102 A4/A3
brap 81522

Överst 2

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Berggrundsbyrån
Uppdragsgivare: NSG, Fjällen
Projekt: Ultramafiter i fjällen
E Zachrisson och J Stigh

PROSPEKTERINGSRAPPORT
Datum: 1981-04-10
ID-nr: BRAP 81522
Plats: Fjällen
Ant: Dubbel

NÄMNDEN FÖR
STATENS GRUVEGENDOM
Dnr 823-9/1981
INK. 1981-04-14

SFS 1975:201 § 34 B
81.04.14

ULTRAMAFITER I FJÄLLEN

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Berggrundsbyrån
Uppdragsgivare: NSG, Fjällen
Projekt: Ultramafiter i fjällen
E Zachrisson och J Stigh

PROSPEKTERINGSRAPPORT
Datum: 1981-04-10
ID-nr: BRAP 81522
Plats: Fjällen
Inm:

U L T R A M A F I T E R I F J Ä L L E N

SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER

Föreliggande rapport utgör en sammanställning och utvärdering av det omfattande provmaterial som under åren 1968-1978 insamlats beträffande fjällkedjans ultramafiska bergarter. Kemiska analyser och provdata redovisas i en särskild analysbilaga (BRAP 81523). Totalt har 799 prover undersökts. Av dessa har 593 st underkastats fullständig bergartsanalys, medan de 206 återstående proverna utnyttjats för en mera prospekteringsinriktad analys på Ni, Cr, Co, S, H_2O och CO_2.

I slutet av 1960-talet igångsattes undersökningar för att utröna de tekniska möjligheterna att utvinna främst nickel och kobolt ur fjällens s.k. peridotiter. Syftet med det här rapporterade projektet har varit att söka ta fram ett bättre kemiskt och geologiskt datamaterial, som kan utnyttjas vid fortsatta prospekteringsarbeten. Det viktigaste bidraget därvidlag torde vara upptäckten att de detritiska serpentiniterna, beträffande flertalet ekonomiskt intressanta metaller och mineral, och speciellt vad avser nickel och kobolt, uppvisar högre halter än normala peridotiter och massiva serpentiniter.

Vid sina ekonomiska bedömningar utgick Kihlstedt från en nickelhalt på 0.23% Ni i råmalmen. Vid 0.13-0.15% utvinningsbart nickel kunde de höghaltiga koncentraten (45-50% Ni) med sitt innehåll av kobolt och ädelmetaller bedömas ge en balanserad ekonomi. I de detritiska serpentiniterna har nickelhalten visat sig uppgå till 0.33% Ni, vilket vid en 70%-ig utvinningsgrad skulle kunna ge ett utbyte på ca 0.23% Ni. En sådan 50%-ig ökning av nickelutbytet bedöms i kombination med den gynnsamma prisutvecklingen på kobolt och ädelmetaller fundamentalt kunna påverka de ekonomiska förutsättningarna.

De här framförda resultaten motiverar omedelbara prospekteringsinsatser, vilka förutsätter inmutning av de mest intressanta objekten. Geologiska karteringar, geofysiska markmätningar och sonderande diamantborrning utgör stommen i ett sådant undersökningsprogram.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING Sid.

Sammanfattning och rekommendationer 1

Innehållsförteckning 2

I INLEDNING 5

1 Bakgrund och syfte 5
2 Utförda arbeten 6
3 Provmaterial 7
4 Provtagningstäthet 7
5 Kemiska analyser 8
6 Mineralogiska bestämningar 10

II ULTRABASISKA BERGARTERS NOMENKLATUR 10

1 Allmänt 10
2 Översikt över olika ultramafitkategorier 11
3 Klassifikation av ultramafiska bergarter 12

III ULTRAMAFITER INOM SVENSKA DELEN AV KALEDONIDERNA 14

1 Historik och viktigare arbeten 14
2 Fördelning på tektoniska enheter 15
Autokton prekambrium 15
Mellersta skollberggrunden 15
Seve-Köli skollkomplexet 15
Rödingsfjällsskollan 16
3 Uppträdande i fält 17
Storlek 17
Omvandling 17
Brecciering 18
Förskiffring 18
Lagring 18
Samband med andra basiska bergarter 19
4 Detritiska serpentiniter 19
5 Kemi 20
6 Petrologi 22
Normativ sammansättning 22
Modal sammansättning 22
Serpentinisering 23
Talkomvandling 24

7 Mineralogi 24
Olivin 24
Pyroxener 26
Ortopyroxen 26
Klinopyroxen 27
Serpentingruppens mineral 27
Talk 28
Övriga silikatmineral 29
Karbonatmineral 29
Brucit 30
Spinellgruppens mineral 30
Sulfidmineral 31
Heazlewoodit 31
Pentlandit 32
Magnetkis 32
Övriga malm/sulfidmineral 32
8 Halter och variationer av ekonomiskt intressanta element 33
Nickel 34
Genomsnitt och spridning 35
Nickelmineralogi 35
Bedömning och slutsats 36
Krom 37
Genomsnitt och spridning 37
Krommineralogi 37
Bedömning och slutsats 38
Kobolt 38
Genomsnitt och spridning 38
Kobolthaltiga mineral 39
Bedömning och slutsats 39
Koppar 39
Zink 40
Bly 40
Vanadin 41
Svavel 41
Guld 42
Silver 42
Platina och palladium 42

IV PROSPEKTERING 43

1 Prospekteringsintressanta objekt eller massiv 43
Jetnems Ni-uppslag 43
Gammhembäckens Ni-uppslag 44
Hapkebakte 45
Rotiken (Gränssjö) 45
Kroksjön 46
Vietjervaratj talkfyndighet 46

2 Rekommendationer och förslag till fortsatta prospekteringsarbeten 47
Inmutningar 47
Geologiska arbeten 48
Geofysiska mätningar 48
Slingram 48
Magnetometer 49
Gravimeter 49
Borrning 49
Tekniska undersökningar 50

Referenser 51

Tabeller: 22 tabeller

Figurer: 22 figurer

I INLEDNING

1. Bakgrund och syfte

Strejker i de nickelproducerande länderna och kriser i Sveriges nickelförsörjning ledde till att Johnsonkoncernen i slutet av 1960-talet i samarbete med professor Kihlstedt, KTH, igångsatte undersökningar angående tekniska möjligheter att utvinna främst nickel ur fjällkedjans peridotiter. Under senare delen av 1960-talet och början av 1970-talet stöddes dessutom i olika faser detta arbete av STU, Norrlandsfonden och Bolidenbolaget. Undersökningar och resultat finns redovisade bl.a. i föredrag och publikationer av Kihlstedt (1974, 1975, 1979) och Broman (1976).

Några data angående konventionella typer av nickelmalm i jämförelse med fjällens peridotiter ("ultrabasitmalm") lämnas i Tabell A.

Malmtyp	Ni-halt i råmalm	Ni-halt i koncentrat
Sulfidrik malm (Sudbury-typ)	1% (+Cu)	7-10%
Lateritmalm	1.5-2%	Endast lakning eller direkt smältning
Ultrabasit	0.23%	40-50%

Tabell A: Ni-halter i råmalm och nickelkoncentrat.

På grund av sin speciella nickelmineralogi kan mycket höghaltiga nickelkoncentrat utvinnas ur"ultrabasitmalmerna". Detta ger i kombination med dagbrottsmöjligheter och nästan obegränsade tonnage stora fördelar. Förutom nickel, kobolt och ädelmetaller (Pt, Pd, Rh, Au, Ag) kan ett antal mineral och metaller komma att utvinnas som biprodukter, såsom magnesit, brucit (magnesiumråvaror), olivin, asbest, talk, kromit och magnetit.

Syftet med det här rapporterade ultrabasitprojektet har varit att söka ta fram ett bättre kemiskt och geologiskt datamaterial, som kan utnyttjas vid fortsatta prospekteringsarbeten. Det viktigaste bidraget hittills torde vara upptäckten att de detritiska serpentiniterna beträffande flera av de ovan nämnda metallerna och mineralen, och speciellt vad avser nickel, uppvisar högre halter än normala peridotiter och massiva serpentiniter. Det är sannolikt att man bland serpentinitkonglomeraten kan leta fram kroppar med betydligt högre nickelhalt och malmvärde än vad Kihlstedt utgick från i sina beräkningar.

2. Utförda arbeten

I samband med de karteringar, som allt sedan andra världskriget bedrivits av SGU som ett led i pågående prospekteringsarbeten i fjällkedjan, har även de ultrabasiska bergarterna studerats och registrerats. Genom ett flertal detaljerade specialarbeten på 1960-1970-talen (Nilsson 1964, Zachrisson 1964, Stephens 1977, Sjöstrand 1978) uppmärksammades ultramafiternas stratigrafiska/tektoniska uppträdande samt förekomsten av detritiska serpentiniter. Detta ledde till att J Stigh, som bedrivit fältarbete i Björkvattnet-Virisenområdet i Västerbotten, tog upp ultrabasitproblematiken i en specialstudie, som resulterade i ett doktorsarbete 1979.

Med stöd av medel från SGU:s prospekteringsarbeten (1968-1975) och från NSG (1976-1978) har ett mycket stort provmaterial från Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens läns fjälltrakter insamlats (Tabell 1A,B). Fältinsatser och analyser har i betydande grad möjliggjorts genom resurser vid Geologiska institutionen, CTH och Göteborgs universitet, och underlättats genom samarbete med Geodynamics Projekt och IGCP/Caledonide Orogen. Härigenom har materialet fått en skandinavisk täckning och inkluderar ca 50 norska prov. I denna rapport och i analysbilaga (BRAP 81523) behandlas dock endast den svenska delen av provmaterialet.

3. Provmaterial

Proven består i regel av 1/2 - 1 1/2 kg friskt, renknackat bergartsmateria avsett för kemisk analys. Detta har krossats, malts, delats och finmalts för analys. Dessutom har en representativ stuff för slip- och polerprov medtagits. Stuffprov och analysprov (krossat och/eller malet) finns arkiverade antingen i Göteborg eller på SGU.

Geologisk beskrivning av provtagningen finns i geologens och extrageologens dagböcker på SGU. Provbeteckningen (t.ex. MJ78012) är i regel uppbyggd av den insamlande geologens initialer (2 bokstäver), årtal (2 siffror) och löpnr (3 siffror). Kod för initialerna finns redovisade i förklaring till datalistan (se analysbilagan).

Provtagningslokalerna har (med endast några få undantag) markerats på flygbild eller ortofotokarta i skala 1:20 000. Denna information är överförd till SGU:s hällkartor (1:20 000). En komplett uppsättning av sådana kartor, utvisande ultrabasitprovtagningen, finns arkiverade på SGU (Uppsala). I datalistorna anges provpunkterna med geografiskt namn samt med angivande av kartblad och ruta. Vid stort antal prov på samma massiv (detaljprovtagning i gridsystem) har samtliga prover fått samma lokalitetsbeteckning (t.ex. 3 Kroksjön). I de flesta bearbetningar har endast medelvärdet för en sådan provserie utnyttjats.

Koordinater i rikets nät har ännu inte framräknats, men detta låter sig relativt lätt göras vid behov.

4. Provtagningstäthet

Genom de hittills utförda arbetena har så gott som samtliga kända ultramafitmassiv provtagits med 1-10 prov, beroende på storlek. Prover saknas endast för några få massiv (t.ex. på kbl.22E, 23F, 24F-G, 25E-G, 28H). Ett antal utvalda massiv (t.ex. Kittelfjäll, Rotiken (Seve), Vinberget, Kroksjön, Hapkebakte) har studerats genom detaljprovtagning i gridsystem, varvid provmaterialet uppgår till 10-80 prov per objekt.

Sammanfattningsvis kan konstateras, att materialet är homogent och rikstäckande (betr. fjällberggrunden) och relativt väl återspeglar sammansättning och variationer beträffande kemi, petrografi och mineralogi för de ultrabasiska bergarterna i stort. För att registrera lokala variationer är däremot antalet prover per massiv (i regel 1-5 st) allt för litet.

5. Kemiska analyser

Det insamlade provmaterialet har analyserats (Tabell 1B) vid Sveriges geologiska undersökning (ca 40%) och vid Geologiska institutionen, CTH (ca 60%). Merparten av Ni-, Cr-, CO_2- och H_2O-bestämningarna jämte alla S- och spårämnesanalyser har utförts vid SGU.

I Göteborg har atomabsorption använts för Fe_2O_3 (Fe_{tot}), MnO, MgO, Na_2O, K_2O, NiO och Cr_2O_3. TiO_2, SiO_2, Al_2O_3, FeO, CaO och H_2O har bestämts med metodik beskriven av Asklund et al. (1966). CO_2 har bestämts med termovåg.

Vid SGU har optisk spektrograf använts för huvudelementen (Danielsson 1968), inkl. Fe_{tot} (som Fe_2O_3). Na_2O har analyserats med hjälp av atomabsorptionsspektrofotometer och FeO, S, CO_2 och H_2O med speciell metodik (Asklund et al. 1966). För Ni och Cr (och ett mindre antal kontrollbestämningar av Co och Cu) har röntgenfluorescens mestadels utnyttjats.

Huvuddelen av provmaterialet har dessutom underkastats semikvantitativ analys på Jumbo (direktregistrerande, optisk emissionsspektrograf). Därvid erhålls uppgifter, förutom för flera huvudelement, för Cu, Zn, Pb, Mo, Ni, Cr, Co, As, Ag, V, Sn, Bi och W. Vissa av dessa element har koncentrationer i ultramafiterna som gör dem ekonomiskt intressanta, varför Jumbons noggrannhet inte bedömts vara tillräcklig.

