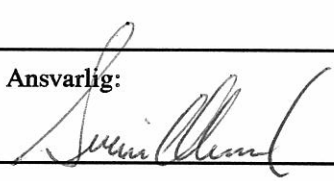


NGU Rapport 93.146

Struktur, mineralogi og kjemi
av kalkspat-marmor på Ytterøya,
Nord-Trøndelag

Rapport nr. 93.146		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Struktur, mineralogi og kjemi av kalkspat-marmor på Ytterøya, Nord-Trøndelag.					
Forfatter: Reidar G. Trønnes			Oppdragsgiver: NGU - Samordnet geologisk undersøkelses- program for N.-Trøndelag og Fosen		
Fylke: Nord-Trøndelag			Kommune: Levanger		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Trondheim			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Verran 1622-1		
Forekomstens navn og koordinater: Ytterøya			Sidetall: 19		Pris: 115,-
Feltarbeid utført: 1992 og 1993			Rapportdato: Desember 1993		Prosjektnr.: 67.2509.46
			Kartbilag:		
			Ansvarlig: 		
Sammendrag:					
<p>Overflatekartlegging av marmorsonen som krysser den sørlige delen av Ytterøya i den indre delen av Trondheimsfjorden viser at marmoren er plateformet med en mektighet på 30–60 m og et fall på 20–30° mot nordøst. Det er allerede tatt ut henholdsvis 1 mill. tonn og 0.4 mill. tonn i bruddene ved Sandstad og Lønvik. Ved videre brytning av marmor, enten i et av de nedlagte bruddene eller mot sørøst fra forkastningsskrenten ved Sandstad, vil det bli nødvendig å bryte betydelige mengder gråberg i tillegg.</p> <p>Marmoren inneholder for det meste 54–55.5 % CaO og har overveiende under 0.5 % MgO. Kalkspaten er derfor undermettet med Mg, og fri dolomitt finnes ikke. Marmoren har relativt høyt Fe- og Al-innhold. De viktigste silikatmineralene er kvarts og en lys glimmer med høyt innhold av Si, Fe og Mg og med et høyt Fe/Mg-forhold. Pyritt er også et viktig spormineral. Den fyllittiske grønnskiferen som omgir marmorkroppen inneholder også mye pyritt.</p> <p>Kombinasjonen begrenset mektighet, slakt fall, samt marginal og inhomogen kvalitet gjør forekomsten relativt lite attraktiv når det gjelder fremtidig drift. Beliggenheten av Sandstad-bruddet ca. 140 m.o.h. og med en meget bratt fjellside ned mot det tidligere utskipningsanlegget vil sette spesielle krav til transportløsningene.</p>					
Emneord: marmor					
kalkspat					
industrimineral				fagrapport	

INNLEDNING

Som et ledd i undersøkelsene av karbonat-forekomstene i Nord-Trøndelag, i regi av Samordnet geologisk undersøkelsesprogram for Nord-Trøndelag og Fosen, ble det bestemt å foreta en kartlegging og nærmere undersøkelse av sonen med kalkspatmarmor som krysser den sørvestlige delen av Ytterøya i Trondheimsfjorden. Denne marmorforekomsten er et eksempel på de relativt lavmetamorfe karbonatene som opptrer i bergarter innenfor Tromdheims-dekket (Köli-dekkenivå, se Fig. 1). Ytterøya-marmoren er en del av et mektig karbonatdrag som kan følges langs Helgådalen via Tromsdalen, Ravlo, Rinnleiret og Skånestangen (Borrsåsen) til Ytterøya. Det samme karbonatdraget har også en utløper via Hylla, Straumen og nordover på Inderøya.

Det finnes to marmorbrudd på Ytterøya (se Fig.1): et i den nordlige delen av Sandstadkammen (Sandstad-bruddet) og et mindre brudd ca. 10 km lenger øst ved fylkesveien (Lønvik-bruddet). Uttaket av marmor i de to bruddene er estimert til henholdsvis 1 mill. tonn og ca. 0.4 mill.tonn. Marmoren fra Sandstad-bruddet utgjorde råstoffet til produksjonen av kalsiumkarbid ved Meraker Smelteverk. Dagbruddsdriften ble imidlertid innstilt i 1970, 2 år etter at selskapet la ned produksjonen av kalsiumkarbid.

De geologiske kartene og profilene (Figurene 1 og 2) er i hovedsak basert på en kort rekognosering i Sandstad-bruddområdet, inkludert stollsystemet under bruddet, sommeren 1992, etterfulgt av to dagers overflatekartlegging på forstørret økonomisk kartverk (1:2500) sommeren 1993. Oppmålingen av avstander i stollsystemet ble kun foretatt ved utskritting. H. Barkey og H. Gautneb (NGU) var også på et kort rekognoseringsbesøk i 1992 og samlet inn prøvene merket 9234A—E. Høsten 1992 ble stollsystemet fysisk stengt og sikret etter pålegg fra Statens Bergvesen. Avgrensingen av marmorlegemet i området ved Sandstad-bruddet er i en viss utstrekning basert på gamle kart og profiler som finner i arkivet til Statens Bergvesen (utlånt etter tillatelse fra Direktør Anders Ulseth i Elkem). En sikrere og mer nøyaktig avgrensing ville vært mulig dersom også de gamle borhullsprofilene hadde vært tilgjengelige.

STRUKTUR, SIDEBERGART OG METAMORF UTVIKLING

Den 0.5–1.5 km brede marmorsonen som krysser den sørlige delen av Ytterøya i VNV–ØSØ-lig retning er overflateskjæringen til et lite deformert linse- eller plateformet marmorlegeme (Fig. 1). Platen har et fall på 20–30° mot NNØ, og mektigheten varierer mellom 20 og 60 m, og er for det meste 30–50 m. Like nordvest for Sandstad-bruddet ser legemet ut til å kile fullstendig ut. Umiddelbart sørøst for Sandstad-bruddet er platen skåret av en høyre-lateral (dextral) nordøst-gående forkastning. Horisontalkomponenten til forkastningen er 1–2 km.

Sidebergartene til marmorplaten er fyllittiske grønnskifre, både i heng og i ligg. Mineralselskapet i disse grønnskifrene er hovedsakelig kloritt, epidot, albitt og kalkspat, med

vaierende mengder biotitt, aktinolit, titanitt-rutil-aggregater, svovelkis og Fe-Ti-oksyder. En 0.8–0.9 m mektig lamprofyr-gang skjærer marmorsonen i den sørøstlige utkanten av Sandstad-bruddet. Gangen er omtrent parallell med den store forkastningen og faller 70° mot sørøst Carstens (1961). Mitchell & Roberts (1986) forsøkte å aldersdatere (Ar-Ar-metoden) flogopitt-krystallene i gangen og fikk en usikker devonsk alder.

MARMORENS MINERALOGI, MINERAL- OG BERGARTSKJEMI

Prøvetaking og -behandling

Marmorsonen tvers over Ytterøya ble prøvetatt med 0.3–3 km prøveavstand fra Sandstad til Lønvik (Fig. 1). I bruddområdene er prøvetakingen atskillig tettere, med 8–9 prøver i hvert av bruddene. Det ble foretatt hovedelementanalyser på tilsammen 21 punktprøver og 2 samleprøver (ca. 10 punktprøver i hver) fra nordvestveggene i henholdsvis det øvre (9234A) og det nedre Sandstad-bruddet. De øvrige punktprøvene inneholdt 2–5 håndstykker som ble grovknust, homogenisert, splittet og finmalt til analyse-pulver i en agat-foret møllebeholder. Forvitret materiale, vegetasjon og jordrester ble omhyggelig fjernet (ved saging) fra prøvestykkene før grovknusingen.

Mineralogi

Marmoren er granulær og allotriomorf, men teksturen og kornstørrelsen varierer betydelig over avstander helt ned i cm- eller dm-skala. Bimodal kornstørrelsesfordeling er vanlig med kalkspatkorn på 0.5–0.8 mm omgitt av en grunnmassekalkspat med kornstørrelse på 0.05–0.08 mm. I enkelte partier er kalkspatmarmoren fin- og jevnkornet med kornstørrelse på 0.02–0.03 mm. Slike partier kan være enten isotrope eller finlaminerte. Teksturen av marmoren er i mange partier karakterisert av en plastisk deformasjon og flytning. Bøyde tvillinglameller i kalkspaten er meget utbredt. De finkornete partiene av marmoren representerer oftest de mest holdfaste bergartene.

