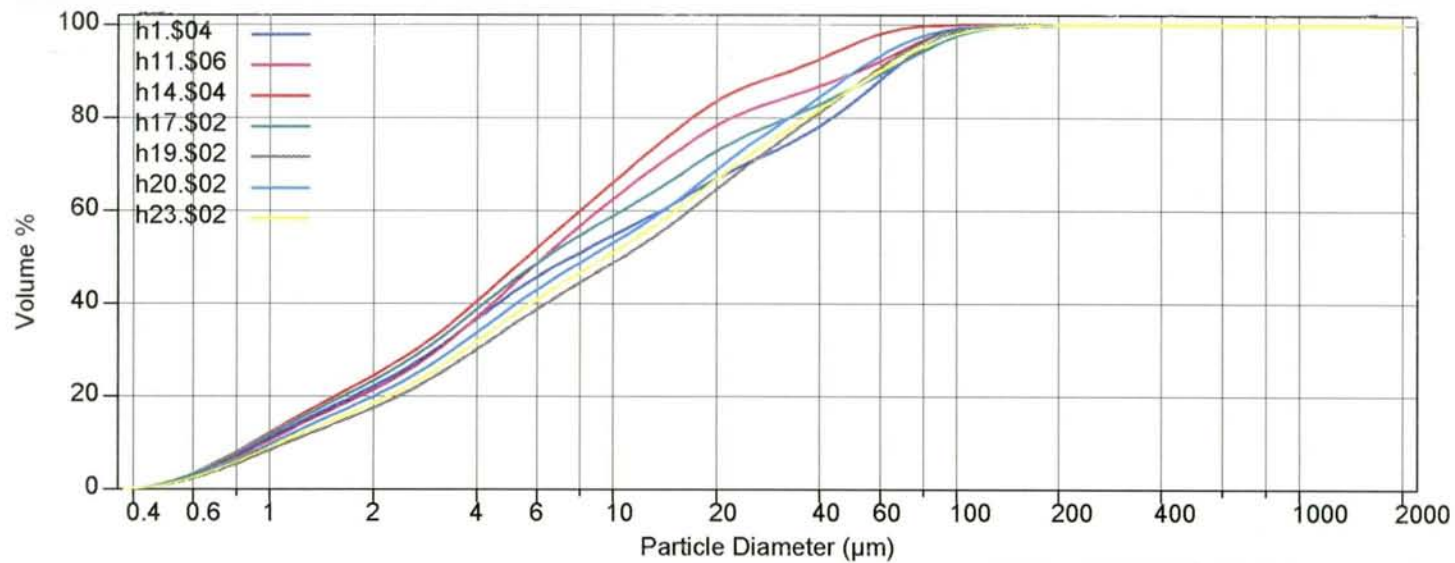
Figur 11. Utvalgte hoved- og sporelementer i Gastropode-kalken, analysemetode XRF. Kjemiske endringer med graden av kontaktmetamorf påvirkning er små og bare registrert for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, SiO<sub>2</sub>, Ni, V, Ba og Rb. De langt fleste analyserte elementer (tabell 4) forekommer i samme mengde før og etter metamorfosen.





Figur 12. Hvitheten av umetamorf og kontaktmetamorf kalkstein, A. Borealis-Pentamerus-kalken, og B. Gastropode-kalken. Målingene av reflektert lys foretas med 3 fargemålingsfiltre (FMX, FMY og FMZ) samt et lysfilter (R457). R457 angir hvitheten/hvithetsgraden og er reflektiviteten av monokromatisk lys med bølgelende 457 nm. FMX, FMY og FMZ: reflektivitet av lys over bestemte bølgelengde-breder sentrert rundt h.h.v. 600 nm (rødt), 550 nm (grønt) og 450 nm (blått).





Figur 13. Kornstørrelsesfordelingen (kumulativ kurve) for noen av Gastropodekalk-prøvene, målt på nedmalt pulverprøve. X-aksen angir kornstørrelse og y-aksen angir volum% mindre enn.













**Tabell 5. Syreløselig CaO og MgO i kalksteinene. Verdiene for kalsitt, dolomitt og uløst er beregnet med forutsetning om at all syreløselig MgO er bundet i dolomitt.**