Ni: (Fig. 3) Jumbo ger ungefär riktiga värden vid halter <3 000 ppm, men spridningen är stor. Vid halter >3 000 ppm tenderar jumbo att ge för höga Ni-värden. Då Ni är det ekonomiskt mest intressanta elementet, har större noggrannhet eftersträvats och alla prover med Ni-värden >1 000 ppm på jumbo har analyserats på röntgen (totalnickel). För Ni <1 000 ppm används dock jumbons semikvantitativa värden. För ett mindre antal prover har dessutom sulfidbundet Ni bestämts genom bromvattenlakning. Metodens tillförlitlighet kan dock ifrågasättas.

Cr: Jumbo ger för låga värden vid halter <2 000 ppm och ingen upplösning vid halter >3 000 ppm (Fig. 4). De flesta Cr-värden ligger högre än 2 000 ppm och prover med >1 000 (1 500) ppm Cr på jumbo har därför i regel analyserats på röntgen eller med atomabsorption.

Co: Trots relativt stor spridning och ett begränsat jämförelsematerial (Tabell 2) förefaller Co på jumbo i det aktuella intervallet 50-400 ppm ge relativt god överensstämmelse med atomabsorption (Fig. 5). Tills vidare har inga mer preciserade Co-bestämningar utförts, utan rapporterade värden i datalistorna utgörs av jumbovärdena.

Cu: Jumbo i intervallet >50 ppm (Tabell 2) tycks ge relativt god överensstämmelse med atomabsorption och röntgen (Fig. 6). Då halter på dessa nivåer dessutom är ointressanta ur ekonomisk synpunkt, har inga mer preciserade Cu-bestämningar utförts.

V: För V tycks jumbon i det aktuella intervallet (< 100 ppm, testserie till 650 ppm) ha tillfredsställande noggrannhet i förhållande till fotografisk spektralanalys (Tabell 2, Fig. 7).

För övriga element på jumbo-listan (inkl. V) har inga noggrannare bestämningar utförts. Då dessa element dessutom saknar intresse ur ekonomisk synpunkt, har de ej heller rapporterats på datalistorna. Vissa översiktligt (manuellt) framräknade medelvärden för Zn, Pb och V lämnas dock i Tabell 18-20.

För de ovan diskuterade spårämnena anges bestämningsmetoden i datalistorna genom en bokstav efter analysvärdet.

Ett mindre antal Pt- och Pd-analyser har utförts i Finland (Rautaruukki Oy med hjälp av plasmasond (Tabell 3). 28 st prover har analyserats på Au och Ag. Eftersom halterna alltid visat sig ligga under metodens känslighet (<0.1 g/t Au, <5 g/t Ag) har fortsättningsvis sådana analyser ej utförts.

Enstaka spårämnesanalyser och bestämningar av REE-element har utförts vid Geologiska institutionen i Bergen, Norge (Tabell 4).

Kemisk analys har dessutom utförts med hjälp av mikrosond på ett antal silikatmineral, sulfider och oxider.

6. Mineralogiska bestämningar

Mineralbestämning har utförts med röntgendiffraktion på en provserie om 20 st prover (Tabell 5). Tunnslip har tillverkats för ca 230 prov och totalt har ca 45 polerprov studerats under mikroskop och/eller på mikrosond.

II ULTRABASISKA BERGARTERS NOMENKLATUR

1. Allmänt

Bergarter med enbart mörka mineral s.k. ultramafiska bergarter förekommer i många olika geologiska miljöer i jordskorpan. I Sverige uppträder ett ovanligt stort antal massiv av sådan karaktär inom fjällkedjan i jämförelse med urberget öster om fjällranden, där ultramafiska bergarter uppträder tämligen sporadiskt.

De flesta ultramafiterna inom fjällkedjan har en kemisk, och delvis mineralogisk, sammansättning, som överensstämmer med den troliga sammansättningen av den övre delen av manteln (Coleman 1977, Davies 1971, Ringwood 1975). Mantelns övre del antas på goda grunder bestå av ultramafiska bergarter, helt dominerande av mineralen olivin, ortopyroxen, klinopyroxe och spinell. Fältspat (plagioklas) saknas fullständigt. Den kemiska sammansättningen betecknas som ultrabasisk, dvs. SiO_2-halten är extremt låg (<45%). Nickel- och kromhalterna är höga.

Vid ingen eller ringa serpentinomvandling har den övre mantelns ultramafitmaterial hög densitet. Genom tillförsel av vatten omvandlas den tunga olivinpyroxenrika ultramafiten till en lättare, serpentinförande ultramafit. Serpentiniseringen gör det således möjligt att det normalt tunga mantelmaterialet kan stiga uppåt (diapirism). Under fjällkedjans bildningstid (sedimentation, veckning, metamorfos och överskjutning) kom de ultramafiska bergarterna på plats bl.a. genom diapiriska processer.

2. Översikt av olika ultramafitkategorier

De flesta ultramafiska bergarter, som uppträder i bergskedjor, kan indelas i fyra kategorier: ofioliter, lagrade intrusioner, zonerade komplex (Alaska-typ) samt Alpin-typ. Termen ultramafisk Alpin-typ refererar i den ursprungliga definitionen (Benson 1926) till alla ultramafiska bergarter, som uppträder i bergskedjor av Alpin typ. Denna definition överlappar således till stora delar övriga kategorier.

Ofiolitkomplex består av en basal, ultramafisk zon, som kan vara upp till flera kilometer mäktig och som överlagras av basiska bergarter av gabbroid sammansättning. Gabbrobergarterna övergår i vulkaniska ytbergarter (basalter), som överlagras av marina sediment. Ofiolitkomplex har under senare år beskrivits från den norska delen av fjällkedjan (Furnes et al. 1980). Liknande bergartssekvens (Umbuktamassivet i Rödingsfjällsskollan) förekommer även inom den svenska delen (Flodberg & Stigh, in prep.).

Lagrade intrusioner domineras av basiska bergarter, medan ultramafiter utgör en underordnad komponent. En differentiation från ultrabasiska till basiska bergarter jämte växellagring mellan led rika på FeMg-mineral resp. fältspat (plagioklas) karakteriserar lagrade intrusioner. Ett antal massiv inom fjällkedjan (t.ex. basiterna i Åreområdet) kan tillhöra denna typ.
Zonerade komplex med ultramafiska bergarter i centraldelen och basiska i massivens ytterområden är inte påträffade eller beskrivna från Kaledoniderna.

Alpin-typen är svårdefinierad, men kan förenklat beskrivas som klart ultramafitdominerad. Begreppet Alpin-typ är, som redan nämnts, missvisande genom att föregående tre typer i viss mån också kan betraktas som Alpin-typ enligt ursprunglig definition. Det är anmärkningsvärt, att Alpin-typ, även enligt senare definition, uppträder i icke-orogena områden, t.ex. på havsbottnarna. Likheten med ofioliter är slående och många geologer inkluderar ofioliter i Alpin-typ. De flesta i fjällkedjan förekommande ultramafiterna är i flera avseenden av Alpin-typ. De uppträder som renodlat ultrabasiska bergarter, där relationen till basiska gabbrobergarter saknas. Ultramafiterna uppträder som solitära

massiv och alla kriterier antydande differentiation saknas. I föreliggande rapport är dessa ultramafiska, icke differentierade bergarter benämnda massiva, solitära, låg-aluminium-ultramafiter (se kap. Kemi) till skillnad från hög-aluminium-ultramafiter, som förekommer som differentierade led i lagrade intrusioner samt i ofioliternas differentierade gabbror.

Ytterligare en typ av ultramafiter förekommer, nämligen detritiska serpentiniter, inkluderande serpentinitkonglomerat och finkorniga serpentinitsediment. Denna typ utgörs av sedimentärt omlagrade, massiva, låg-aluminium-ultramafiter.

3. Klassifikation av ultramafiska bergarter

De ultramafiska bergarterna domineras av Fe- och Mg-rika silikatmineral och innehåller alltid mindre än 10% fältspat. SiO_2-halten är mindre än 45%. Nomenklaturen är komplicerad och åtskilliga klassificeringar står att finna i litteraturen.

Den klassifikation som användes i denna rapport är dels modal, dels normativ.

Den modala sammansättningen (ROCK TYPE) är baserad på den verkliga (nuvarande) halten av olika Fe/Mg-mineral (Jackson 1970). Indelningen bygger på halten olivin i relation till övriga silikatmineral (Tabell B). Klassificeringen sker med hjälp av tunnslip, röntgendiffraktion eller genom makroskopisk bedömning.

Den normativa sammansättningen (NORM) förutsätter en fullständig kemisk analys. Utgående från denna beräknas den normativa mineralsammansättningen (CIPW-norm) enligt dataprogrammet BENORM.

BERGARTSBENÄMNING (ROCKTYPE el. NORM)	HALTEN OLIVIN I FÖRHÅLLANDE TILL ÖVRIGA MINERAL I BERGARTEN
DUNIT	>90% av silikatmineralen utgöres av olivin
OLIVINIT	50-90% av silikatmineralen utgöres av olivin
PERIDOTIT	10-50% av silikatmineralen utgöres av olivin
SERP. PERIDOTIT	Peridotit med >75% serpentinmineral
CORTLANDIT	Hornbländeförande peridotit
HARZBURGIT	Peridotit med ortopyroxen och hög andel opakmineral
SERPENTINIT	domineras av serpentinmineral (> 90%)

Tabell B: Bergartsbenämningar för ultramafiska bergarter. I datalistorna användes dessutom SAGVANDIT som beteckning för en karbonatit med högt innehåll av enstatit och magnesit.

Klassificeringssystemet leder alltså till två bergartsbeteckningar, vilka kan skilja sig åt. De flesta ultramafiter, som provtagits i denna undersökning, är till viss del serpentiniserade. Delvis serpentinisation är refererad till adjektiv kvalifikation, t.ex. serpentiniserad peridotit. Skillnader mellan olika serpentiniter (>90% serpentinmineral) kan endast bedömas genom fullständig bergartsanalys och beräkning av en CIPW-norm. Detta ger den normativa (ursprungliga) sammansättningen, som kan användas för att definiera serpentiniterna (t.ex. dunitisk serpentinit).

I analysbilagan (Rapport BRAP 81523) redovisas såväl modal sammansättning (ROCK TYPE) som normativ sammansättning (NORM).

III ULTRAMAFITER INOM SVENSKA DELEN AV KALEDONIDERNA

1. Historik och viktigare arbeten

Peridotitiska bergarter från den svenska delen av Kaledoniderna är först omnämnda i litteraturen av Törnebohm år 1877, som observerade ultramafiten i Kittelfjäll i Västerbotten. Några år senare beskriver Svenonius (1883) olivinrika bergarter och serpentiniter från lokaler i Jämtland, Västerbotten och Norrbotten. Baserat på material från dessa lokaler, insamlat av Svenonius, studerade Eichstädt (1883) dessa ultramafiters petrografi. Ungefär femtio år senare beskrev Du Rietz (1935) ultramafiter från Jämtland och Västerbotten och 1955 sammanfattade han resultat av undersökningar beträffande deras innehåll av krom och nickel. Kulling (1933) påvisade närvaron av serpentinitkonglomerat inom Björkvattnet-Virisen området i Västerbottenfjällens centrala del.

Detaljerade petrografiska beskrivningar av ett stort antal ultramafiska kroppar har gjorts av Michel (1950), de Keyzer (1952), Janssen (1953) och Calon (1973). Från Sulitelma-Salojaure-området i Norrbotten är serpentiniter och serpentinitkonglomerat beskrivna av Kautsky (1953). Zachrisson (1969) och Trouw (1973) diskuterade de ultramafiska massiven och deras rikliga uppträdande inom vissa stratigrafiska enheter i Jämtlands- och Västerbottensfjällen. Magmatisk lagring i serpentiniter från Seve och Köli påvisades av Stigh och Ronge (1978). Stigh (1979a) gav en mycket utförlig beskrivning av de skandinaviska ultramafiterna, inkluderande 559 fullständiga bergartsanalyser. En redogörelse för de detritiska serpentiniterna lämnades samma år (Stigh 1979b) och deras innehåll av krom och nickel diskuterades (Stigh, in press). Calon (1979) har publicerat en ingående studie av Kittelfjällperidotiten.

År 1974 höll Kihlstedt ett föredrag för IVA med titeln "Synpunkter på nickelförsörjningen i Sverige". Detta arbete behandlar de nickelbärande mineralen i ultramafiterna och redovisar en försiktig optimism beträffande utvinning av nickel och kobolt ur dessa bergartsmassiv. Detta tema var föremål för ett antal föredrag och publikationer under mitten och senare delen av 1970-talet (Kihlstedt 1974, 1975, 1979; Broman 1976).

I en rapport till SGU sammanfattade Wahlström & Stigh (1978) resultat av mikrosondundersökningar av sulfid-, spinell- och silikatmineral från ultramafiska bergarter.

2. Fördelning på tektoniska enheter

Ultramafiterna inom den svenska delen av fjällkedjan uppträder i ett flertal av de stora tektoniska enheterna: i autokton prekambrisk berggrund, i mellersta skollberggrunden, i Seve-Köli-skollkomplexet samt i Rödingsfjällsskollan. Denna indelningsgrund används också vid presentationen av analysresultaten i analysbilagan (Rapport BRAP 81523).

Autokton prekambrium

De autoktona, prekambriska bergarter, som uppträder som fönster i fjällkedjan, saknar i allmänhet ultramafiter. Ett antal mindre massiv av ultramafisk karaktär har dock påträffats i Börjefjällsfönstret, väster om Stekenjokk. De har observerats av Foslie och Strand (1956) och karterats av Kautsky (pers. comm.). 2 av de nu insamlade proven kommer från svenska sidan. De är av låg-Al-typ.

Mellersta skollberggrunden

Den enda förekomst som tros tillhöra den mellersta skollberggrunden är belägen i Ammarnäskomplexet. Den finns utmärkt på Kullings länskarta (Gavelin & Kulling 1955) och ett antal kroppar (bl.a. vid Karsbäcken) har karterats av F Back (pers. comm.). De utgörs troligen av prekambriska enheter, som ingår i den imbrikerade berggrunden. Inga prover har dock insamlats från dessa massiv. Ruoutevareområdets ultramafiter tillhör däremot enligt nyligen utförda undersökningar Seve-delen (se nedan).