Kalkspat er nesten enerådende som karbonatmineral. Dolomitt er ikke observert hverken som frie korn eller som avblandingsdråper i kalkspat, men enkelte kornaggregater med ankerittisk og siderittisk karbonat opptrer. Muskovitt (lys glimmer) og kvarts er de dominerende silikatmineralene, mens kloritt opptrer i mindre mengder i de mest urene karbonatpartiene, f.eks. prøve Y-93-26 (Fig. 4). Enkelte spredte korn av albitt og kvarts er også observert. Titanitt, ofte med ørsmå avblandingskorn av rutil, er et meget utbredt spormineral, men opptrer i betydelig mindre mengder enn pyritt. Apatitt opptrer også som spormineral. Enkelte finkornete sammenvoksninger av rutil, pyritt og kalkspat og av siderittisk og ankerittisk karbonat (Tabell 1) er observert i noen av de mest urene karbonatprøvene (se Fig. 4D).

Mineralkjemi

Tabell 1 gir representative mineralanalyser sammen med analytiske spesifikasjoner. Mineralene i Ytterøya-marmoren er karakterisert ved langt høyere Fe/Mg-forhold enn mineralene i andre marmor i Nord-Trøndelag (Trønnes, 1993; og upubliserte analyser). Kalkspaten på Ytterøya inneholder opp til 1 vekt% FeO, mens kalkspaten både i den høymetamorfe Geitfjellet–Bukkafjellet-marmoren og i Huddingsvatn-marmoren inneholder under 0.05 % FeO. Kloritten i marmoren på Ytterøya har FeO-innhold på 15–16 % sammenlignet med FeO-innhold under 1 % i Geitfjellet–Bukkafjellet- og Huddingsvatn-marmoren. Den lyse glimmeren (muskovitten) i Ytterøya-marmoren har også relativt høyt Fe-innhold i form av betydelige phengittiske og trioktaedriske komponenter (Tabell 1).

Kalkspaten inneholder opp til 1 % MgO, og dette er i samsvar med den omtrentlige MgO-løseligheten som ble estimert for kalkspaten fra Geitfjellet–Bukkafjellet-marmoren og Huddingsvatn-marmoren (Trønnes, 1993; og upubliserte analyser). Fordi MgO-innholdet i marmorene på Ytterøya ligger langt under 1 % (bortsett fra den ekstremt urene karbonatprøven Y-93-26, se Tabell 2a) er kalkspaten ikke mettet med MgO, og fri dolomitt er derfor ikke tilstede.

Bergartskjemi

Hovedelement-sammensetningen i 23 marmorprøver ble målt ved røntgenfluorescensspektrometri. Analysedataene samt en kort beskrivelse av analytisk prosedyre er presentert i Tabell 2a. Tabell 2b viser at den instrumentelle presisjonen er meget god (bedre enn 5 % av oksydinnholdet, selv på et 0.1 vekt%-nivå). Nøyaktigheten er bedre enn 4 % for oksyden som har innhold over ca. 0.2 vekt%, men synker merkbart når oksydinnholdet går under dette nivået.

De viktigste kjemiske parametrene er vist som en funksjon av omtrentlig geografisk posisjon langs et V–Ø-profil (lengdeaksen til marmorsonen tvers over Ytterøya) i Figurene 5 og 6. 19 av 23 prøver har CaO-innhold over 54 %, og 7 av disse har CaO-innhold over 55 %. MgO-innholdet er under 0.5 % i 20 av de 23 prøvene, mens summen av alle oksydene utenom MgO og CaO er mellom 1–2 % i halvparten av prøvene og over 2 % i 6 prøver. Det lave MgO-innholdet og det betydelig høyere innholdet av SiO₂ og Al₂O₃ (Fig. 6) bidrar til den relativt enkle silikatmineralogien dominert av kvarts og muskovitt.

Et karakteristisk trekk ved Ytterøya-marmoren er det høye Fe/Mg-forholdet, både i silikatmineralene og i samfengt bergart. Det atomære Fe/Mg-forholdet overstiger 0.5 i 78 % av marmorprøvene fra Ytterøya som alle har under 2 % MgO. I de øvrige marmorprøvene i tilgjengelig datasamling fra Nord-Trøndelag (Trønnes, 1993 og upubliserte data; ytterligere 81 prøver) overstiger Fe/Mg-forholdet 0.5 i bare 9 % (6 prøver) av de prøvene som har MgO under

2 % (68 prøver). Petrokjemiske data fra de fyllittiske grønnskifrene som omgir marmorsonen på Ytterøya er ikke tilgjengelig, men disse bergartene har stedvis påfallende høye innhold av pyritt og Fe-oksyder.

Det ser ikke ut til å være bestemte regionale gradientmønstre i kjemien av marmorsonen på Ytterøya, men inntrykket fra feltobservasjonene er at variasjonen i innblanding av silikatmineraler er noe større i Lønvik-bruddet enn i Sandstad-bruddet.

Syreløselig CaO og MgO, sporelementer og hvithet

Fem av prøvene fra Sandstad-bruddet ble undersøkt m.h.t. syreløselig CaO og MgO, sporelementer og lys-reflektivitet ved NGU (Tabellene 3 og 4). To av disse prøvene samt enda en prøve fra Sandstad-bruddet ble også analysert i et eksternt laboratorium (syreløselig CaO, MgO og Fe₂O₃, kornfordeling og lys-reflektivitet). Antagelsen om at CaO- og MgO-analysene ved NGU har relativt stor usikkerhet (Trønnes, 1993) ser ut til å være bekreftet av de høye CaO- og spesielt MgO-verdiene som er målt. Disse verdiene er tildels høyere enn tilsvarende røntgenfluorescens-verdier. Sporelement-innholdene er som ventet svært lave, og hele 22 av de målte elementene (31) er tilstede i konsentrasjoner som ligger under deteksjonsgrensene (se Tabell 3).

Reflektivitets-verdiene for filtrerene FMX (rød), FMY (grønn), FMZ (blå), R457, og R570 er vist i Tabell 4. Korrelasjon mellom reflektiviteten og CaO-innholdet av marmoren er ikke så tydelig som for den høymetamorfe Geitfjellet-Bukkafjellet-forekomsten (Trønnes, 1993). Det er heller ingen utpreget negativ korrelasjon mellom hvitheten og Fe-innholdet (Tabell 4). Dette kan tyde på at andre faktorer, f.eks. innholdet av organisk materiale og grafitt er avgjørende for hvitheten.

VURDERING AV TONNASJE OG ØKONOMISK POTENSIALE

Marmor-forekomsten på Ytterøya har en relativt gunstig beliggenhet nær Trondheimsfjorden, selv om høydeforskjellen og den bratte fjellsiden mellom Sandstad-bruddet og fjorden er klart negative faktorer. Uttaket av marmor i Sandstad-bruddet foregikk inntil 1970. Malmtransporten foregikk med jernbanevogner gjennom stollen under det nedre bruddet ut til siloer på ca.100 m.o.h.-nivået i den bratte nordvestvendte fjellsida (Fig. 1 og 2). Transporten ned til havneanlegget foregikk med en meget bratt taubane.