Prøvenr.	CaO (vekt %)	MgO (vekt %)	CaCO <sub>3</sub> (vekt %)	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (vekt %)	Uløst (vekt %)
<i>Borealis-Pentamerus-kalken</i>					
P11	54,7	0,28	96,93	1,28	1,79
P17	54,53	0,38	96,38	1,74	1,88
P19	53,81	0,4	95,05	1,83	3,12
P20	53,82	0,44	94,96	2,01	3,02
P21	53,9	0,48	95,01	2,20	2,80
P22	54,39	0,36	96,18	1,65	2,17
P24	54,7	0,34	96,78	1,56	1,66
P25	54,67	0,34	96,73	1,56	1,72
P18A	54,49	0,4	96,26	1,83	1,91
P18B	53,99	0,48	95,17	2,20	2,64
P23	53,74	0,46	94,77	2,10	3,12
P26	53,9	0,54	94,86	2,47	2,67
P8	54,29	0,44	95,80	2,01	2,18
P3	46,19	7,86	62,93	35,95	1,12
P4	41,84	10,9	47,62	49,86	2,53
P5	50,11	3,54	80,65	16,19	3,16
P12	47,16	2,66	77,57	12,17	10,27
P13	37,85	0,3	66,81	1,37	31,82
P14	43,69	0,26	77,33	1,19	21,48
P15	38,66	14,23	33,67	65,09	1,24
P16	48,64	0,56	85,42	2,56	12,02
P1	54,54	0,4	96,35	1,83	1,82
P2	53,59	0,38	94,70	1,74	3,56
P7	53,98	0,4	95,35	1,83	2,82
P9	54,66	0,4	96,56	1,83	1,61
P10	53,66	0,38	94,83	1,74	3,43
P6	54,25	0,38	95,88	1,74	2,38
<i>Gastropode-kalken</i>					
H1	36,19	1,73	60,30	7,91	31,79
H3	51,95	0,48	91,53	2,20	6,28
H4	49,9	1,15	86,21	5,26	8,53
H12	53,06	0,83	92,64	3,80	3,56
H14	47,31	1,41	80,94	6,45	12,61
H26	43,57	1,15	74,91	5,26	19,83
H27	42,85	1,19	73,52	5,44	21,03
H28	49,69	1,01	86,18	4,62	9,20
H29	33,93	10,53	34,42	48,16	17,42
H11	47,72	0,75	83,31	3,43	13,26
H17	40,45	1,47	68,54	6,72	24,73
H21	49,76	0,5	87,57	2,29	10,14
H22	44,02	0,65	76,95	2,97	20,07
H23	48,59	1,25	83,62	5,72	10,66
H19	47,27	0,46	83,22	2,10	14,67
H20	47,35	0,22	83,96	1,01	15,03
H20B	54,95	0,4	97,08	1,83	1,09
H30	53,76	1,45	92,35	6,63	1,02
H31	53,75	1,15	93,08	5,26	1,66
H32	54,63	0,73	95,69	3,34	0,97



**Tabell 6. Total organisk karbon.**

<i>Borealis-Pentamerus-kalken</i>		<i>Gastropode-kalken</i>	
Prøvenr.	TOC (vekt %)	Prøvenr.	TOC (vekt %)
P11	< 0.10	H1	0,11
P17	< 0.10	H3	< 0.10
P19	< 0.10	H4	< 0.10
P20	< 0.10	H12	< 0.10
P21	< 0.10	H14	< 0.10
P22	< 0.10	H26	< 0.10
P24	< 0.10	H27	< 0.10
P25	< 0.10	H28	< 0.10
P18A	< 0.10	H29	0,14
P18B	< 0.10	H11	< 0.10
P23	< 0.10	H17	< 0.10
P26	< 0.10	H21	< 0.10
P8	< 0.10	H22	0,11
P3	< 0.10	H23	< 0.10
P4	< 0.10	H19	< 0.10
P5	< 0.10	H20	< 0.10
P12	< 0.10	H20B	0,10
P13	< 0.10	H30	< 0.10
P14	< 0.10	H31	< 0.10
P15	< 0.10	H32	< 0.10
P16	< 0.10		
P1	< 0.10		
P2	< 0.10		
P7	< 0.10		
P9	< 0.10		
P10	< 0.10		
P6	< 0.10		

Tabell 7. Hvithetsmålinger.

<i>Borealis-Pentamerus-kalken</i>					<i>Gastropode-kalken</i>				
Prøvenr.	% reflektivitet pr. filter				Prøvenr.	% reflektivitet pr. filter			
	FMX	FMY	FMZ	R457		FMX	FMY	FMZ	R457
P11	64,4	63,6	60,5	60,6	H1	46,4	45,3	41,1	41,1
P17	66,6	66,1	64,4	64,5	H3	59,1	58,4	55,8	55,8
P19	58,9	58,5	57,4	57,4	H4	46,0	45,0	40,9	40,9
P20	65,4	64,9	63,0	63,0	H12	64,9	64,5	62,8	62,9
P21	68,0	67,2	64,2	64,3	H14	45,5	44,8	41,9	41,9
P22	68,4	67,4	63,7	63,7	H26	42,9	42,4	40,1	40,2
P24	68,7	67,7	63,3	63,3	H27	47,4	46,5	42,5	42,8
P25	68,0	67,2	63,8	63,8	H28	54,8	54,1	50,8	50,9
P18A	58,3	57,9	56,2	56,3	H29	33,8	32,9	29,5	29,6
P18B	52,5	52	49,9	50,0	H11	59,2	58,9	57,5	57,6
P23	56,4	55,4	51,6	51,6	H17	47,8	48,0	48,9	48,9
P26	56,3	55,2	50,9	50,9	H21	60,8	60,9	61,2	61,2
P8	62,9	62,4	59,6	59,7	H22	48,9	48,9	48,8	48,8
P3	87,0	86,7	84,3	84,3	H23	72,5	72,6	72,8	72,8
P4	75,7	75,6	75,0	75,0	H19	71,6	71,3	69,7	69,7
P5	70,2	70,2	70,3	70,3	H20	88,5	88,3	85,8	85,8
P12	85,6	85,2	83,2	83,2	H20B	64,0	63,8	62,6	62,6
P13	84,8	84,7	83,4	83,5	H30	89,0	88,5	86,0	86,0
P14	88,2	88,1	86,4	86,4	H31	61,1	61,0	60,9	60,9
P15	82,0	81,8	80,2	80,2	H32	74,3	74,2	74,2	74,2
P16	72,1	71,7	69,8	69,9					
P1	86,6	86,1	82,2	82,3					
P2	83,5	82,4	76,1	76,2					
P7	84,3	83,3	77,1	77,2					
P9	82,7	81,8	76,7	76,8					
P10	83,2	82,1	75,8	76,0					
P6	87,8	87,1	82,7	82,8					