Seve-Köli skollkomplexet

De flesta ultramafiter som provtagits i denna undersökning är belägna i Seve-Köli-skollkomplexet. Ultramafiterna uppträder på skilda nivåer inom detta skollkomplex, men är rikligast förekommande i den övre delen av Seve och i den lägre delen (Tjopasi-gruppen) av Köli.

Seve-berggrunden i N Jämtland-Västerbotten kan indelas i östra, centrala och västra bältet (Truow 1973). I det östra bältet, i Sevens lägre del, uppträder åtskilliga ultramafiska kroppar i staurolit-kyanit-granat-förande bergarter. I det centrala bältet, som domineras av gnejser och amfiboliter, förekommer (förutom i norra Jämtland) relativt få ultramafiter. Dessa skiljer sig från övriga ultramafiter i fjällen genom att de i flera fall är granatförande. I det västra bältet, som består av likartade bergarter som inom det östra bältet, är ultramafiterna inom Seven rikligast förekommande. Inga detritiska serpentiniter har ännu påträffats i Seve-berggrunden. I Ruoutevare-området i Norrbotten, norr om Kvikkjokk, domineras de ultrabasiska bergarterna av peridotiter och pyroxeniter, vilka är associerade med anortosit och gabbro. Bergartskomplexet har stora likheter med berggrunden i Lofotenområdet och är med största sannolikhet prekambriskt. Det tillhör däremot tektoniskt Sevens nedre del, vilket understrykes av att det underlagras av ett paket med granatförande Seve-glimmerskiffrar.

Köli-berggrunden i Jämtland-Västerbotten indelas i tre grupper, Tjopasi-, Lasterfjället- och Remdalen-grupperna (Zachrisson 1969). Denna berggrund karakteriseras av lågmetamorfa fylliter och vulkaniter. De ultrabasiska bergarterna uppträder talrikast i Tjopasi-gruppen och mera sporadiskt i de överlagrande Lasterfjället- och Remdalen-grupperna. Detritiska serpentiniter är associerade till de massiva ultramafiterna i Tjopasi-gruppen. Norrbottens Köli har uppdelats i ett antal skollor (Kautsky 1953, Kulling 1972). Ultrabasiter uppträder framförallt i de mellersta (Vasten-Salo-) och översta (Gasak-, Stipok-) skollorna. De senare bör sannolikt korreleras med Storfjällsskollan i norra Västerbotten (t.ex. Ältsvattnet-området). Även i Norrbotten finns exempel på detritiska serpentiniter.

Rödingsfjällsskollan

I denna skollenhet, som består av amfiboliter, gnejser, glimmerskiffrar och kalkrika bergarter, förekommer inga låg-Al-ultramafiter. Ultramafiter associerade med gabbro och amfiboliter uppträder däremot i mindre omfattning. Dessa ultramafiter representerar antingen ofiolitiska, ultramafiska fragment eller delar av en lagrad intrusion. Ett större gabbromassiv (Umbuktagabbron) har undersökts. Detta gabbrodominerade massiv ligger på gränsen mellan Norge och Sverige, norr om Blå vägen i Västerbotten.

3. Uppträdande i fält

Massiva, låg-Al-ultramafiter uppträder i fält som rödaktiga, linformade massiv. De står i regel fram som ryggar i topografin, vilkas höjd över de omkringliggande, i allmänhet sedimentära bergarterna, varierar från några få till uppemot hundra meter. Den röda färgen beror på vittring, som äger rum i den yttre delen av bergartskroppen. Den av vittring opåverkade bergarten är däremot grågrön eller blågrön till färgen. Ultramafiterna har genomgått komplicerade omvandlingar samt påverkats av fjällkedjans deformation med åtföljande förskiffring och brecciering som följd

Storlek

De linsformade ultramafitkropparna är ofta orienterade med sin längdriktning i NNE-SSW. Storleken (arealen) varierar från några få m^2 till omkring 10 km^2 (Rautas-massivet). Mäktigheten (mätt vinkelrätt på den allmänna foliationen) torde för de större massiven uppgå till storleksordningen 1 000 - 2 000 meter, men är i allmänhet betydligt mindre.

Omvandling

De undersökta ultramafiterna varierar i omvandlingsgrad från olivinrika, pyroxenförande bergarter till helt serpentinomvandlade typer. Den ursprungliga (primära, normativa) mineralsammansättningen är beräknad utifrån totalkemisk analys på bergarten. Denna normativa sammansättning redovisas i datalistan under rubriken NORM.

Detta normativa, troligen primärmagmatiska mineralsällskap har sedan utsatts för en genomgripande serpentinisering. Genom tillförsel, främst av vatten, har olivin och pyroxen omvandlats till serpentinmineralet antigorit. Bevisen för denna kraftiga och ibland fullständiga omvandling är starkast i Köli. I Seven däremot har de en gång serpentinrika bergarterna jämförbara med de nu i Köli förekommande serpentiniterna, utsatts för sekundära, mera högtemperaturbetonade, regionalmetamorfa omvandlingar, varvid de serpentinrika bergarterna ånyo dehydrerats till olivinförande eller olivinrika ultramafiter (modal sammansättning). De ur prospekteringssynpunkt intressanta sulfid- och oxidfaserna måste också sättas i relation till dessa omvandlingsprocsser.

Ytterligare synpunkter på serpentin- och talkomvandling lämnas i ett efterföljande kapitel om de ultramafiska bergarternas petrologi.

Brecciering

Ultramafiterna är i många fall kraftigt söndersprucknа och hopläckta. Denna brecciering, som lättast kan studeras på vittrade hällytor, förekommer i både Seve- och Köli-ultramafiterna. Serpentinmineralet krysotil uppträder ibland mellan de breccierade fragmenten. Brecciering saknas i vissa ultramafiter och kan vara mer eller mindre utvecklad i andra. Normalt är dock brecciering synlig i fält i de flesta ultramafitmassiv. Gränsdragningen mellan tektoniska och sedimentära (detritiska) breccior kan ofta vara svår.

Förskiffring

I vissa ultramafiter, speciellt i Sevens västra bälte, är mineralen orienterade i deformationens minsta tryckriktning. Detta ger upphov till förskiffring. Orienteringen av främst serpentinmineral präglar denna förskiffring, som i allmänhet är parallell med de omgivande sedimentära bergarternas foliation. Helt massformiga (icke förskiffrade) ultramafiter förekommer. I vissa massiv kan förskiffrade zoner slå igenom en i övrigt helt massformig ultramafit.

Lagring

En ur prospekteringssynpunkt intressant lagring har kunnat spåras i vissa ultramafitmassiv (Stigh och Ronge 1978). Denna lagring härrör från gravitativ differentation under kristallisation av magma i ett primärt skede, varigenom en växellagring mellan olivin och pyroxenrika lager utbildades. Genom senare serpentinisering har lagringen suddats ut, men genom provtagning, kemisk analys och beräkning av den normativa sammansättningen kan den fortfarande spåras. Halterna av nickel och krom varierar eventuellt mellan dessa primära lager.

Samband med andra basiska bergarter

De flesta ultramafiter uppträder som massiva, solitära låg-Al-ultramafitlinser i en metasedimentär miljö utan någon association till basiska (gabbroida) bergarter. Även de massiv som förekommer inom grönskiffrar och amfiboliter har ingen primär relation till omgivande metavulkaniter. Ett litet antal låg-Al-ultramafiter uppträder i direkt kontakt eller i en nära fältmässig association till gabbrobergarter (Stigh 1979). Ej heller dessa massiv (t.ex. Akelvattnet och Buoimatjetjakke i Västerbotten) kan betraktas som kumulat, utan har troligen tektoniska kontakter mot intilliggande gabbro.

I vissa fall förekommer ultramafiter av annan geokemisk karaktär (höga Al_2O_3-värden, >3.8%, höga TiO_2-, Na_2O+K_2O-halter) i klar association till gabbroida bergartsled. Dessa ultramafiter (t.ex. Åreområdet, Enkälen och Umbukta) är däremot klara kumulat till gabbromagmor.

5. Detritiska serpentiniter

Detritiska serpentiniter har bildats från låg-Al-ultramafiter genom vittring och sedimentära processer. Detta betyder att vissa av fjällens ultramafiter har befunnit sig i erosionsposition under en viss tidsperiod (Ordovicium). Vanligtvis förekommer de detritiska serpentiniterna i kontakt med massiva låg-Al-ultramafiter. Samtliga hittills påträffade detritiska serpentiniter är belägna i Köli.

De detritiska serpentiniterna uppträder dels som konglomerat, dels som mer finkorniga, sedimentära serpentiniter. Det sedimentära ursprunget är tydligt, framförallt i de finkornigare detritiska serpentiniterna, med sedimentär lagring, kross-skiktning, ansamling av tungmineral och i några lokaler förekomst av fossil, t.ex. Vardofjäll (Stigh 1979a).

Serpentinkonglomeraten består av serpentinitbollar i en serpentinrik matrix. Bollarnas storlek varierar mellan 5-15 cm i diameter, men bollar upp till 40 cm har påträffats. De har varierande rundningsgrad. Matrix domineras av serpentinmineral och karbonat. De finkorniga detritiska serpentiniterna uppträder vanligtvis i anslutning till serpentinitkonglomeraten och uppvisar de tydligaste sedimentära strukturerna inom gruppen detritiska serpentiniter. Sedimentär lagring och laminering är ett kriterium på denna bergartstyp, men även böljeslagsmärken och belastningsstrukturer har observerats (Stigh 1979a).

4. Kemi

Av det totala provmaterialet har 593 prov analyserats totalkemiskt samt på NiO och Cr_2O_3, medan de återstående proverna[1] (i regel detaljprovtagning på utvalda lokaler) har analyserats på Ni, Cr, H_2O, CO_2 och S. Semikvantitativ analys (jumbo) ger dessutom upplysning om halterna av Cu, Zn, Pb, Mo, Co, As, Ag, V, Sn och W. Av dessa senare redovisas endast Co och Cu i datalistorna. Enstaka prover har dessutom undersökts beträffande Pt, Pd, Au och Ag.

Ultramafiterna och ett antal analyserade gabbrobergarter inom den svenska delen av Kaledoniderna behandlas i föreliggande rapporter i fyra grupper:

- differentierade hög-Al-ultramafiter
- massiva, solitära låg-Al-ultramafiter
- detritiska serpentiniter
- gabbroida bergarter

Ett mindre antal prover är svåra att korrelera till ovanstående grupper eller har så avvikande halter av något eller några element, att de menligt skulle påverka framräknade medelvärden. De har därför uteslutits ur medelvärdesberäkningarna och redovisas i en särskild grupp sist i datasammanställningen (övriga).

1) 206 st

Undersökningarna har koncentrerats till de massiva, solitära låg-Al-ultramafiterna och deras detritiska varianter. De solitära låg-Al-ultramafiterna uppträder i ett flertal av fjällberggrundens skollor. De detritiska serpentiniterna är knutna till Köli inom Seve-Köli skollkomplexet och liknande bergarter förekommer i Trondheimsskollan och i Helgelandsskollan i Norge.

De flesta (85%) av de analyserade ultramafiterna visar sig vara av låg-Al-typ (Tabell 6). De karakteriseras av lågt Al_2O_3-innehåll (<3.8%, normalt ca 1.0%), ungefär lika proportioner SiO_2 och MgO (40-45%), låga Na_2O- och K_2O-halter samt NiO och Cr_2O_3 båda på ungefär 0.3%. Denna kemi är typisk för den s.k. Alpin-typen av ultramafiter (Thayer 1960).

Övriga ultramafiter (ca 15%) har en något annorlunda kemisk sammansättning än de ovan beskrivna låg-Al-ultramafiterna. Denna grupp (hög-Al-ultramafiter) karakteriseras av högt Al_2O_3-innehåll (<3.8%, normalt ca 9%) och i relation till låg-Al-ultramafiterna höga TiO_2- och Na_2O+K_2O-halter. Hög-Al-ultramafiterna har låga MgO/FeO-förhållanden (<6), medan låg-Al-ultramafiterna har höga (>6%) (se Tabell 6).

Det samlade kemiska datamaterialet redovisas i en separat analysbilaga (Rapport BRAP 81523).

6. Petrologi

Normativ sammansättning

Låg-Al-ultramafiternas normativa sammansättning varierar mellan duniter och peridotiter (se analysbilaga). Vanligaste normativa sammansättning enligt Jacksons klassifikation (1970) är olivinit (50-90% olivin). Olivin är alltså det dominerande normativa mineralet i de flesta av de provtagna bergarterna (Fig. 8b). Pyroxener förekommer mestadels som ortopyroxen (enstatit) samt som klinopyroxen (diopsid). Den normativa mineral sammansättningen av en representativ låg-Al-ultramafit (olivinit) ser ut som följer:

52% olivin (93% forsterit och 7% fayalit)
38% ortopyroxen (mestadels enstatit)
2.5% klinopyroxen (diopsid)
3.5% spinellfas (kromit)
0.5% ilmenit
3.5% plagioklas

Med den ovan angivna mineralsammansättningen klassificeras låg-Al-ultramafiterna som harzburgiter enligt Streckeisen (1974). Harzburgit betecknas som en peridotitisk bergart med dominant ortopyroxen och mindre än 5% klinopyroxen. Halten av opaka mineral (spinell) är markant. Plagioklashalten är mycket liten och plagioklasen har en hög An-halt. Modalt har plagioklas aldrig påträffats.