Marmorkroppens mektighet, for det meste bare 30–50 m, og dens moderate helning (30–20°) vil begrense en eventuell drift i ganske stor grad. Mesteparten av det som har vært lett tilgjengelig i den nordlige delen av Sandstadkammen er allerede tatt ut (ca. 1 mill. tonn). Ved å utvide det nedre bruddet minst 50 m mot nordvest og minst 50 m mot nordøst, samtidig som bunn-nivået

senkes fra 142 til 125 m.o.h. i det utvidete bruddet mellom profilene AA' og CC' (Fig. 1), vil en kunne utvinne ytterligere 1 mill. tonn. En slik fremgangsmåte vil imidlertid kreve en betydelig gråbergsbrytning, og det er usikkert om malmverdien kan gjøre dette økonomisk mulig. Beregningen av denne malmtonnasjen over nivå 125 m.o.h. mellom profilene AA' og CC' er sterkt avhengig av at den geometrien av stollsystemet med skråsjakten (B) som er skissert i Fig. 3 er korrekt. Observasjonen av en kontinuerlig marmorsoner langs hele skråsjakten med kun en tynn skifersone nær overflaten tyder på at marmorsonen har meget liten gråbergscoverdekning i det aktuelle området. Siden dette er en enkeltstående observasjon, vil det imidlertid være av stor betydning å dokumentere marmorkroppens detaljerte geometri ved hjelp av flere borhull fra overflaten ned til ca 125 m.o.h.

Et alternativt angrepspunkt på marmorforekomsten ville være mot sørøst på forkastningsskrenten ved Sandstadkammen. 50–250 m sørøstover fra forkastningsskrenten ser mektigheten ut til å være ca. 50 m, med et fall på 30–35°. Et tredje mulig angrepspunkt ville være i Lønvik-bruddet. Mektigheten er her minst 25 m, men fallet av marmorkroppen er bare 15–22°. Dette vil gjøre det vanskelig å unngå betydelig gråbergsbrytning.

Den mineralogiske og kjemiske sammensetningen av marmorsonen på Ytterøya tilfredsstiller ikke de strengeste kravene til renhet og hvithet med hensyn til fyllstoffmateriale. Det høye innholdet av Fe er sansynligvis en uheldig faktor ved vurdering av utnyttelsesmulighetene. Fe opptrer dels i kalkspat (opp til 1 % FeO), dels i lys glimmer og kloritt, og til en stor grad i finfordelt pyritt. Ved mikronisering vil pyritten redusere hvitheten betydelig.

Marmoren på Ytterøya virker relativt holdfast og mekanisk sterk, selv om betydelige variasjoner er observert. Den tidligere utnyttelsen av bergarten som råstoff til kalsiumkarbid kan tyde på at også den termiske stabiliteten er så god at marmoren vil oppføre seg tilfredsstillende i metallurgiske ovner.

Ytterøya-forekomsten ligger innenfor det samme stratigrafiske hovednivået som marmorforekomstene i Tromsdalen, Verdal. Selv om hvitheten av marmoren fra Ytterøya overstiger hvitheten hos Tromsdalsmarmoren (Øvereng & Gautneb, 1990) vil de to forekomstene i stor grad representere konkurrerende råstoffer innenfor de samme markedsområdene. Fordi forekomsten på Ytterøya er mindre homogen og har betydelig mindre mektighet enn forekomsten i Tromsdalsområdet er det tvilsomt om den vil være konkurransedyktig. Den ekstreme topografien mellom Sandstad-bruddet og det tidligere utskipningsanlegget vil sette spesielle krav til transportløsningene ved en eventuell gjenopptaking av driften.

ETTERORD

Undersøkelsen ble finansiert av NGU's Samordnede geologiske undersøkelsesprogram for Nord-Trøndelag og Fosen, og programlederen, H. Hugdahl, søget for utmerket administrativ støtte. H. Barkey og H. Gautneb samlet inn prøvene 9234 A–E, og jeg vil takke dem for råd og diskusjon om de geologiske og industrimineralogiske forholdene. A. Ulseth i Elkem, Oslo ga tillatelse til bruk av Bergvesenets arkivmateriale om Sandstad-forekomsten, og Ø. Hernes, Elkem Meraker bidro med informasjon om driftsperiode og uttatt tonnasje.

LITTERATURREFERANSER

- Carstens, H. 1961: A post-Caledonian ultrabasic biotite lamprophyre dyke of the island Ytterøy in the Trondheimsfjord, Norway. *Norges geol. unders. Årb.* 1961, 10–21.
- Dallmeyer, R.D., Johansson, L., & Möller, C. 1992: Chronology of Caledonian high-pressure metamorphism, uplift and deformation within the northern part of the Western Gneiss Region, Norway. *Geol. Soc. Am. Bull.* 104, 444–455.
- Gee, D.G., Kumpulainen, R., Roberts, D., Stephens, M.B., Thon A. & Zachrisson, E. 1985: Scandinavian Caledonides, Tectonostratigraphic map. In: *Gee, D.G., and Sturt, B.A. (eds.) The Caledonide orogen – Scandinavia and related areas.* John Wiley & Sons Ltd.
- Mitchell, J.G. & Roberts, D. 1986: Ages of lamprophyre dykes from Ytterøy and Lerkehaug, near Steinkjer, Central Norwegian Caledonides. *Norsk Geol. Tidsskr.* 66, 255–261.
- Roberts, D. 1989: Tectonostratigraphy within the area of 1:250 000 map-sheet 'Grong', Nord-Trøndelag, Central Norway. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 111, 404–407.
- Sollie, A.. 1989: Geology within the area of 1:250 000 map-sheet Namsos, Central Norway. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 111, 410–412.
- Trønnes, R. G. 1993: Structure, mineralogy, chemistry and economic potential of calcitic marble in the Geitfjellet-Bukkafjellet area, Nord-Trøndelag. *Norges geol. unders. Rapp.* 93.043.
- Øvereng, O. & Gautneb, H. 1990: Tromsdalen kalksteinsfelt, råstoffutnyttelse. *Norges geol. unders. Rapp.* 90.090.

Tabell 1. Representative mineralsammensetninger

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Sum	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Mg+Fe	Ca	Na+K
Karbonat:														
93-14 <i>c</i>	—	—	0.23	0.56	55.3	0.02	—	56.11	—	—	—	0.034	1.965	0.001
93-22 <i>c</i>	—	—	0.13	0.31	55.6	0.01	—	56.05	—	—	—	0.019	1.981	0.001
93-26 <i>c</i>	—	—	0.98	0.96	54.4	0.02	—	56.36	—	—	—	0.074	1.925	0.001
93-26 <i>a</i>	—	—	8.06	16.4	30.7	—	—	55.16	—	—	—	0.973	1.026	—
93-26 <i>a</i>	—	—	10.7	14.8	29.7	—	—	55.20	—	—	—	0.987	1.013	—
93-26 <i>s</i>	—	—	52.3	6.54	2.72	—	—	61.65	—	—	—	1.897	0.103	—
93-27 <i>c</i>	—	—	0.11	0.21	55.8	0.01	—	56.13	—	—	—	0.013	1.986	0.001
Muskovitt:														
93-14	48.3	32.3	0.68	2.65	0.18	0.36	10.9	95.37	6.412	1.588	3.466	0.599	0.026	1.939
93-20	47.7	34.4	0.31	1.60	0.31	0.75	10.6	95.67	6.296	1.704	3.647	0.349	0.044	1.977
93-26	48.8	31.4	1.06	2.52	0.13	0.73	10.5	95.14	6.495	1.505	3.420	0.618	0.019	1.971
93-27	46.4	36.8	0.24	0.55	0.32	1.21	10.0	95.52	6.121	1.879	3.842	0.134	0.045	1.992
Kloritt:														
93-26	27.7	21.7	15.5	22.5	0.21	—	0.02	87.63	5.520	2.480	2.617	9.266	0.045	0.005

Oksyder er i vektprosent. Kationproporsjonene er normalisert til en totalladning på 4, 44 and 56 for henholdsvis karbonat, muskovitt, and kloritt. Karbonatforkortelsene *c*, *a* og *s* er henholdsvis for kalkspat, ankeritt og sideritt.

Mineralene ble analysert med en Jeol 733X Superprobe med 4 bølglengde-diskriminerende spektrometre, 15 kV akselerasjonsspenning, 15 nA strøm og 10 sek. talletid. Rådataene ble korrigert med et Jeol ZAF-korreksjonsprogram og standardisering ble foretatt med naturlige mineralstandarder (wollastonitt for Si og Ca, olivin for Mg og Fe, kyanitt for Al, albitt for Na og ortoklas for K). De rapporterte sammensetningene representerer gjennomsnittet av 3-8 punktanalyser. Den gjennomsnittlige presisjonen (1σ) er bedre enn 1, 3, og 8 % for oksyder som er tilstede i mengder på henholdsvis 30-60 vekt%, 5-30 vekt%, og mindre enn 5 %. Gjentatte analyser av standarder viser at nøyaktigheten svarer omtrent til presisjonen.