Modal sammansättning

Modalt varierar låg-Al-ultramafiterna mellan duniter och serpentiniter. Jacksons klassificering (1970) är den mest adekvata på grund av den metamorfa omvandlingen. Streckeisens (1974) klassifikation passar inte omvandlade magmatiska bergarter, då den framför allt bygger på de primära pyroxenernas mineralogi (ortopyroxener och klinopyroxener) och deras volymetriska halter. Pyroxenerna är modalt relativt ovanliga i de undersökta låg-Al-ultramafiterna. Olivin jämte serpentinmineralet antigorit är helt dominanta. Den modala fördelningen framgår av Fig. 8a och i Fig. 8c kan ultramafiternas modala och normativa sammansättning jämföras.

Antalet dunitiska bergarter har reducerats i samband med omvandlingen, men framför allt har en förskjutning i antalet normativa oliviniter till modala peridotiter och serpentiniter ägt rum, beroende på hydrering.

Ultramafiter belägna i låg-metamorfa tektoniska enheter, t.ex. Köli, är nämligen klart mer serpentinomvandlade än ultramafiter belägna i mera hög metamorfa skollor. Serpentiniseringen innebär hydrering av ultramafitmaterialet och för detta krävs ingen högre metamorfosgrad. I de högmetamorft belägna ultramafiterna (Seve) har däremot regionalmetamorfosen lett till en dehydrering av tidigare serpentinrika bergarter med nybildning av olivin och överförande av dessa till metamorft nybildade olivinrika ultramafiter. Duniterna tolkas således som omvandlade från primärt magmatiska duniter via serpentiniter tillbaka till metamorft bildade duniter.

Kontaktmetamorfos har aldrig iakttagits i den omgivande berggrunden.

Serpentinisering

Många ultramafiter, framför allt de låg-metamorft belägna, är helt eller delvis hydrerade (serpentiniserade). De vanligaste omvandlingsprodukterna vid serpentinisering är enligt Moody (1976) lizardite, krysotil, magnetit ± brucit ± antigorit. Lizardit- och krysotilserpentinerna är enligt henne normalt vanligare än antigorit. Närvaro av antigorit indikerar att serpentiniten har genomgått prograd metamorfos eller att ultramafiten har serpentiniserats i en högre P, T-regim än då lizardit och krysotil dominerar. De undersökta låg-Al-ultramafiterna i det svenska materialet uppvisar antigorit som det helt dominerande mineralet.

Fe-substitution i serpentinmineral och brucit är en funktion av temperaturen vid låg syrefugacitet (Moody 1976). Med ökande temperatur ökar magnetitbildningen. Närvaro av awaruite (NiFe) och gediget Fe indikerar starkt en lokalt mycket reducerande miljö (Nickel 1959, Ramdohr 1967, Dick 1974, Ashley 1975). Isotopstudier visar att ursprunget för de lösningar, som är involverade i serpentiniseringsprocessen, är mycket varierande (Barnes & O´Neil 1969; Barnes et al. 1972). Ökande bor-halt i serpentiniter indikerar t.ex. havsvattenursprung för en del av lösningarna.

Serpentinisering kan äga rum med konstant kemisk sammansättning (Coleman & Keith 1971) under volymökning (Hostetler et al. 1966), eller under konstant volym med ändringar i den kemiska sammansättningen (Condie & Madison 1969). Detta kan ha betydelse för serpentiniseringsprocessen beroende på om den äger rum i övre manteln under allsidigt, högt tryck eller högre upp i krustan.

Talkomvandling

I ett flertal låg-Al-ultramafitmassiv har en markant talkomvandling iakttagits. Denna talk är ofta associerad med sekundär magnesit. Både talken och magnesiten förekommer i allmänhet i massivens ytterkanter. Vissa massiv är dessutom kraftigt uppspruckna och talk/magnesit är då knutna till sprick- och rörelsezoner. Talk-magnesitzonerna har troligen bildats från antigorit genom reaktion med CO_2-rika, hydrotermala lösningar. Du Rietz (1935) förklarar täljstensförekomsterna (talk/karbonat) i Frostviken, norra Jämtland, genom reaktioner mellan ultramafiterna och omgivande berggrund (amfiboliter) på grund av hydrotermala lösningar. Amfiboliten kloritiseras i kontakten och av olivinen i ultramafiten bildas aktinolit-tremolit-seriens amfiboler. Olivin och pyroxen omvandlas också till klorit och antigorit genom tillförsel av H_2O.

7. Mineralogi

Ultramafiternas mineralogi och texturella förhållanden har undersökts i ca 230 tunnslip, mestadels från låg-Al-ultramafiter. Av dessa undersöktes 38 st på mikrosond, valda att representera olika lokaler från hela undersökningsområdet, i syfte att illustrera ultramafiternas mineralkemiska variationer. Dessa mineralkemiska undersökningar koncentrerades till nickel- och kromförande faser. Varierande olivin- och pyroxengenerationer analyserades jämte mineralen antigorit, pentlandit, heazlewoodit samt zonerade spineller.

Olivin

Mineralet olivin är jämte antigorit det klart dominerande mineralet i de undersökta låg-Al-ultramafiterna. Det texturella utseendet varierar mellan duniternas i stort granulära texturer till de serpentiniserade peridotiternas folierade och sönderbrutna olivintexturer. Tre typer av olivintexturer förekommer i låg-Al-ultramafiterna.

Den första (äldsta) olivintexturen (fig. 9) uppträder som grovkorniga, deformerade, relikta olivinkorn (porfyroklaster), som kan vara upp till 5 cm långa och de är ofta utsträckta i förskiffringsriktningen (S2). Porfyroklasterna är vanligtvis polygoniserade i individuella subkorn och dessa har vanligtvis samma optiska orientering. Subkornen är oftast oregelbundet formade och den längsta dimensionen är parallell till själva porfyroklasten. Porfyroklasten, med sina subkorn, uppvisar en undulös utsläckning.

Den andra olivintexturen (Fig. 9) karakteriserar rekristalliserad olivin eller olivin nybildad från serpentin. Texturen är vanligast i ultramafiter belägna i högre metamorf omgivning (Seve). Olivinen visar normalt en undulös utsläckning och vanligtvis en klar orientering som definierar förskiffringen (S2). Denna olivintextur uppvisar ett polygonalt mönster med "tripple junctions". Texturen benämnes här foam-textur och den påminner ibland om subkornen i porfyroklasterna. Viktigt är att varje individ av olivinerna med foam-textur har egen optisk orientering.

Den tredje olivintexturen (mortar-textur) tycks härröra från båda ovannämnda typer (Fig. 10) och den visar ingen deformation.

Dessa tre olivintexturer representerar troligen en kristallisationssekvens från primär magmatisk fas till sen metamorf fas.

Olivinernas kemiska sammansättning beskrivs som en kontinuerlig blandningsserie mellan forsterit ($Fo=Mg_2SiO_4$) och fayalit ($Fa=Fe_2SiO_4$). Forsterithalten varierar i 48 analyserade oliviner mellan 88.8-97.3% Fo (Stigh 1979a). Olivinporfyroklasterna har den högsta Fo-halten (94.3%), följt av de foam-texturerade olivinerna (91.2% Fo) och lägst Fo-halt har de mortar-texturerade olivinerna med 90.5%.

Nickel är bundet till olivinerna (silikatbundet) och 4 mikrosondanalyser av detta mineral från Seveberggrunden (Tabell 7) ger ett medelvärde på 0.23 wt % Ni (Wahlström & Stigh 1978). Medelvärdet för 4 undersökta olivinporfyroklaster från Köli ger 0.30 wt % Ni. Kihlstedt (1974) rapporterar lägre värden från Graipesvare och Murfjället (0.01-0.04 wt %).

Olivinens Ni-innehåll är av speciellt intresse i samband med nickelutvinningsproblematiken. Primära, magmatiska oliviner anses ha en hög Ni-halt, medan den bör vara låg i sekundära, metamorft bildade oliviner. Dessa frågor är dock inte helt klarlagda beträffande olivingenerationerna i de svenska ultramafiterna. Kihlstedt (1975) konstaterade att "om olivinkornen hade låg nickelhalt i relation till den totala nickelhalten, hade man utsikter att utvinna stor andel av bergartens nickelinnehåll som floterbara sulfider". Olivinens nickelhalt får naturligtvis minskad betydelse i takt med att bergartens olivininnehåll minskar i samband med serpentiniseringen.

Användning

Dunit (olivinit) har bl.a. brutits av Höganäsbolaget vid Kittelfjäll för framställning av gjutsand. Avgörande är härvidlag främst forsterithalten, vilken i de flesta av fjällkedjans ultrabasiter är hög nog för att ge en hög smälttemperatur.

Under senare år har olivin (dunit, olivinit) provats för rening av avloppsvatten och som alternativ till kalkning av försurade vattendrag. Olivin har förmåga att bl.a. adsorbera tungmetaller och fosfater och har långtidsverkan genom buffring av pH vid 9 à 10 (Kihlstedt 1979).

Ultramafiska bergarter används p.g.a. sitt höga olivin/magnesiuminnehåll som slaggbildare vid järnframställning. Handöl har vissa tider levererat peridotit till LKAB.

Pyroxener

Ortopyroxenen enstatit är jämte olivin det klart dominerande normativa mineralet i låg-Al-ultramafiterna. Modalt förekommer både ortopyroxen (opx) och klinopyroxen (cpx).

Ortopyroxen

Modalt är halten ortopyroxen kraftigt varierande (0-35%). En svag färgton samt optisk negativitet med 2V ungefär lika med 80^{o} indikerar en brozitisk enstatit. Kristallerna är anhedrala till euhedrala och oftast deformerade. Ortopyroxenernas kemi framgår av Fig. 11.

Klinopyroxen

Klinopyroxen uppträder sparsamt till ganska rikligt (enstaka massiv) i låg-Al-ultramafiterna och är optiskt identifierade som diopsider, ofta med en koncentration av malmmineral i den centrala delen. Klinopyroxenernas kemi framgår av Fig. 11.

Serpentingruppens mineral

Antigorit är det helt dominerande serpentinmineralet i fjällberggrundens ultramafiter. Mest allmänt förekommer antigorit i serpentiniterna, och serpentiniternas texturer domineras helt av antigoritens utveckling. Då olivin förekommer i serpentiniterna, uppträder olivinkornen helt omgivna av antigoritlister, som i sin tur åtminstone delvis ligger i amorf serpentin. Ibland uppträder antigoritlister inne i olivin och pyroxen, med en orientering som vanligtvis inte är relaterad till sprickor eller kristallytor i värdmineralet.

I en del serpentiniserade ultramafiter, där delvis antigoritiserad olivin förekommer i mindre mängd, är olivinen ofta koncentrerad till band växellagrande med antigoritrika lager. Olivin- och antigoritbanden är ofta veckade och tremolitisk amfibol har utbildats i axialplanen.

Sammanfattningsvis kan sägas att ett flertal texturella typer av antigorit förekommer i serpentiniterna, varav de fyra mest framträdande typerna är:

(i) euhedrala antigoritlister
(ii) bastitisk antigorit som uppträder som stora pseudomorfer efter pyroxen
(iii) finkornig, icke folierad antigorit som ger en homogen massa, i vilken olivinrelikter kan förekomma
(iv) folierad finkornig ställvis muskelformad antigorit, där antigoriten uppträder som radiära, fibrösa aggregat.

Antigoriten varierar i sammansättning (Tabell 8), bl.a. beroende på halten av associerat magnesiumkarbonat (dolomit eller magnesit). I serpentiniter, som innehåller mer än 10% magnesiumkarbonat, är antigoriten järnrikare i jämförelse med serpentiniter med lägre karbonatinnehåll. Det syns som om antigorit i närvaro av CO_2 bildar Mg-förande karbonat + Mg-fattig antigorit (med eller utan talk).

Nickelinnehållet i antigorit från serpentiniter rika på Mg-karbonat är eventuellt högre än i antigoriter från serpentiniter fattiga på Mg-karbonat (Wahlström & Stigh 1978). Prov JS 76012 är intressant (Tabell 8). Nickelhalten i bergarten är 0.41% Ni, svavelhalten <0.02%. Analysen visar att antigoriten håller 0.24% Ni. Detta är betydligt högre än medelvärdet för de 11 analyserade antigoriterna, som ligger på 0.11% Ni. Medelvärdet för 8 analyserade antigoriter från Graipesvare, Murfjället och Rotiken (Kihlstedt 1974) uppgår till 0.10% Ni. Detta betyder, p.g.a. serpentiniternas höga antigorithalt, att en stor del av bergartens totala nickelinnehåll sitter bundet till antigorit.

Användning

Huvuddelen av världsproduktionen av asbest kommer från serpentinmineralet krysotil. Det uppträder i regel som tunna gångar (sprickfyllnader) i ultrabasiska bergarter. Gränsen för ekonomiskt utnyttjande går vid 2-4% fibrös asbest (pers. comm., Asbestos Mine, 1972).

Krysotil är inte vanligt förekommande i de svenska ultramafiterna. Relativt hög frekvens av serpentinasbestsprickor har observerats i massiver vid Bleriken, öster om Virisen (24F). Du Rietz (1935, s. 246 ff) beskriver krysotil som ett bergartsbildande mineral, dock allt för kortfibrigt för ekonomiskt utnyttjande.

Talk

Talk förekommer rikligt i täljsten och uppträder i regel tillsammans med magnesit ($MgCO_3$). En kemisk analys av ett talkprov från Vinberget ger 62% SiO_2, 32% MgO, 0.05% Al_2O_3 och 5% H_2O.

Användning

Talk som mineral och som huvudkomponent i bergarten täljsten (soapstone) har teknisk användning. Brytning sker vid Handöl i Jämtland och täljstensförekomster har registrerats bl.a. vid Vinberget och Sundsberget, norr och söder om Säjman i Västerbotten, och vid Vietjervaratj i Norrbotten (se nedan).

I de flesta fyndigheter, som kan komma ifråga för nickelutvinning, tycks talkinnehållet vara obetydligt, ojämnt fördelat och knappast kunna utnyttjas som biprodukt.

Övriga silikatmineral

Övriga mineral som förekommer i ultramafiterna är biotit (små mängder i vissa peridotiter), klorit (små mängder i de flesta ultramafiter), antofyllit (sällsynt), tremolitisk amfibol (accessoriskt i vissa ultramafiter) samt cummingtonit (accessoriskt).

Karbonatmineral

Karbonatmineralen i låg-Al-ultramafiterna varierar i sammansättning mellan kalcit ($CaCO_3$), dolomit ($(CaMg)CO_3$) och magnesit ($MgCO_3$). Magnesit och dolomit med ökat järninnehåll benämnes breunnerit resp. ankerit.

Sammanlagt har 51 karbonater från skilda ultramafitmassiv bestämts. Proverna är tagna dels från sprickor, dels från själva bergarten. De är fördelade på både detritiska serpentiniter och massiva, solitära låg-Al-ultramafiter (Tabell C).

KARBONAT	MASSIVA LÅG-AL-ULTRAMAFITER		DETRITISKA SERPENTINITER	
	Bergarts-bildande	Sprick-mineral	Bergarts-bildande	Sprick-mineral
Kalcit	5	0	2	2
Dolomit	5	0	4	1
Magnesit	4	6	10	2
Breunnerit	0	1	0	0
Ankerit	4	3	1	1

Tabell C: Fördelning av undersökta karbonatmineral.

Karbonatmineralet magnesit är klart dominant och förekommer både som bergartsbildande mineral och som sprickmineral. Fe-halten är i regel låg.

Användning

Innehållet av magnesit är troligen ojämnt fördelat mellan och inom massiven. Broman (1976) anger värden på 2-15% magnesit/breunnerit för Köli-serpentiniter, max. 22%. Produkten kan troligen floteras ut i samband med nickel-koboltutvinning. Magnesit och breunnerit kan, tillsammans med brucit ($Mg(OH)_2$, se nedan) utnyttjas som råvarubas för biproduktframställningar på magnesiaområdet.

Brucit

Mineralet brucit ($Mg(OH)_2$) har endast identifierats i ett röntgendiffraktionsprov (Tabell 5). Halten har emellertid av Broman (1976) bedömts uppgå till 3-5% (max. 12%) i undersökt Köli-material. Han konstaterar att de utvinnbara magnesiummängder, som ställs till förfogande om en nickelutvinning kommer till stånd, är enorma. Till stor del emanerar dessa från brucit.

Spinellgruppens mineral

De järn-kromrika spineller, som är aktuella i detta sammanhang, benämnes, med avtagande kromhalt, kromit, ferrit-kromit, krom-magnetit och magnetit.

Spineller förekommer alltid i låg-Al-ultramafiterna. Volymprocenten varierar mellan 2-10%. Spinellerna är oftast zonerade med en transparent, Mg-Al-rik kromit eller en opak, Mg-Al-fattig kromit i de centrala delarna. Kärnan är normalt omgiven av en ferrit-kromit eller en krom-magnetit, men i en del spineller förekommer även Mg-Al-fattig kromit utanför kärnan. Troligen är Mg-Al-kromiterna primära. Vid serpentiniseringen kristalliserade magnetit eller kromförande magnetit i kantzonen (rim, Fig. 12). Magnetitens Ni-halt är ungefär 0.80 wt % (Fillippides & Annersten 1980). Spinellernas kemi och grupperingar framgår av Tabell 9 och 10.

Den kemiska sammansättningen av spinellerna (Fig. 13) visar en trend med kromitrika kärnor och magnetitkantzoner i spineller från serpentiniter belägna i låg-metamorf Köli. Spinellerna från den högre metamorfa Seven

visar en mer homogen ferrit-kromitisk sammansättning. Detta kan vara resultatet av att den prograda metamorfosen i Seve homogeniserade spinellerna, efter det att de tidigare varit zonerade med magnetitkantzon i serpentiniten. Serpentiniterna dehydrerades vid samma tillfälle.

Spinellernas zonering framgår även tydligt av de analyser som Kihlstedt (1974) redovisar för Köli-serpentiniterna. De benämnes dock av honom magnetit, kärna resp. kantfas.

Sulfidmineral

Sulfider förekommer som heazlewoodit (Ni_3S_2), pentlandit ($NiFeS_2$) och, främst i cortlandit, som magnetkis (Fe_6S_7). Både heazlewoodit (ca 70% Ni) och pentlandit (ca 33% Ni) är utnyttjbara Ni-mineral. Övriga sulfider är endast accessoriska. Trots att koncentraten (Kihlstedt 1974) uppvisar vissa halter av koppar, zink och bly, har kopparkis, zinkblände eller blyglans inte identifierats i det normala ultrabasitmaterialet. I speciella prover (t.ex från Atoklinten) uppträder dock kopparkis (tillsammans med malakit). Liknande observationer omnämnes också av Du Rietz (1955).

Heazlewoodit (Ni_3S_2)

Heazlewooditen är alltid anhedral och kornformen är rundad (Fig. 14). Färgen är svagt men rent vitgul och reflektansen är relativt hög, ca 55%. Anisotropin är relativt tydlig och är den viktigaste diagnostiska faktorn. Heazlewooditen är ibland hopväxt med magnetit och ibland också med pentlanditen, varur den också bildas (pentlandit + O_2 → heazlewoodit + magnetit + SO_2; Ramdohr 1969).

Den kemiska sammansättningen av heazlewoodit i 10 undersökta polerprover (Tabell 11) från Köliultramafiter (Guzman 1976, Wahlström & Stigh 1978) ger ett medelvärde som nära nog överensstämmer med den ideala formeln för heazlewoodit, Ni_3S_2. Kihlstedts analyser (1974) är något ofullständiga.

Pentlandit ($NiFeS_2$)

Även pentlanditen är anhedral och kornformen rundad. Färgen är krämvit och jämfört med heazlewooditen verkar pentlanditen blekare och brunrödare i tonen. Reflektansen är ca 50%. Pentlanditen är isotrop och det är denna egenskap som gör det möjligt att skilja pentlanditen från heazlewooditen.

Ni-halterna i pentlanditen är oftast tämligen konstanta (Wahlström & Stigh 1978), men däremot varierar Co-, Fe- och S-halterna mer markant.

Medelvärdet för pentlanditens kemiska sammansättning i de 2 svenska undersökta polerproverna från låg-Al-ultramafiter i Köli (Tabell 12) överensstämmer väl med undersökta pentlanditer från Tröndelag i Norge samt från Graipesvare och Rotiken i Västerbotten (Kihlstedt 1974). Kihlstedt anger dock avvikande sammansättning för pentlanditer från Murfjället, Västerbotten.

Sammansättningen hos pentlandit är således mera varierande än vad den är för exempelvis heazlewoodit. Du Rietz (1955) anser utifrån polerprovsundersökningar att kobolt uppträder i samma mineral som nickel. De nu utförda mikrosondundersökningarna visar att pentlanditen är den huvudsakliga bäraren av peridotitmalmernas koboltinnehåll.

Magnetkis (Fe_6S_7)

Magnetkis har enligt Kihlstedt (1974) påträffats i prover från Murfjället och Rotiken (Gränssjö). Wahlström & Stigh (1978) rapporterade magnetkis i endast ett av mer än 40 undersökta prover. Bergarten är i det senare fallet en cortlandit och tillhör Seven. Mikrosondanalyser redovisas i Tabell 13. De antyder låga såväl Ni- som Co-halter i magnetkisen.

Övriga malm/sulfidmineral

Pyrit (FeS_2) rapporteras i ett prov från Rotiken, Västerbotten (Kihlstedt 1974). Mikrosondanalys anger 0.25% Ni och 1.45% Co. Nickelhaltig pyrit har observerats i ett flertal tillfällen av Du Rietz (1955). Enligt föreliggande undersökning torde pyrit vara sällsynt förekommande.

Bravoit ($(NiFeCo)S_2$) och markasit (FeS_2) har påvisats av Du Rietz (1955).

I en mineralkemisk undersökning, utförd av Filippidis och Annersten (1980) på borrkärna från Vinberget, Västerbotten, har mineralen millerit (NiS), awaruit (NiFe, med 70-75% Ni), breithauptit (NiSb) och maucherit (Ni_4As_3) påträffats. Wahlström & Stigh (1978) har identifierat ett NiAs-mineral, troligen maucherit, i en serpentiniserad peridotit från Storjola.

8. Halter och variationer av ekonomiskt intressanta element

För att kunna ge en översiktlig bild av halter och variationer av intressanta element i fjällkedjans ultramafiter (och i vissa gabbro-bergarter) har en uppdelning gjorts i följande huvudgrupper:

- Låg-Al-ultramafiter
- Detritiska serpentiniter
- Hög-Al-ultramafiter
- Gabbro
- Övriga

En komplett förteckning över de bergartsbeteckningar (ROCKTYPE och NORM) som använts, lämnas i förklaringen till datalistan (rapport BRAP 81523).

Variationerna inom låg-Al-ultramafiterna med avseende på olivininnehåll och serpentiniseringsgrad är ur teknisk och ekonomisk synpunkt intressanta. I Tabell 14-21 har därför följande underavdelningar urskiljts:

1) Olivinrika låg-Al-ultramafiter: Duniter och oliviniter.
2) Olivinförande låg-Al-ultramafiter: Peridotiter.
3) Serpentinrika låg-Al-ultramafiter: Serpentiniserade peridotiter och serpentiniter. Dessutom redovisas två detaljprovtagna massiv, ett från Seve (Rotiken) och ett från Köli (Vinberget).

De detritiska serpentiniterna behandlas som en enhet. Två detaljprovtagna massiv (Hapkebakte och Kroksjön) redovisas separat.

Någon uppdelning av hög-Al-ultramafiter, gabbro och övriga har inte genomförts, utan dessa grupper behandlas som helheter.

För de olika bergartsgrupperna har dessutom en uppdelning gjorts på tektoniska enheter enligt de principer som redovisats tidigare i denna rapport.

Provmaterialet är relativt jämnt fördelat på ultrabasiska massiv från södra Jämtland till norra Norrboten (Fig. 1, 2 A-C). Vissa förekomster har visserligen provtagits mera intensivt, t.ex. Rotiken (Seve), Vinberget, Hapkebakte och Kroksjön. Därvid har emellertid analyserna medelvärdesberäknats och endast ett eller (om massivet är stort) några medelvärden har utnyttjats för att beräkna resp. bergartstyps medelhalter av elementet ifråga.

Nickel (Ni)

Nickel är ur prospekteringssynpunkt det mest intressanta elementet. Ultramafiska bergarter av låg-Al-typ har i regel höga halter av nickel. Turekian och Wedepohl (1961) anger 2 000 ppm som ett medelvärde för sådana bergarter i jordskorpan. En motsvarande Ni-halt (i regel 0.20-0.25%) betraktar också Du Rietz (1955) som ett medelvärde för den svenska fjällkedjans peridotiter. Kihlstedt (1974, 1979) redovisar ett nickelvärde på 0.23-0.25% Ni som representativt för de svenska ultramafiterna.

I föreliggande undersökning utgör totala antalet utförda Ni-analyser 760 st. Medelvärdet för 367 jämförbara analyser av solitära, massiva, låg-Al-ultramafiter redovisade i denna rapport (Tabell 14) är 0.25% Ni.

I de primära, magmatiska ultramafiterna är merparten av nicklet bundet till olivin. Detta beror på isovalent isomorfism av Ni, Fe och Mg (Williams 1959). Under ultramafiska bergarters kristallisation minskar mineralens Ni-halt från den tidigt bildade olivinen över pyroxener till hornblände, om detta senare mineral förekommer (Edelstein 1963).

Nickel uppträder alltså markant associerat till magnesium i det magmatiska stadiet. Vid serpentinisering stannar merparten av nicklet kvar i massivet och kan då gå in i nybildade sulfider, i serpentingruppens mineral eller i den nybildade magnetiten. Hess och Otalora (1964) rapporterar visserligen att medelvärdet för nickel i serpentiniter från Puerto Rico är högre än i den icke serpentiniserade, ursprungliga ultramafiten.

Detta strider mot den allmänt accepterade hypotesen om nicklets stabilitet under serpentiniseringsprocessen, och kan möjligen bero på att de inkluderar detritiska serpentiniter i sin serpentinitgrupp.

Genomsnitt och spridning

Genomsnittshalten av nickel för olika ultramafiska bergartsgrupper och massiv i den svenska delen av fjällkedjan framgår av Tabell 14 och Fig. 15. Kompletterande uppgifter beträffande spridning och standarddeviation lämnas i analysbilagan (rapport BRAP 81523).

Medelvärdet för samtliga låg-Al-mafiter, 0.249% Ni, överensstämmer väl med de av Du Rietz och Kihlstedt beräknade (antagna) medelhalterna av nickel. I de detritiska serpentiniterna är medelvärdet något högre, 0.278% Ni, medan det i enskilda, detritiska massiv, som t.ex. Hapkebakte, uppgår till 0.328% Ni. Det förefaller således klarlagt att den vittrings-, erosions- och sedimentationsprocess, som leder till avsättning av de detritiska serpentiniterna, också resulterar i en förhöjning av nickelhalten. Liknande förhållanden råder beträffande krom och ädelmetaller (se nedan).

Hög-Al-ultramafiternas nickelhalter är avgjort lägre och saknar intresse ur ekonomisk synpunkt.

Nickelmineralogi

Nickel kan vara bundet till olivin, serpentin (antigorit), sulfidmineral och magnetit. Olivinernas sammansättning och nicklets affinitet till detta mineral har tidigare beskrivits. Magmatiskt bildad olivin bör ha höga nickelhalter, medan olivin, som kristalliserat t.ex. vid prograd metamorfos av serpentiniter vid visst svaveltryck, kan förväntas ha lägre nickelhalter. Denna problematik är dock ej helt klarlagd. Den tycks för tillfället ha mindre betydelse, eftersom de serpentinrika bergarter, som har aktualitet ur nickelutvinningssynpunkt, i stort sett helt saknar olivin.