Tabell 2a. Sammensetning av analyserte marmorprøver

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Y-7	0.80	0.049	0.46	0.33	0.020	0.28	54.18	ud	0.112	0.12
Y-4	0.92	0.033	0.51	0.24	0.010	0.28	54.10	ud	0.129	0.11
9234A	0.50	0.020	0.25	0.15	0.010	0.26	54.83	ud	0.088	nd
9234B	2.53	0.081	1.18	0.34	0.018	0.33	52.85	0.19	0.319	0.01
9234C	0.36	0.014	0.18	0.19	0.011	0.24	55.11	0.14	0.055	nd
9234D	0.45	0.015	0.23	0.23	0.011	0.23	54.93	nd	0.066	nd
9234E	0.97	0.032	0.42	0.21	0.011	0.25	54.42	0.19	0.120	nd
Y-93-14	1.30	0.069	0.68	0.31	0.008	0.44	54.02	0.12	0.167	0.10
Y-93-12	0.38	0.024	0.25	0.10	0.006	0.26	55.20	ud	0.099	0.11
Y-93-5	0.40	0.025	0.27	0.15	0.008	0.3	55.25	ud	0.105	0.11
Y-93-9	1.75	0.079	1.01	0.24	0.010	0.55	53.61	0.11	0.182	0.12
Y-93-8	0.79	0.059	0.51	0.32	0.008	0.47	54.60	ud	0.120	0.11
Y-93-20	0.81	0.046	0.34	0.17	0.012	0.37	54.59	ud	0.192	0.11
Y-93-19	0.95	0.064	0.57	0.35	0.007	0.47	54.47	ud	0.510	0.11
Y-93-18	0.60	0.034	0.22	0.16	0.008	0.37	54.91	ud	0.118	0.11
Y-93-17	1.78	0.071	0.80	0.38	0.013	0.44	53.51	ud	0.397	0.12
Y-93-27	ud	0.004	0.04	0.14	0.011	0.15	55.61	ud	0.015	0.10
Y-93-26	6.78	0.378	2.60	1.87	0.027	1.14	47.66	0.45	0.497	0.12
Y-93-25	0.73	0.030	0.38	0.17	0.009	0.21	54.90	ud	0.062	0.10
Y-93-24	0.15	0.013	0.07	0.15	0.009	0.61	54.96	ud	0.036	0.10
Y-93-23	0.56	0.023	0.31	0.10	0.008	0.28	55.08	0.11	0.084	0.11
Y-93-22	0.29	0.011	0.17	0.07	0.008	0.22	55.27	ud	0.085	0.11
Y-93-21	0.19	0.012	0.14	0.09	0.008	0.19	55.57	ud	0.060	0.11

Oksyder i vektprosent; *ud*, under deteksjonsgrensen, som er 0.01 % for SiO₂, Na₂O og P₂O₅.

Målinger ble foretatt med et Phillips PW1480 røntgenfluorescens-spektrometer på glassbrikker fremstilt ved smelting av prøve og Li₂B₄O₇ i forholdet 1:7 (analyse ved B. Nilsen, NGU). Tabell 2b illustrerer den analytiske presisjonen og nøyaktigheten.

Tabell 2b. Instrumentell nøyaktighet og presisjon av hovedelementanalysene illustrert ved 6 gjentatte analyser av to syntetiske standarder

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
KST-22	<i>akseptert:</i>	0.672	0.0065	0.151	0.043	0.0004	0.010	55.49	0.028	0.0550	0.0028
	1	0.71	<0.01	0.20	0.08	<0.01	0.01	55.57	<0.01	0.05	0.15
	2	0.72	<0.01	0.21	0.08	<0.01	0.04	55.55	<0.01	0.05	0.14
	3	0.72	<0.01	0.20	0.08	<0.01	0.02	55.51	<0.01	0.05	0.15
	4	0.73	<0.01	0.20	0.08	<0.01	0.03	55.51	<0.01	0.05	0.15
	5	0.71	<0.01	0.21	0.08	<0.01	0.03	55.54	<0.01	0.05	0.15
	6	0.71	0.01	0.22	0.08	<0.01	<0.01	55.53	<0.01	0.05	0.15
KST-29	<i>akseptert:</i>	30.03	0.0700	6.020	3.155	0.1600	1.345	31.99	2.155	2.220	0.2150
	1	29.64	0.08	6.11	3.22	0.15	1.30	31.83	2.16	2.15	0.23
	2	29.69	0.08	6.09	3.23	0.15	1.30	31.84	2.16	2.15	0.23
	3	29.54	0.07	6.13	3.23	0.15	1.27	31.81	2.21	2.15	0.24
	4	29.61	0.08	6.06	3.23	0.15	1.28	31.88	2.11	2.15	0.23
	5	29.62	0.07	6.12	3.23	0.15	1.29	31.86	2.15	2.16	0.23
	6	29.53	0.08	6.11	3.23	0.15	1.31	31.83	2.18	2.15	0.24

Tabell 3. CaO, MgO og Fe₂O₃ (syreløselig, vekt %) samt sporelementer (vekt ppm)

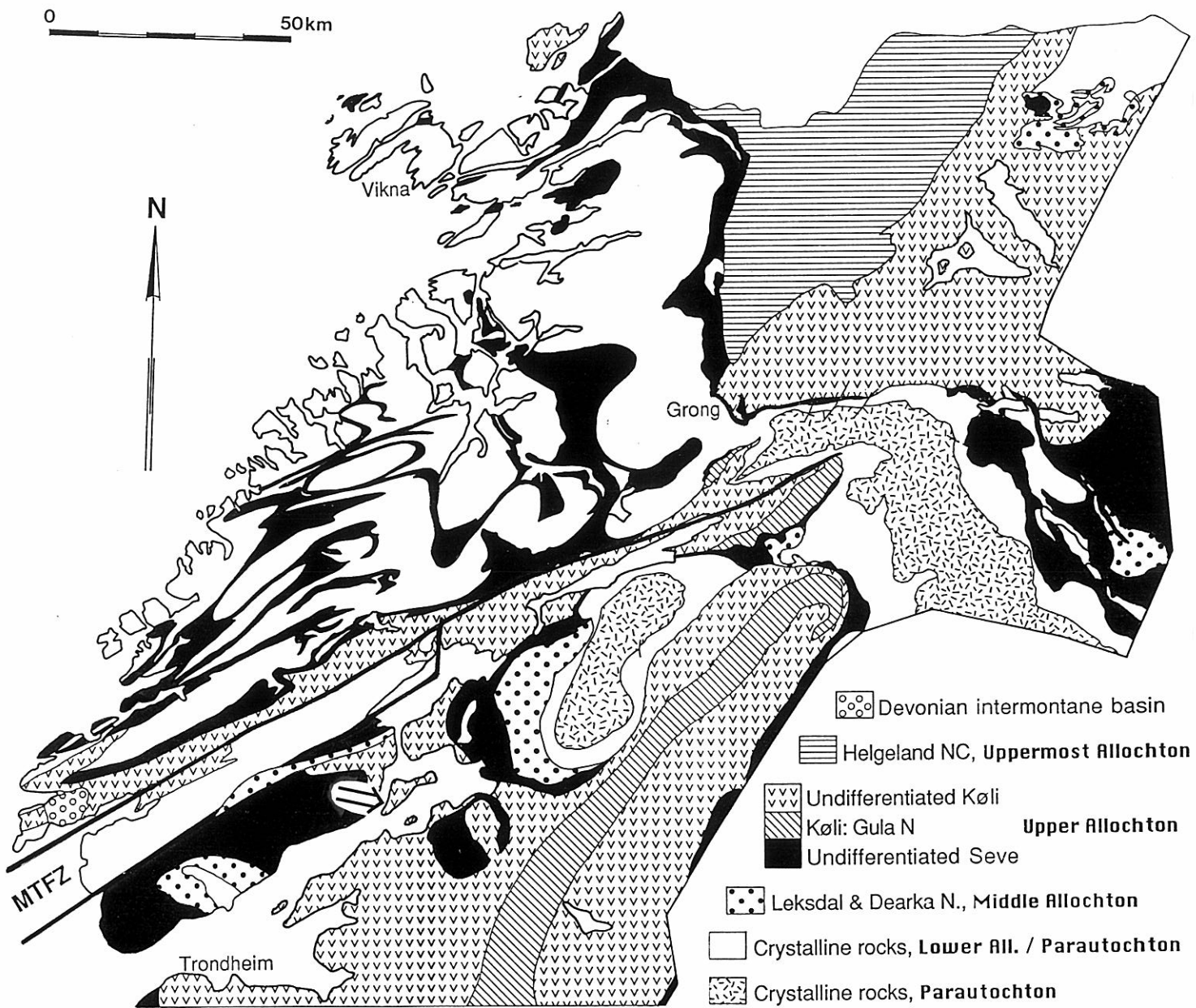
Prøve	NGU		Eksternt laboratorium			NGU								
	CaO	MgO	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	F	V	Ni	Zn	As	Rb	Sr	Ba	Zr
9234A	54.8	0.60	54.7	0.22	0.17	2600	14	5	8	10	8	159	18	11
9234B	52.7	0.54	—	—	—	2800	24	9	8	13	10	188	17	19
9234C	55.3	0.56	—	—	—	2400	14	5	7	10	6	196	14	10
9234D	54.9	0.53	—	—	—	2400	17	5	7	10	6	190	15	9
9234E	54.4	0.81	54.6	0.22	0.25	2600	11	5	7	10	7	220	14	9
Y-8	—	—	55.5	0.23	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Bestemmelser av syreløselige oksyder (fortynnet HCl) ble foretatt både ved NGU (5 prøver) og ved et eksternt laboratorium (3 prøver). Ved NGU ble CaO og MgO målt ved titrering med EDTA etter at prøvepulveret ble oppløst i fortynnet HCl (1:4) under oppvarming (analytiker ved NGU: J. Røste), og tilsvarende metode ble benyttet ved det eksterne laboratoriet. Sporelementinnholdet ble målt ved NGU med et Phillips PW1480 røngnenfluorescensspektrometer på pressete piller av 5.4 g prøve + 1.2 g Hoechst C voks (analytiker: B. Nilsen). Disse elementene ble målt, men var ikke tilstede i konsentrasjoner over deteksjonsgrensene (i ppm) i noen av prøvene: S og Cl (<1000); W (<30); Sc, Co, Ga, Ag, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Nd, Yb, Pb, Th og U (<10); Cr, Cu, Y, Mo, Nb (<5).