Serpentinitens huvudsakliga nickelbärare är sulfider, heazlewoodit (Ni_3S_2) och pentlandit ($NiFeS_2$). Enligt Kihlstedt (1974) utgörs 2/3 av sulfidinnehållet av heazlewoodit. En betydande del av nicklet är dessutom bundet till antigorit. Data beträffande dessa mineral har lämnats i ett tidigare kapitel.

Nybildad magnetit kan ha en nickelhalt på 0.8 vikts-%. Magnetithalten är emellertid totalt sett så låg, att detta saknar betydelse ur nickelutvinningssynpunkt.

Bedömning och slutsats

Ur prospekteringssynpunkt är nicklet i sulfidmineralen och i antigoriten av störst intresse och kan få stor ekonomisk betydelse. Detta betyder att prospektering i Köli generellt sett har större förutsättningar än i Seve pga. ultramafiternas högre serpentiniseringsgrad i Köli.

Undersökningen har också visat att det generellt sett förekommer högre halter av nickel i de detritiska serpentiniterna än i de massiva låg-Al-ultramafiterna. De detritiska serpentiniterna framstår som de klart bästa prospekteringsobjekten. Högsta medelhalter har Hapkebakte och nivån i detta massiv är dessutom mycket jämn.

Kihlstedt har (1974, 1979) gjort vissa kalkyler beträffande nickelutvinningens ekonomi. Det visade sig nämligen att ca 90% av det sulfidbundna nicklet kunde fås att flotera. Redan vid en utvinningsbar halt på 0.13-0.15% Ni ansågs projektet ge acceptabel kostnadstäckning. Detta beror i första hand på koncentratets höga Ni-halt, 35-55%, vilket i sin tur är betingat av att nickelbäraren i huvudsak utgörs av heazlewoodit (Ni_3S_2 med över 70% Ni). Om den ingående halten kan höjas från 0.23% Ni i de massiva ultrabasiterna till $\geq$0.33% Ni i de detritiska kan, vid en 70%-ig utvinningsgrad,utbytet väntas öka med ca 50%, till 0.23% Ni. Detta torde ha en revolutionerande effekt på nickelutvinningens ekonomi. Dessutom kvarstår möjligheten att inom de detritiska massiven prospektera fram tonnage med ännu högre medelhalter.

Krom (Cr)

Krom förekommer i relativt normala halter i fjällens låg-Al-ultramafiter. Du Rietz (1955) anger krom-innehållet till omkring 0.27% Cr, vilket är ett tämligen genomsnittligt värde över hela världen för krom i ultrabasiska bergarter med låga Al-halter. Broman (1976) uppskattar ultrabasiternas innehåll av krom till 0.3-0.5% Cr_2O_3, motsvarande ca 0.27% Cr.

Totala antalet utförda kromanalyser i den svenska delen av fjällkedjan är i föreliggande material 772 st. Medelvärdet för 366 jämförbara analyser av solitära, massiva, låg-Al-ultramafiter, redovisade i denna rapport, är 0.26% Cr (Tabell 15). I den ovan redovisade provtagningen har i fält synliga spinellanrikningar undvikits. Sådana kromitansamlingar förekommer framförallt i Sevens olivinrika ultramafiter.

Genomsnitt och spridning

Genomsnittshalter av krom för olika ultramafiska bergartsgrupper och massiv i den svenska delen av fjällkedjan framgår av Tabell 15 och Fig. 16. Kompletterande uppgifter beträffande spridning och standarddeviation lämnas i analysbilagan (rapport BRAP 81523).

Medelvärden för olika grupper av låg-Al-ultramafiter i Seve och Köli varierar mellan 0.18-0.29% Cr (Tabell 15). De detritiska serpentiniterna har ett medelvärde på 0.42% Cr och når i Hapkebakte och Kroksjön upp till 0.49 resp. 0.60% Cr. Det torde här röra sig om en tungmineralanrikning i samband med sedimentationsprocessen.

Hög-Al-ultramafiternas innehåll av krom är lägre. Gruppens totala medelvärde ligger endast på 0.16% Cr och saknar ekonomiskt intresse. Halterna är ännu lägre i gabbrobergarterna, 0.07% Cr.

Krommineralogi

Krom är bundet till spinellerna och särskilt till spinellkornens centrala del. Kromitkornen har oftast en tunn, yttre randzon av sekundär magnetit. Spinellernas mineralogi och kemi har tidigare beskrivits.

Bedömning och slutsats

Ur prospekteringssynpunkt, avseende krom, är förmodligen vissa av Sevens olivinrika duniter, oliviniter och peridotiter mest intressanta. Deras spineller har mindre magnetit i kantzonerna och en jämnare fördelning av krom inom kornen. I vissa massiv (t.ex. Aunere, Rotiken (Seve) och Rautas) har sliror och körtlar av kromitider observerats. Vid brytning av serpentiniterna för nickelutvinning är kominnehållet ej intressant annat än som biprodukt. Broman (1976, sid. 53) redovisar: "Försök har gjorts att separera krom- och järninnehåll och anrika respektive godsdel till marknadsmässigt intressant halt, men på grund av den komplexa samkristallisationen har hittills inga positiva resultat uppnåtts". Kihlstedt (1979) anger att magnetit-kromiterna, till innehållet ca 3-7 viktsprocent av råmalmen, är väl utkristalliserade och lättanrikade men föga undersökta. Han anser att krominnehållet möjligen kan ge upphov till en biproduktshantering. De förhöjda kromhalterna i de detritiska serpentiniterna (t.ex. Kroksjön) kan eventuellt ge kromutvinningen en ökad betydelse.

Kobolt (Co)

Bland de bergarter som förekommer i jordskorpan, har ultramafiterna de högsta koboltkoncentrationerna. Låg-Al-ultramafiter (Alpin-typ) har dock inte högre koncentrationer av detta element än andra ultrabasiska bergarter. Medelvärdet enligt ett antal olika författare anges till 100-200 ppm (Hovorke 1977). Geokemiskt följer kobolt Mg- och Fe. Kobolt kan vara bundet till oxidfas, såsom spineller (Jensen & Bateman 1979). Accessoriskt förekommer det i pentlandit och millerit (Hovorka 1977).

Genomsnitt och spridning

Genomsnittshalter av kobolt för olika ultramafiska bergartsgrupper och massiv i den svenska delen av fjällkedjan framgår av Tabell 16. De flesta av dessa analyser är semikvantitativa (jumbo). Kompletterande uppgifter beträffande spridning och standarddeviation lämnas i analysbilagan (Rapport BRAP 81523).

Medelvärden för kobolt i de olika grupperna låg-Al-ultramafiter ligger mellan 90-150 ppm Co. Liksom beträffande Ni och Cr är halterna högre i de detriska serpentiniterna och uppgår i Hapkebakte till 172 ppm.

Hög-Al-ultramafiterna har något lägre kobolthalter, ca 110 ppm, och ännu lägre är halterna i gabbrobergarterna (ca 80 ppm).

Kobolthaltiga mineral

Kobolt bildar inga "egna" mineral i de ultrabasiska bergarterna. Huvuddelen av kobolthalten är bunden till pentlanditen, där Co ingår omväxlande med Fe i dess gitter ($Ni(Fe,Co)S_2$). Förekommande pentlandit är mycket koboltrik (Tabell 12). Pyrit är ofta en bärare av kobolt. Pyrit från Rotiken (Broman 1976) har visat sig innehålla 1.45% Co, men mineralet uppträder normalt inte i ultrabasiterna.

Bedömning och slutsats

Trots de till synes låga kobolthalterna i råmaterialet kan kobolt komma att ge ett mycket viktigt ekonomiskt tillskott. Tillsammans med nicklet kan kobolt bringas att flotera med högt utbyte. Enligt Kihlstedt (1979) uppgår kobolthalten till ca 5% av nickelhalten. De höghaltiga koncentraten (Broman 1976) innehåller vid 45% Ni 2.5% Co. Detta överensstämmer mycket väl med de här redovisade resultaten. Nickel/koboltförhållandet ligger i regel omkring 20:1. För de detritiska serpentiniterna stiger det ända till 16:1. Du Rietz (1955) uppskattar nickel/koboltförhållandet till 8:1, ofta 6.8:1, i enstaka massiv ända upp till 1:1. Som jämförelse kan nämnas att Ni:Co-förhållandet i Lappvattnet-Rörmyrberget m.fl. urbergsförekomster varierar mellan 25:1 ned till 100:1.

Koppar (Cu)

Koppar förekommer i ringa omfattning i ultrabasiska bergarter. Turekian och Wedepohl (1961) anger Cu-innehållet i ultrabasiska bergarter till 10 ppm. Medelhalten av koppar i de provtagna låg-Al-ultramafiterna i den svenska delen av fjällkedjan uppgår till 30 ppm (Tabell 17) och är således något över det normala för ultrabasiska bergarter. Sprickmineraliseringar med kopparkis och starkt kopparimpregnerade delar eller massiv, (t.ex. Atoklinten) har inte provtagits.

De detritiska serpentiniterna har låga halter av koppar, ca 10 ppm. Hög-Al-ultramafiterna har något högre medelvärde (80 ppm) och i gabbrobergarterna uppgår det till 70 ppm.

De framtagna koncentratens (Broman 1976) halt av koppar (0.15%) står i samma proportion till dess halt av kobolt (2.5%) som proportionen koppar/kobolt i de detritiska serpentiniterna (10 resp. 170 ppm). Detta antyder att koppar floterar som sulfid med mycket högt utbyte. Kopparkis har observerats i polerprov och är den troliga bäraren av bergartens kopparhalt. Den saknar dock ekonomisk betydelse.

Zink (Zn)

Zink förekommer i mycket små mängder i ultramafiska bergarter. Medelhalten av zink i låg-Al-ultramafiterna framgår av Tabell 18. Samtliga bestämningar av zink är utförda på jumbo och således semikvantitativa. Medelvärdet för låg-Al-ultramafiterna är 34 ppm, enligt en manuell överlagsberäkning. Halterna för Hapkebakte (40 ppm) och Kroksjön (56 ppm) indikerar ett något högre innehåll av Zn i de detritiska serpentiniterna.

Koncentratens (Broman 1976) halt av zink, 0.41%, innebär likaledes ett högt utbyte, vilket antyder att zink förekommer som sulfid. Zinkblände har dock aldrig observerats. Zinkhalterna saknar ekonomisk betydelse.

Bly (Pb)

Även bly förekommer i mycket låga koncentrationer i ultramafiska bergarter. Genomsnitt för bly i låg-Al-ultramafiter från fjällen framgår av Tabell 19 (jumbovärden). Halterna är låga såväl i låg-Al-ultramafiterna (22 ppm) som i de detritiska serpentiniterna (18 ppm).

Graipesvarekoncentratets (Broman 1976) blyhalt (0.59%) är i relation till ultramafiternas medelhalter förvånansvärt hög. Blyglans har inte observerats och blyinnehållet saknar ekonomisk betydelse.

Vanadin (V)

Vanadin bildar inga egna separata mineral i den magmatiska kristalliseringsprocessen. Det ersätter Fe^{3+}, Al^{3+}, Ti^{4+} och eventuellt även Cr^{3+}, Ti^{3+}, Mg^{2+} och Fe^{2+} i järn-, aluminium- och titanmineral. Det är normalt bundet till mörka mineral som pyroxen (140 ppm), hornblände, olivin (20 ppm), biotit och titanomagnetit (Ross et al. 1954). Ultrabasiter i allmänhet innehåller omkring 40 ppm vanadin. Vanadinhalter (jumbo) i fjällens låg-Al-ultramafiter framgår av Tabell 20. De saknar ekonomisk betydelse.

Svavel (S)

Utförda svavelanalyser på här redovisat material (Tabell 21) visar att olivinrika, icke serpentiniserade ultramafiter har mycket låga halter av svavel (0.05%), medan serpentiniterna i regel håller mellan 0.05-0.1% S. Vid låg tillgång på svavel ansamlas i första hand Ni med sin större affinitet till svavel och bildar en sulfidfas i form av heazlewoodit (Kihlstedt 1974). Vid högre svaveltillgång ansamlas även Fe och man får blandsulfider (t.ex. pentlandit och magnetkis) med allt lägre Ni-halt. Om allt nickel satt bundet som heazlewoodit, skulle svavelhalten vid 0.25% Ni uppgå till 0.09% S.

Tabell 21 visar medelhalter av svavel i de olika bergartsgrupperna. För låg-Al-ultramafiterna är svavelhalterna något högre i Köli (0.059%) än i Seve (0.034%). I Seven har de olivinrika duniterna och oliviniterna ungefär samma svavelkoncentrationer (0.036%) som peridotiter (0.036%) och serpentiniter (0.033%). I Kölin däremot har de olivinrika låg-Al-ultramafiterna lägst värde(0.022% Ni) följt av peridotiter (0.051%) och serpentiniter (0.073%). I allmänhet ökar således svavelhalten något med ökande serpentinisering. Detta stämmer dock inte för de detritiska serpentiniterna, där Hapkebakte endast har 0.020% S och Kroksjön 0.040% S. De något högre nickel- och kobolthalterna i de detritiska serpentiniterna tycks inte åtföljas av motsvarande höjning av svavelhalterna.

Hög-Al-ultramafiterna har ett medelvärde för S på 0.108%.

Guld (Au)

Guld är ett senkristalliserande element med association till sura magmatiska bergarter och halterna i ultrabasiska bergarter är normalt mycket låga.

28 st prover har analyserats på Au. Halterna har alltid visat sig ligga under metodens känslighet (0.1 g/t Au). Samma reservation som betr. platina gäller dock. Koncentratens guldhalter (Broman 1976, Kihlstedt 1974, 1979) är dock av ekonomiskt intresse. Kihlstedt (1975) anger 0.5 g/t Au för Rotikens råmalm. Detta förefaller vara ett allt för högt värde.