Tabell 4. Kornfordeling og reflektivitet sammenholdt med CaO-innhold

	Eksternt laboratorium				NGU				CaO	Fe ₂ O ₃
	+10µm	-2µm	R570	R457	FMX	FMY	FMZ	R457		
9234A	28.0	40.0	93.8	90.9	94.4	93.9	90.6	90.6	54.83	0.15
9234B	—	—	—	—	86.0	85.6	82.6	82.7	52.85	0.34
9234C	—	—	—	—	93.6	93.1	90.4	90.5	55.11	0.19
9234D	—	—	—	—	93.5	93.2	90.9	91.0	54.93	0.23
9234E	53.4	22.3	92.6	89.7	94.0	93.3	90.0	90.0	54.42	0.42
Y-8	41.5	27.9	90.9	89.9	—	—	—	—	—	—

Kornfordeling for pulveret som ble brukt til reflektivitetsmålingene er i form av vekt% materiale over 10 µm (ekvivalent sfærisk diameter) og vekt % materiale under 2 µm. Ved NGU: Kornfordelingen ble ikke målt men er trolig ekvivalent med kornfordelingen rapportert av Trønnes (1993). Lys-reflektivitet ble målt med et Zeiss Elrepho Mat DFC5 og en BaSO₄-standard (DIN 5033). R570, R457: reflektivitet av monokromatisk lys med λ = 570, 457 nm; FMX, FMY, FMZ: reflektivitet av lys over bestemte bølgelengde-bredder sentrert rundt h.h.v. 600 nm (rød), 550 nm (grønn) og 450 nm (blå). CaO- og Fe₂O₃-verdiene er tatt fra Tabell 2a (XRF). Analytiker ved NGU: J. Røste.



Figur 1. Tektonostratigrafisk kart over Nord-Trøndelag og Fosen sammenstilt på grunnlag av Gee et al. (1985), Roberts (1989), Sollie (1989) og Dallmeyer et al. (1992). MTFZ: Møre-Trøndelag forkastningssone; N: skyvedekke, NC: dekkekompleks. Den omtrentlige beliggenheten til marmorsonen over den sørlige delen av Ytterøya er vist ved en pil.

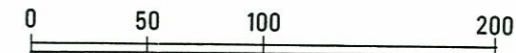
Figur 2. Geologisk kart og profiler som viser forløpet til marmorsonen på Ytterøya. Bergartenes strøk og fall (360° sirkel) samt prøvelokalitetene (sirkel rundt prøvenummer) er angitt på kartet. Prøvelokalitetene Y-4 og Y-7 er kun vist på Fig. 3. Enkle numeriske prøvenumre refererer til prøveserien Y-93- . Prøvene 9234B, 9234C og 9234D er forkortet B, C, og D på kartet. Legg merke til at prøvene 9234A og 9234B er samleprøver fra de nedre delene av nordvestveggene i henholdsvis det øvre og det nedre bruddet ved Sandstadkammen.

Ytterøya marmorsone

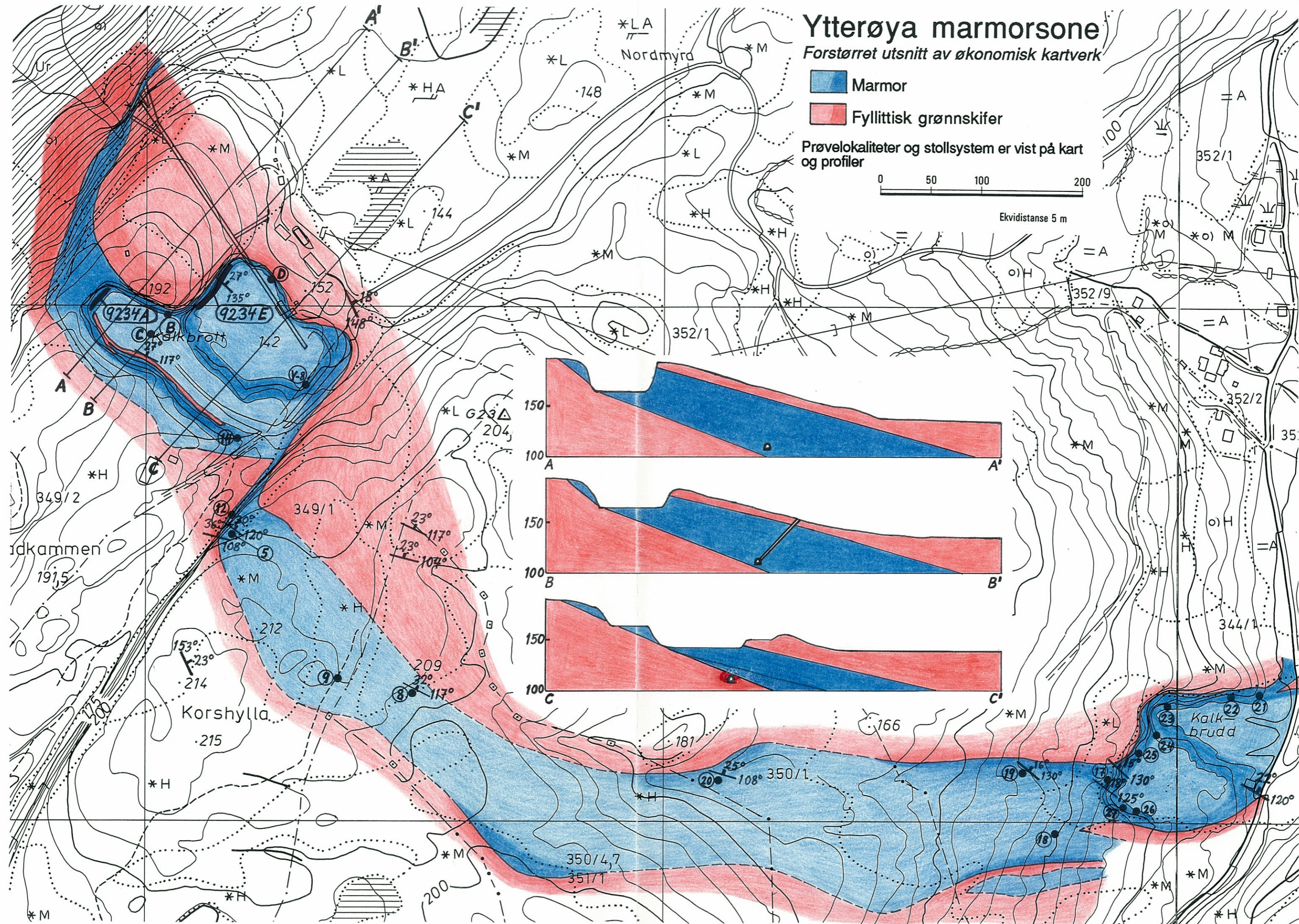
Forstørret utsnitt av økonomisk kartverk

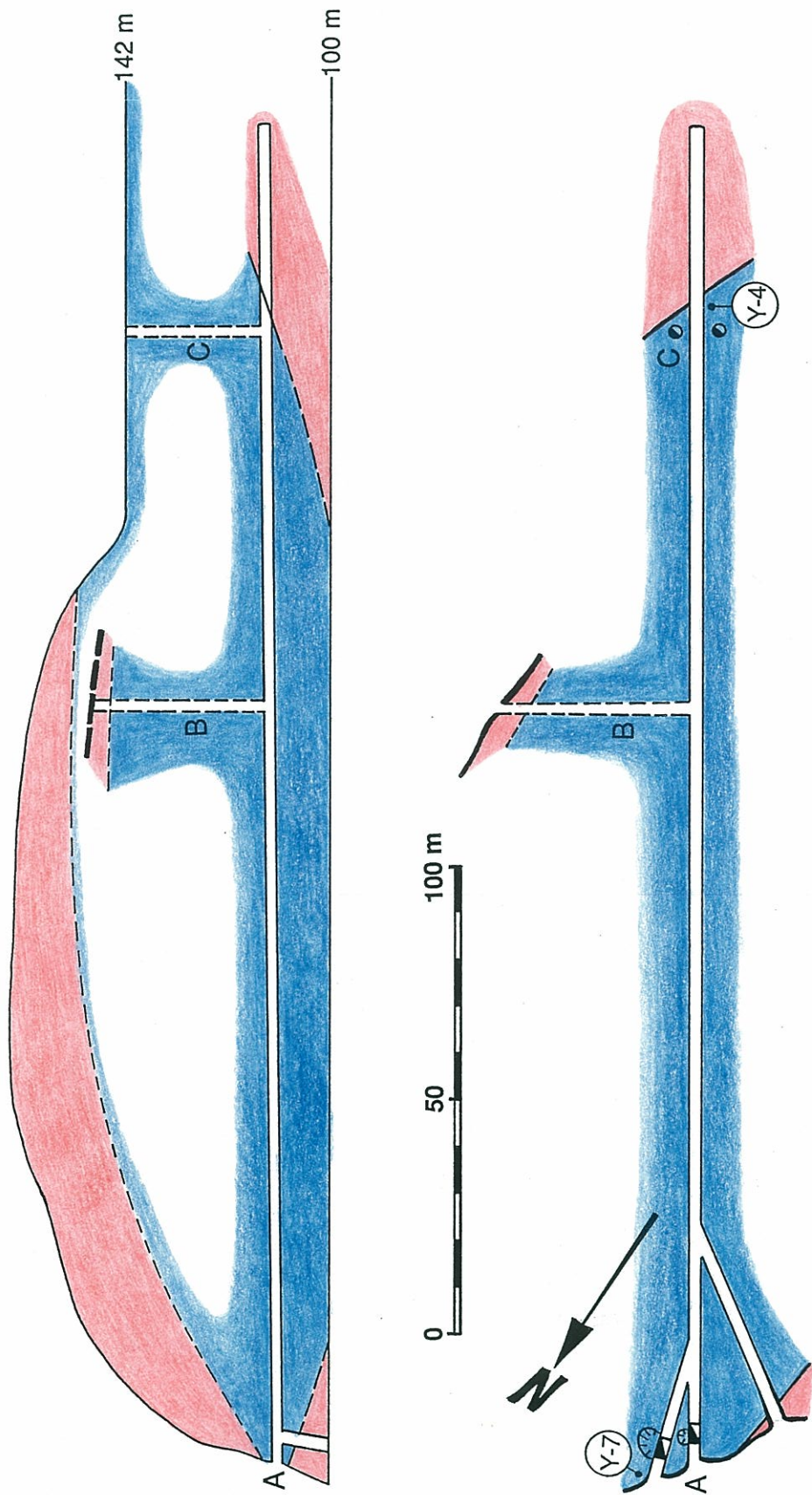
-  Marmor
-  Fyllittisk grønskifer

Prøvelokaliteter og stollsystem er vist på kart og profiler

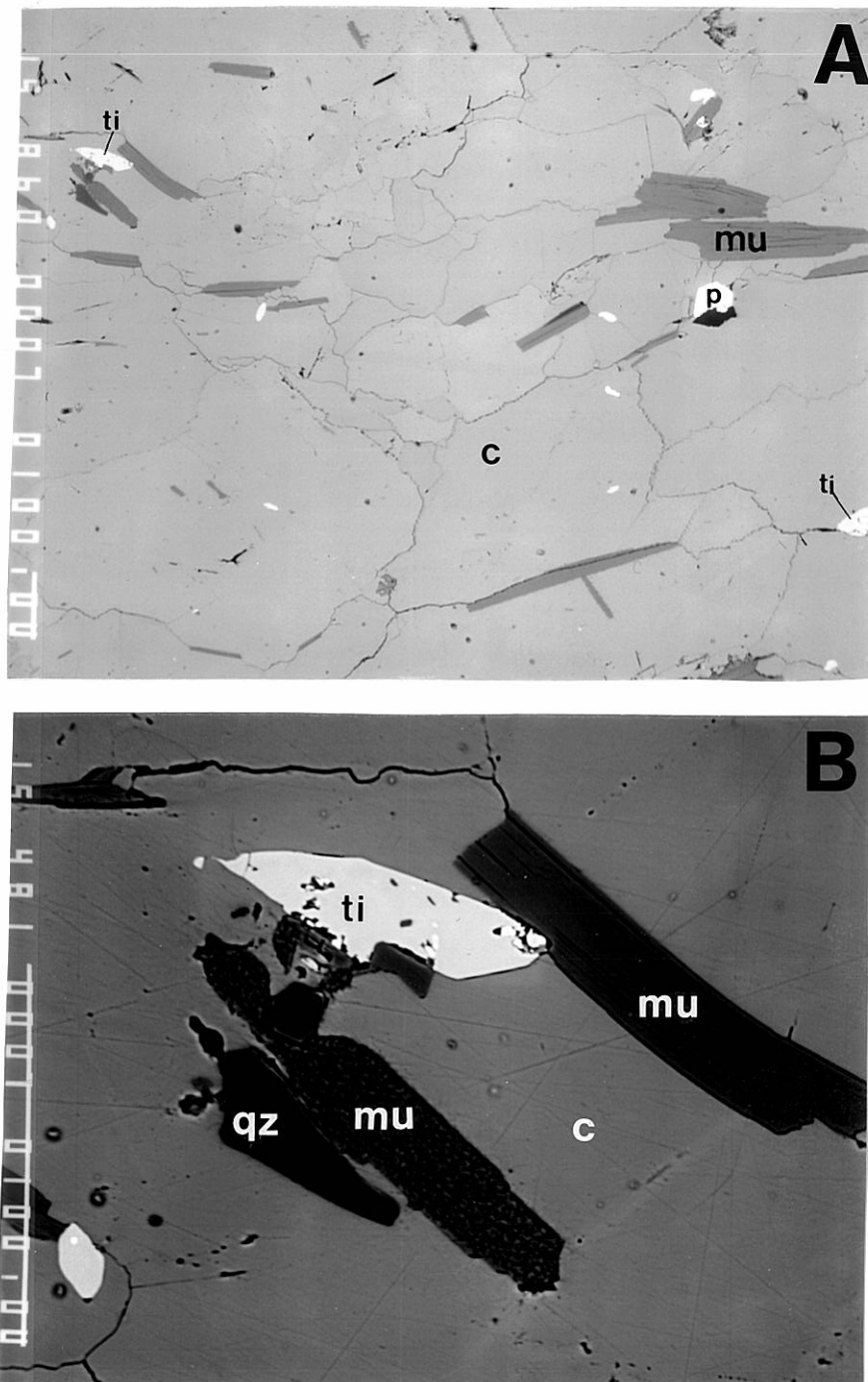


Ekvidistanse 5 m

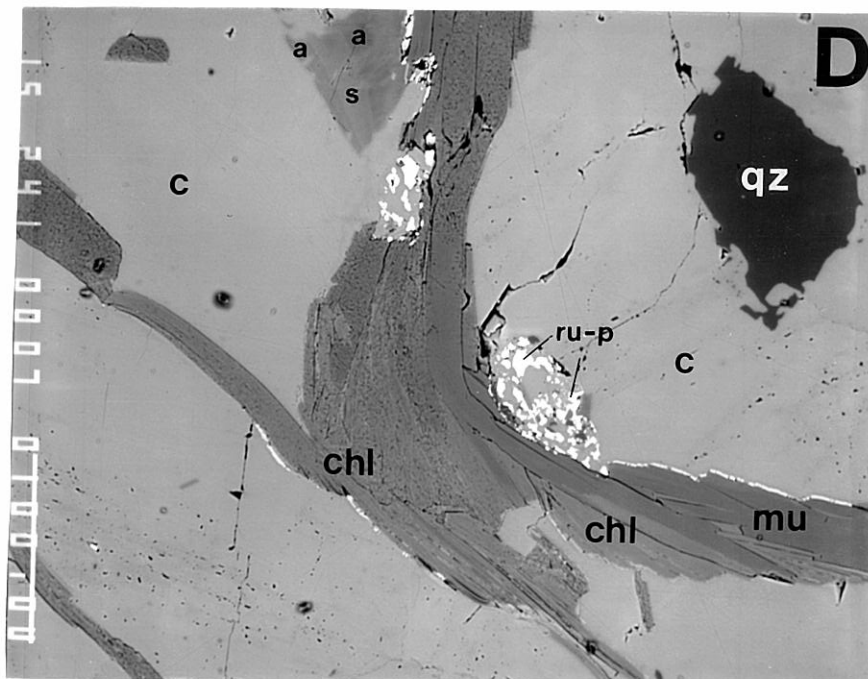
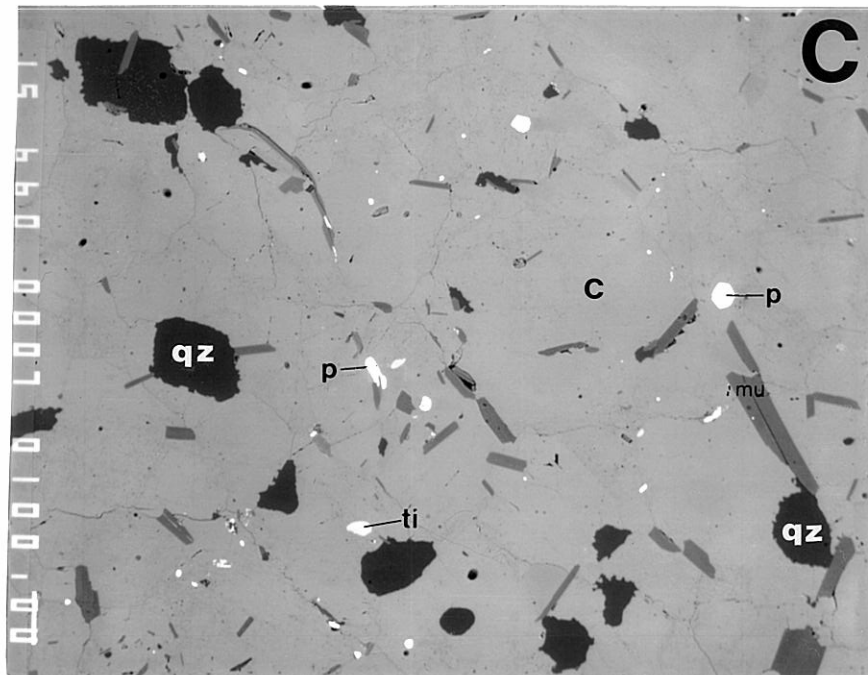




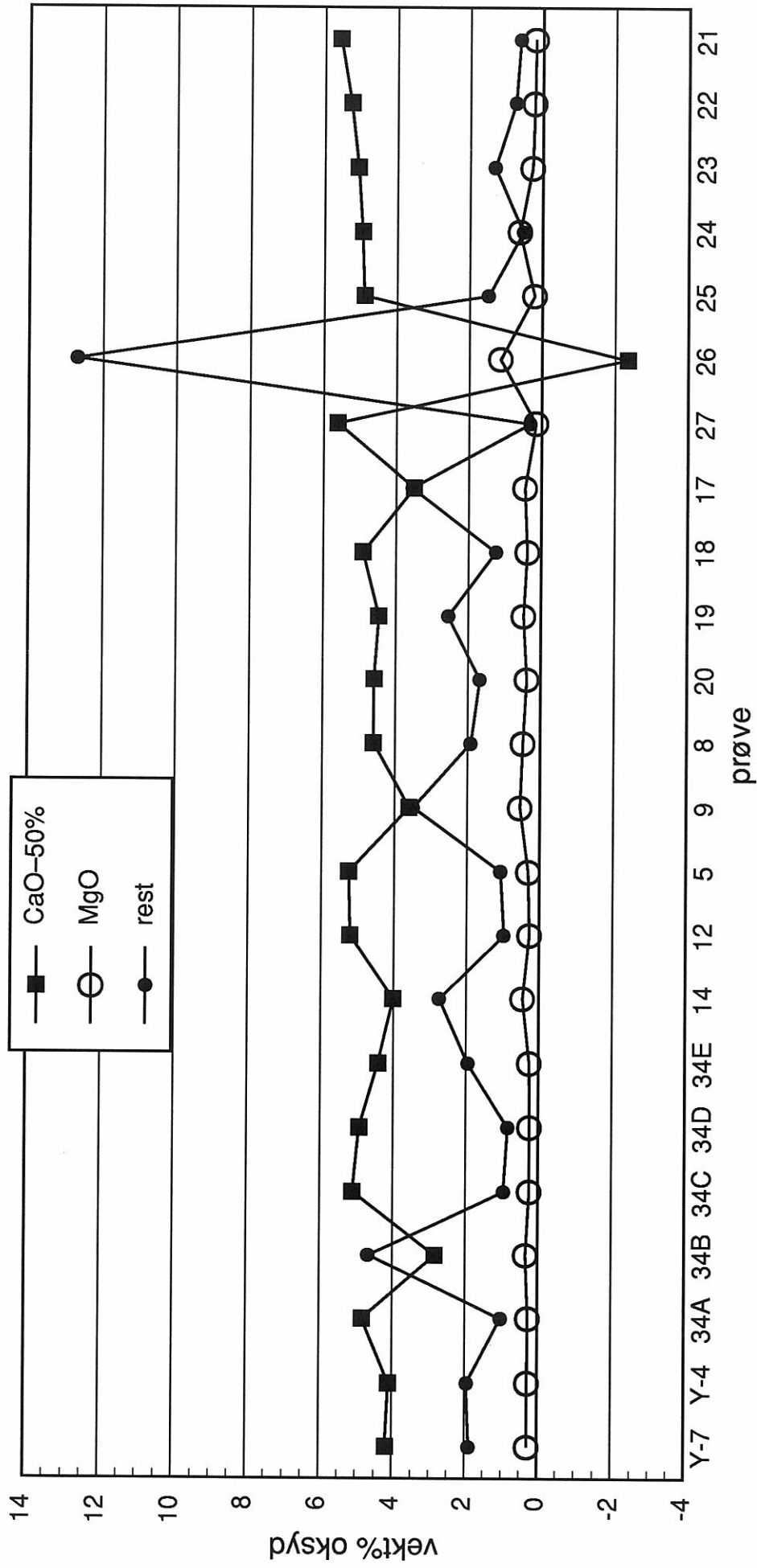
Figur 3. Skisse av stollsystemet i forbindelse med Sandstad-bruddet på Ytterøya, basert på tegninger fra Bergvesenets arkiv og egne observasjoner før stollsystemet ble fysisk sikret høsten 1992 (oppmåling foretatt ved utskritting av avstander og uten bruk av teodolitt). *Nederst*: kart over stollnivået med projeksjon av skråsjakten (B). *Øverst*: vertikalsnitt gjennom hovedstollen med projeksjon av skråsjakten. Hovedstollen ligger på omtrent 110 m.o.h., og har en liten, men jevn stigning fra påhugget ved A til lastestasjonen ved C. Ved C ble malmen sluppet gjennom styrtsjakter fra det nedre dagbruddet, lagret i fjellsprengte siloer (ikke vist på tegningen), og lastet i jernbanevognen på stollnivået. Ved A ble malmen sluppet ned gjennom styrtsjakter til en lastestasjon for taubane. Skråsjakten oppover mot NØ ved B har en overflateåpning som ser ut til å ligge nær 150 m-koten. Legg merke til at terrengprofilen på vertikalsnittet følger aksen til hovedstollen og at overflateåpningen til skråsjakten ligger ca. 40 m NØ for vertikalplanet gjennom hovedstollen (d.v.s. bak papiplanet). *Blå farge*: marmor; *rød farge*: fyllittisk grønnskifer. Prøvepunktene for prøvene Y-4 og Y-7 er inntegnet.