Silver (Ag)

Koncentrationen av silver i fjällenkedjans ultramafiska bergarter är mycket låg. Optisk spektrografi (jumbo) indikerar halter <3 ppm. 28 st prover, som kontrollerades med klassisk metodik, visade halter <5 g/t (under metodens känslighet).(Jämför också Tabell 4). Kihlstedt (1975) uppger 3 g/t Ag för Rotikens råmalm och Broman (1976) redovisar 10.3 g/t Ag för Graipesvares nickelkoncentrat.

Platina (Pt) och Palladium (Pd)

Platina och palladium tillhör en grupp närbesläktade metaller (platinagruppen), som förutom Pt och Pd dessutom omfattar osmium, iridium, rhodium och ruthenium. Platina och palladium är associerade till ultramafiska och mafiska bergarter (Jensen och Bateman 1979) tillsammans med de övriga element som är karakteristiska för dessa bergarter (nickel och krom).

Ett antal analyserade prov (Tabell 3) har uppvisat halter under känslighetsgränsen (<0.02 ppm Pt, <0.05 ppm Pd). Du Rietz (1955) bedömer att halterna i regel är <0.1 g/t Pt. Kihlstedt (pers. comm.) betonar svårigheten att erhålla tillförlitliga analyser då metallerna uppträder i relativt stora korn, slumpvis fördelade i provmaterialet. Kihlstedt (1974, 1979) anser dock att platina och palladium får stor betydelse i samband med en eventuell nickelutvinning. Koncentratens halter av dessa ädelmetaller är mycket intressanta.

IV PROSPEKTERING

1. Prospekteringsintressanta objekt eller massiv

Redan innan denna ultramafitundersökning inleddes var några mindre nickelmalmanledningar i anslutning till ultrabasiska bergarter kända i de svenska Kaledoniderna. Den ena (Jetnem) är belägen i Börgefjällets urbergsfönster i association till ultramafiska bergarter som vid nu utförd klassificering visat sig vara av låg-Al-typ. Den andra (Gammhembäcken) är belägen i Rödingsfjällsskollan. Genom utförda analyser, som dock inte redovisas i denna sammanställning, har det visat sig att mineraliseringen uppträder i ett differentierat gabbrokomplex, som i mycket beträngsad omfattning innehåller ultramafiska led av hög-Al-typ.

Bland låg-Al-ultramafiterna finns huvuddelen av de stora massiv, som genom sitt innehåll av främst nickel och kobolt utgör potentiella, låghaltiga nickelmalmer av s.k. fjällmalmtyp.

De detritiska serpentiniterna är nära knutna till dessa bergarter och utgör sedimentärt omlagrade vittringsprodukter från sådana låg-Al-ultramafiter. Genom förhöjda halter av nickel, kobolt, ädelmetaller och krom samt sitt innehåll av mineralen magnesit (-breunnerit), brucit, talk m.fl. utgör de den bergartsgrupp till vilken fortsatta prospekteringsinsatser bör koncentreras. Massiven är uteslutande belägna i Köli. Ett 20-tal större och mindre massiv är för närvarande kända i de svenska Kaledoniderna.

I det följande kommenteras ett antal tänkbara prospekteringsobjekt.

Jetnems Ni-uppslag (23E, 4g)

Lokala malmblock och ett par mindre hällar av serpentinit med Ni-haltig magnetkis påträffades i samband med blockletningsarbeten i Stekenjokkområdet 1954 (G Kautsky, pers. comm.). Kompletterande arbeten utfördes 1971 och 1978. Objektet är beläget nära norska gränsen, ungefär 7 km väster om Stekenjokk (Fig. 17) inom Stekenjokks statsgruvfält och således utanför det obrutna fjällområdet.

Mineraliseringen kan uppdelas i två typer (Tabell 22). Den utgörs dels av kompaktartade sliror och klunsar av magnetkis (S-rik typ), dels av en mycket finkornig dissemination, som dock inte analyserats på svavel. Mikroskopering har inte utförts, varför nickelmineralogien är okänd. Det torde dock röra sig om magnetkis-pentlandit. I båda typerna är proportionen kobolt relativt hög (Ni:Co = 12:1).

Fullständig bergartsanalys har utförts på 6 st prover från området. 3 st är gabbro-pyroxenit, 3 st är låg-Al-ultramafiter. Åldern är sannolikt prekambrisk.

Gammhembäckens Ni-uppslag (25F, 7a)

I samband med prospektering efter nickel i Umbukta-gabbron på norsk sida rapporterade geologer från Norsk Sulfidmalm (J Gammon, pers. comm.) att en mindre nickelmalm påträffats på svensk sida omedelbart söder om riksgränsen, norr om Överumans västra del (Fig. 18). I samband med blockletning och kartering i Storfjäll-Rödingsfjäll-områdena 1974-1975 lokaliserades denna kisanledning. Den är belägen omedelbart innanför gränsen till det obrutna fjällområdet Tärna-Graddis.

Måttlig blottningsgrad samt vittring och snölegor försvårade kartering och provtagning. Vid övertvärandet av en mindre bäck kan mäktigheten uppskattas till 1-2 m med kraftigt mineraliserad, delvis kompaktartad nickelhaltig kismalm. Analyser (Tabell 22) uppvisar höga Ni-halter, men förhållandevis låga Co-halter (Ni:Co = 41:1). Bergartshorisonten torde ha ultrabasisk karaktär (cortlandit) och är belägen i en amfibolit med genomsättande gångar och gabbroida intrusiv. Bergartskemin är av hög-Al-typ och det är troligt att massivet kan utgöra del av en lagrad intrusion eller ett ofiolitkomplex.

Objektet mättes vårvintern 1976 med slingram och magnetometer. Slingramen gav en begränsad anomali i anslutning till den påvisade mineraliseringen. För att fullfölja undersökningen borde ett antal diamantborrhål utföras. Objektet är efter förlängning inmutat t.o.m. 1982-02-19.

Hapkebakte (23E)

Av de detritiska serpentiniterna är Hapkebakte det massiv som vid de hittills utförda provtagningarna visat de jämnaste och högsta halterna av nickel (0.328%) och kobolt (172 ppm).

Området är beläget 11-12 km sydöst om Stekenjokks anrikningsverk (Fig. 19), inom nordligaste delen av Frostvikens obrutna fjällområde. Närheten till ett befintligt anrikningsverk och ett etablerat gruvsamhälle torde utgöra stora fördelar.

Bergarten utgörs av ett typiskt serpentinitkonglomerat, där bollmaterialet består av serpentinit och underordnat även talk. Bollarnas storlek är mycket enhetlig, till formen något ovala och ungefär 10 cm långa. De förekommer i en helt antigoritdominerad matrix. Konglomeratet uppträder i den lägre delen av Köli (Tjopasigruppen, Zachrisson 1969). I södra delen av serpentinitkonglomerathällen förekommer ett kvartsitkonglomerat (Fig. 19), som helt domineras av bollar av en ljus kvartsit. I detta konglomerat har två bollar av mafisk till ultramafisk sammansättning observerats (Stigh 1979a). Detaljkarta återger den utförda provtagningen och analyserna redovisas i analysbilagan. Det är anmärkningsvärt att av 46 st analyser det lägsta värdet är 0.23% Ni med endast 6 värden <0.30% Ni.

En omedelbar inmutning av objektet och igångsättande av geologiska arbeten och geofysiska mätningar rekommenderas, detta som en förberedelse för sonderande diamantborrning.

Rotiken (Gränssjö, 24F)

Serpentinitkonglomeratet vid Rotiken, 2 km öster om Gränssjö (Fig. 21), sträcker sig på ömse sidor om Saga-vägen och är beläget utanför det obrutna fjällområdet.

Kärnan av massivet utgörs av massiva serpentiniter, med pålagrade detritiska bergarter. Serpentinitkonglomeratet vid Rotiken beskrevs först av Kulling (1933). Välrundade bollar dominerar, men de uppträder tillsammans med en mindre andel något kantigare bollmaterial. Bollarnas storlek varierar vanligtvis från 2-10 cm, men en del större bollar har observerats. En del finkornigare detritiskt serpentinitmaterial med dolo-

mitiska till kalcitiska skikt uppträder inlagrade i konglomeratet. Matrix mellan serpentinitbollarna består av antigorit, talk och olika karbonatmineral, där bl.a en oregelbunden utbredning av det rödaktiga karbonatmineralet rhodokrosit har observerats (Stigh 1979a).

Objektet har inte detaljprovtagits i denna undersökning. Medelvärdet av 5 st prover visar 0.332% Ni, 0.535% Cr och 147 ppm Co. Massivet är av avgjort intresse utifrån de resultat som rapporterats av Kihlstedt (1974, 1979) och Broman (1976). Ett borrhål har utförts och det förefaller sannolikt att detta i sin övre del (till 60 m) representerar den detritiska delen, medan den djupare delen (60-80 m) ligger nere i den massiva serpentiniten.

Kroksjön (24F)

Den detritiska serpentiniten vid Kroksjön är belägen några km öster om Virisens östända(Fig. 20) och utanför de obrutna fjällområdena. Serpentinitkonglomeratet ligger i direkt kontakt med en massiv låg-Al-ultramafit. Den massiva ultramafiten och det associerade serpentinit-konglomeratet överlagrar basiska vulkaniter i Kölienhetens lägre del (Seimaformationen) och överlagras i sin tur tektoniskt (Stigh 1979a) av grafitfylliter av silurisk ålder (Broken-formationen). Bollarna i konglomeratet består av serpentinit, som domineras av serpentinmineralet antigorit, men något olivin kan förekomma. Bollarna är välrundade och varierar i diameter mellan 0.5 - 20 cm, men är normalt mellan 5-10 cm. Matrix mellan bollarna är finkornig och domineras av antigorit och karbonatmineral.

27 st analyserade prover ger ett medelvärde på 0.264% Ni, 0.597% Cr och 149 ppm Co (Tabell 14, 15, 16). Variationen mellan olika prover är något större än t.ex. för Hapkebakte.

Vietjervaratj (29G)

Under karteringar och provtagning av ultramafiter i västra Padjelanta, sommaren 1978, observerades stora talkförekomster i ultramafiten vid Vietjervaratj, mellan sjöarna Njåmmeljaure och Vietjerjaure. Massivets belägenhet framgår av Fig. 22.

Vietjervaratj är beskriven av Kautsky (1953) som en stor serpentinitkropp, tillhörande ett större stråk beläget mellan kalkmarmorbergarter och underlagrande amfibolglimmerskiffrar (kärvskiffrar). Kautsky uppmärksammade förekomst av sedimentbreccia och serpentinit-konglomerat längs massivets södra kant. Ultramafiten kan petrologiskt beskrivas som en variation från oliviniter till serpentiniter. Serpentiniseringen varierar alltså inom de olika delarna i massivet och i stort kan sägas, att de mer olivinrika bergarterna (peridotit och olivinit) förekommer i massivets västra del, medan de mer omvandlade bergarterna (serpentinit och talk) är vanligare i massivets östra del (Fig. 22).

Talk/magnesitförekomsterna är lokaliserade till nord-sydliga sprickdalar. Zoner upp till 80 m breda med mindre brottstycken av icke omvandlad ultramafit uppträder. I dessa zoner påträffas stora, välkristalliserade karbonatsegregationer, i vilka en zonering ofta kan iakttagas med spinell och ren talk.

Ett försök till beräkning av talk/magnesitförekomstens storlek i ytan gav 90 000 m^2. Vid ett vertikalt uttag på 5 m ger detta 450 000 m^3, ett mått på förekomstens storlek.

2. Rekommendationer och förslag till fortsatta prospekteringsarbeten

I det följande lämnas vissa mera generella förslag till åtgärder och arbeten som är aktuella vid fortsatta prospekteringsinsatser, främst på de detritiska serpentiniterna.

Inmutningar

De flesta av Johnsonkoncernens och Boliden Mineral AB:s inmutningar, som hölls under 1970-talet, har nu förfallit. Boliden har mutat om två områden vid Rödberget, öster om Klimpfjäll, och Johnsonkoncernen har begärt utmål på Murfjället, Graispesvare och Rotiken (Gränssjö). För att skydda NSG:s och statens intressen bör ett antal av de detritiska serpentiniterna snarast mutas in.

Geologiska arbeten

I samband med övrig kartering och kombinerat med den nu redovisade provtagningen har viss information insamlats, men i samband med förnyade prospekteringsinsatser måste samtliga utvalda objekt systematiskt detaljkarteras i skala 1:10 000 eller 1:20 000 och objektkartor i skalor 1:1 000 - 1:5 000 upprättas. Dessa syftar till detaljavgränsningar mot sidoberget och till att skilja de detritiska delarna från sina massiva modermassiv. Sådan detaljinformation är nödvändig för att bedöma area och utbredning och för att tolka och kontrollera eventuella geokemiska anomalier och geofysiska mätresultat. Förekomst och halter av magnesit, brucit, talk, asbest mm. bör också bedömas i fält men framförallt genom en mera systematisk mikroskopering. Nickel- och kobolthalten kan endast klarläggas genom fortsatt provtagning och kemisk analys. Provtagningar för parametermätningar bör också utföras för att kunna bedöma tänkbara resultat av främst magnetisk och gravimetrisk mätning.

Materialet i analysbilagan (BRAP 81523) innehåller en stor mängd data som genom fortsatt bearbetning kan lämna ytterligare information och i hög grad bidra vid planering och utförande av fortsatta prospekteringsinsatser.

Geofysiska mätningar

Geofysiska mätningar har ännu inte utförts över något objekt ur nickelprospekteringssynpunkt. Modern slingram/magnetometermätning har endast kommit att täcka en mindre del av ett serpentinitmassiv i mätområdet Kvarntjärn (kartbl. 22E Frostviken). Erfarenheterna därifrån kommenteras i det följande.