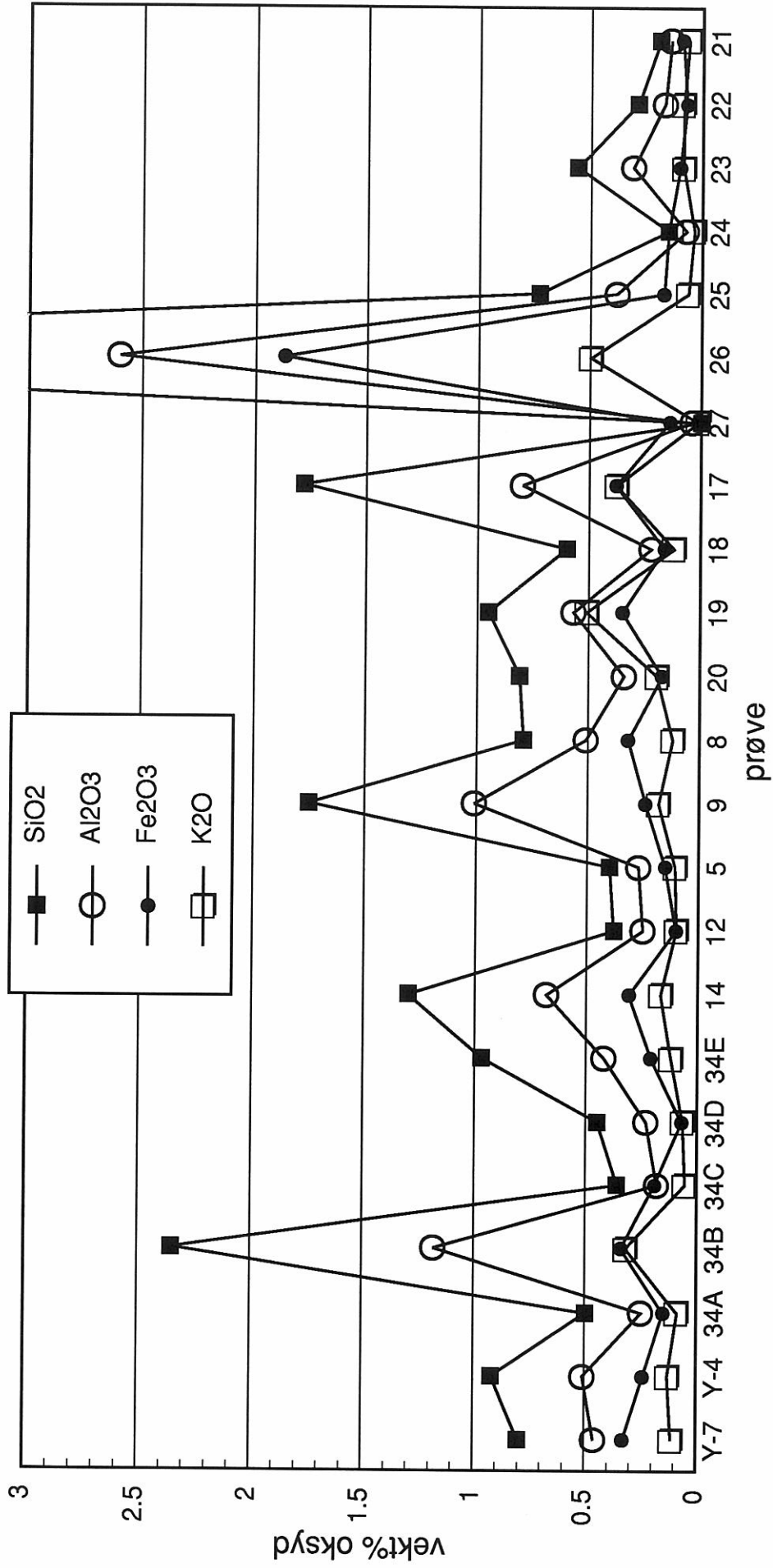
Figur 4. Mineralogiske forhold vist ved fordelingen av tilbakespredt elektronintensitet fra en sveipende elektronstråle (elektronmikroskop: Jeol 733X Superprobe, se Tabell 1). Målestokken (hvit strek til venstre på bildet) har en lengde på 100 μm i alle bildene i Fig. 4. A og B er fra prøve Y-93-14. Den mest utbredte, relativt lyse fasen er kalkspat (c). Små korn med svært høy intensitet er titanitt (ti), rutil (ru) og pyritt (p, høyest intensitet). Bittesmå rutil-korn opptrer inne titanitt i B. mu: muskovitt (lys glimmer); qz: kvarts.



Figur 4, forts.: C og D er fra prøve Y-93-26. Forkortelser som i bildene A og B. De plateformete korna i A er lys glimmer. Sammenvoksninger mellom lys glimmer (**mu**) og kloritt (**chl**), mellom rutil, pyritt (**ru-p**) og kalkspat (**c**) og mellom ankerittisk (**a**) og siderittisk (**s**) karbonat opptrer i bilde D.



Figur 5. Kjemisk variasjon (vekt %) langs marmorsonen over Ytterøya. Prøvelokalitetene er vist i Fig. 2 og 3. Prøvene 9234A — 9234E er merket 34A — 34E. CaO-50% brukes for å få plottet CaO-variasjonen nær MgO-variasjonen uten å bruke logaritmeskala. "rest"-verdien representerer summen av alle oksydene uttatt MgO, CaO, CO₂ and H₂O. Prøvene 9234A og 9234B er samleprøver som dekker nordvestveggen i henholdsvis det øvre og det nedre Sandstad-bruddet (ca. 10 prøvepunkter i hver). De andre prøvene er punktprøver (2-4 håndstykker fra et område på maksimalt 2*2 m).



Figur 6. Kjemisk variasjon (vekt %) som i Figur 5.