Slingram 18 kc

Kvarntjärnområdet visar som väntat att slingrammätning inte ger något utslag över själva ultramafitmassivet, vare sig detta är massivt eller detritiskt. Däremot består omgivande sidoberg, i synnerhet inom Tjopasigruppen av Köli, till stor del av mer eller mindre grafitiska fylliter med ökad ledningsförmåga. Detta kan förväntas ge god information vid avgränsning av (de detritiska) ultramafiterna mot omgivande sidoberg.

Slingrammätningen kommer dessutom att ge värdefulla upplysningar om strykningar och sidostupningar och är således nödvändiga för att planera och utföra diamantborrning.

Magnetometer

Kvarntjärnområdet visar att man kan förvänta sig att ultramafitkropparna ger magnetiska anomalier. Detta beror på deras innehåll av spinellmineral. I synnerhet i de kraftigt omvandlade serpentiniterna (och de detritiska varianterna) har magnetit nybildats i samband med serpentiniseringen. Det förefaller således troligt, att innehållet av magnetit är högre i ultramafiterna än i omgivande sidoberg. Detta bör resultera i magnetiska anomalier över ultramafiterna, vilket kan bidra till att bedöma deras utbredning utanför befintliga hällar i dåligt blottad terräng.

Gravimeter

Gravimetriska mätningar är för närvarande något mer osäkra, då serpentiniternas täthet inte nämnvärt avviker från sidobergets. En geologisk provtagning och parametermätningar bör kunna ge ett förbättrat bedömningsunderlag.

Borrning

Sedan ovan föreslagna åtgärder och arbeten utförts och utvärderats bör ett antal diamanthål borras för att verifiera resultaten och skaffa upplysningar om mäktigheter och utbredning. Halter och variationer av nickel, kobolt samt andra metaller och mineral analyseras på borrkärnematerialet. Förhoppningsvis kan man härigenom avgränsa partier med väsentligt värdefullare sammansättning. "Det måste anses helt osannolikt att man på detta forskningsstadium skulle haft förmågan och förutsättningar att välja ut de tekniskt-ekonomiskt bästa fyndigheterna och borrplatserna. Därför bör snarast en mycket noggrannare geologisk prospektering genomföras, utgående från nuvarande erfarenheter och bildningsteorier och baserad på provflotationer av friska peridotiter." (Kihlstedt 1979, sid. 84).

Tekniska undersökningar

Baserat på vår nuvarande kännedom, genom bidrag från fortsatt bearbetning av det omfattande analys- och datamaterialet och genom erfarenheter och resultat från fortsatt prospektering, bör ett förnyat tekniskt undersökningsprogram igångsättas. Då mycket av detta senare ligger utanför SGU:s kompetensområde, bör NSG om möjligt bygga på samarbete med de företag, personer och institutioner som redan tidigare haft intressen i dessa arbetsfält och där skaffat sig betydande erfarenhet.

REFERENSER

Ashley, P.M., 1975: Opaque mineral assemblage formed during serpentinization in Coolac Ultramafic Belt, New South Wales. J. Geol. Soc. Aust. 22, pp. 91-102.

Asklund, A.M., Grundulis, V. & Rönnholm, B., 1966: Wet chemical analysis of silicate rocks; a laboratory guide. C 616, 55 pp. SGU C 616, 55 pp.

Barnes, I. & O´Neil, J.R., 1969: The relationship between fluids in some fresh Alpine-type ultramafics and possible modern serpentinization, Western U.S. Bull. Geol. Soc. Am. 80, pp. 1947-1960.

Barnes, I., Rapp, J.B. & O´Neil, J.R., 1972: Metamorphic assemblages and the direction of flow of metamorphic fluids in four instances of serpentinization. Contr. Mineral. Petrol. 35, pp. 263-276.

Benson, W.N., 1926: The Tectonic Conditions Accompanying the Intrusion of Basic and Ultrabasic Igenous Rocks. Nat. Acad. Sci. Mem. 19, 1, 90 pp.

Broman, P.G., 1976: Nickel i fjällkedjan. Synpunkter på tillgångar och utvinningsmöjligheter. Föredrag vid Svenska Gruvföreningens Årsmöte 1975-11-28. Svenska Gruvföreningen Meddelande nr 144 Volym 9, pp. 13-66.

Calon, T.J., 1973: The microfabric of the Kittelfjäll peridotite. Univ. Leiden, Internal report, 52 pp..

Calon, T.J., 1979: A study of Alpine-type peridotites in the Seve-Köli Nappe Complex, Central Swedish Caledonides with special reference to the Kittelfjäll peridotite. Univ. Leiden 236 pp.

Coleman, R.G., 1977: Ophiolites. Ancient Oceanic Lithosphere? Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 229 pp.

Coleman, R.G. & Keith, T.E., 1971: A chemical study of serpentinization - Burro Mountain, California. J. Petrol. 12, pp. 311-328.

Condie, K.C. & Madison, J., 1969: Composition and volume change accompanying progressive serpentinization of dunites from Webster-Addie ultramafic body, N.C. Am. Mineral. 54, pp. 1173-1179.

Davies, H.L., 1971: Peridotite-gabbro-basalt Complex in eastern Papua, an overthrust plate of oceanic mantle and crust. Bull., 128, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. Canberra, Australia. 48 pp.

Danielsson, A., 1968: Spectrochemical analysis for geochemical purposes. In. XIII Coll. Spectroscopicum Intern., Ottawa, pp. 311-323.

Dick, H.J.B., 1974: Terrestrial nickel-iron from the Josephine Peridotite, its geologic occurrence, associations, and origin. Earth & Planet. Sci. Lett. 24, pp. 291-298.

Du Rietz, T., 1935: Peridotites, serpentines and soapstones of northern Sweden. GFF 57, pp. 133-206.

Du Rietz, T., 1955: The Content of Chromium and Nickel in the Caledonian Ultrabasic Rocks of Sweden. Geol. Fören. Förhandl. 78, pp. 233-299.

Edelstein, I.I., 1963: Petrology and nickel content of ultrabasic intrusions in the Tobol-Buryktal area of southern Urals. In. Magmatizm, metamorfism, metallogeniya Urala. Svevdlovsk, Akad. Nauk SSSR, Ural filial, 99. 319-323.

Eichstädt, F., 1884: Mikroskopisk undersökning av olivinstenar och serpentiniter från Norrland. GFF 7, F 7, 0. 333.

Filippidis, A. & Annersten, H., 1980: Mineral chemical investigation of an ultramafic nickel bearing body in the Swedish Caledonides. In. An international symposium on metallogeny of mafic and ultramafic complexes: The eastern Mediterranean - western Asia area, and its comparison with similar metallogenic environments in the world. Athens, Oct. 9-11, 1980. Abstracts, p. 36.

Flodberg, K. & Stigh, J., in prep., Uppsala Caledonide Symposium (UCS) 1981: The Umbukta Ultramafic and Mafic Complex in the Rödingsfjället Nappe, northern Swedish Caledonides.

Foslie, S. & Strand, T., 1956: Namsvatnet med en del av Frøyningsfjell, NGU Nr 156, 82 pp.

Furnes, H., Roberts, D., Sturt, B.A., Thon, A., and Gale, G.H., 1980: Ophiolite fragments in the Scandinavian Caledonides. In. Ophiolites, proceedings international symposium Cyprus 1979. Ministry of Agriculture and Natural Resources and Geological Survey Department Republic of Cyprus, pp. 582-600.

Gavelin, S. & Kulling, O., 1955: Beskrivning till Berggrundskarta över Västerbottens län. SGU Ca 37, 295 pp.

Guzman, M., 1976: Mikroskopundersökning av polerprov från Vinberget och Rotiken i Västerbotten. Opublicerad SGU-rapport, 6 pp.

Hess, H.H. & Otalora, G., 1964: Mineralogical and chemical composition of the Mayaguez serpentinite cores. In. Burk (ed.), A Study of Serpentinite. Nat. chim. Acta, London pp. 241-250.

Hostetler, P.B. Coleman, R.G., Mumpton, F.A. & Evans, B.W., 1966: Brucite in Alpine serpentinites. Am. Mineral. 51, pp. 75-98.

Hovorka, D., 1977: Geochemistry of the West Carpathian Alpine-type ultramafic rocks. Nauka o zemi XI, geologica 12, Veda, vydavatel´stvo Slovenskej akadèmie vied, Bratislava, 158 pp.

Jackson, K.C., 1970: Textbook of Lithology, McGraw - Hill New York. 534 pp.

Janssen, F.L., 1953: Opublicerad rapport. Amsterdams universitet.

Jensen, M.L. & Bateman, A.M., 1979: Economic Mineral Deposits (3 upplagan). John Wiley & Sons New York. 593 pp.

Kautsky, G., 1953: Der Geologische Bau des Sulitelma-Salojauregebietes in den nordskandinavischen Kaledoniden. C 528, 228 pp, SGU.

Kayzer, F. de, 1952: Opublicerad rapport. Amsterdams universitet.

Kihlstedt, P.G., 1974: Synpunkter på nickelförsörjningen i Sverige. Föredrag för IVA avd V den 2/12 1974. - Stencil.

Kihlstedt, P.G., 1975: Nickel - en huvudmetall i svensk bergshantering? Föredrag för Sancte Örjens Gille den 20 febr. 1975. - Stencil.

Kihlstedt, P.G., 1979: Samhällets framtida försörjning med svenska mineralråvaror. - STU information nr 147, 104 pp.

Kulling, O., 1933: Bergbyggnaden inom Björkvattnet - Virisen området i Västerbottenfjällens centrala del. GFF 55, pp. 167-422.

Kulling, O., 1972: Berggrundskarta över Norrbottenfjällens södra del. SGU Ba 26.

Michel, H., 1950: Geology and petrology of the Borkafjäll region, 138 pp. Broese & Peereboom, Bredo, Netherlands.

Moody, J.B., 1976: Serpentinization: a review. Lithos 9, pp. 125-138.

Nilsson, G., 1964: Berggrunden inom Blåsjöområdet. SGU C 595. 70 pp.

Nickel, E.E., 1959: The occurrence of native Ni-Fe in the serpentine rocks of the Eastern Townships of Quebec Province. Can. Mineral. 6, pp. 307-319.

Ramdohr, P., 1969: The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press.

Ringwood, A.E., 1975: Composition and Petrology of the Earth´s Mantle. MacGraw-Hill, New York, 618 pp.

Ross, C.S., Forster, M.D., Meyers, A.T., 1954: Origin of dunites and of olivinerich inclusions in basaltic rocks. Am. Mineralogist, 693, 39 pp.

Sjöstrand, T., 1978: Caledonian geology of the Kvarnbergsvattnet area, Northern Jämtland, Central Sweden. SGU C 735, 107 pp.

Stephens, M.B., 1977: Stratigraphy and relationship between folding, metamorphism and thrusting in the Tärna-Björkvattnet area, northern Swedish Caledonides. SGU C 726, 146 pp.

Stigh, J., 1979a: Ultramafites and Detrital Serpentinites in the Central and Southern Parts of the Caledonian Allochthon in Scandinavia. Göteborgs Univ., Geol. Inst. Publ. A 27, 222 pp.

Stigh, J., 1979b: Detrital Serpentinites of the Caledonian Allochthon in Scandinavia, In. Wones, D.R. (Ed.), The Caledonides in the USA. Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Dept. Geol. Sci., Mem. 2., pp. 149-156.

Stigh, J., (in press): Content of Ni and Cr in ultramafites and relative enrichment of these elements in detrital serpentinites of the Caledonian Allochthon in Scandinavia. In. An international symposium on metallogeny of mafic and ultramafic complexes: The eastern Mediterranean - western Asia area, and its comparison with similar metallogenic environments in the world. National Technical University of Athens.

Stigh, J. & Ronge, B., 1978: Origin and emplacement of two compositional layered ultramafic bodies in the Caledonides of Västerbotten County, Sweden. GFF. 100, pp. 317-334.

Streckeisen, A., 1974: Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. Geol. Rundschau, 63, 2, pp. 773-786.

Svenonius, F., 1883: Om olivinstens- och serpentinitförekomster i Norrland. GFF 6, p. 342.

Thayer, T.P., 1960: Some critical differences between alpine-type and stratiform peridotite-gabbro complexes. 21st Int. Geol. Congr. Copenhagen, part 13, pp. 247-249.

Trouw, R.A.J., 1973: Structural geology of the Marsfjällen area, Caledonides of Västerbotten, Sweden. SGU C 689, 115 pp.

Törnebohm, A.E., 1877: Olivinsten från Kettilsfjäll. GFF 3, p. 250.

Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H., 1961: Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. Geol. Soc. Amer. Bull. 72, No. 2, pp. 175-192.

Wahlström, S. & Stigh, J., 1978: Kommentar till redovisning av mikrosondresultat från ultrabasiska bergarter i fjällen. Opublicerad SGU-rapport, 33 pp.

Williams, R., 1959: Deposition of trace elements in basic magma. Nature 184, No. 4679, pp. 44.

Zachrisson, E., 1964: The Remdalen Syncline. SGU C 596, 53 pp.

Zachrisson, E., 1969: Caledonian Geology of Northern Jämtland - Southern Västerbotten. SGU C 644, 33 pp.

Tabell 1 A: Insamlade prover samt utförda analyser på ultramafiska bergarter och gabbro från svenska fjällkedjan.

År	Ant. insaml. och analys. prov	Hvdelem.		H_2O/CO_2		Ign.loss	S	Ni, Cr	Jumbo
		Gbg[1]	SGU	Gbg	SGU	Gbg	SGU	SGU	SGU
1968	11		X		X				
1969	5		X		X		X	X	X
1970	6		X		X		X	X	X
1971	5	X					X	X	X
1972	11	X					X	X	X
1973									
1974	61	X		X					
1975	14	X		X					
1976[2]	274[2]	X				X	X		X
1977	123		X		X		X	X	X
1978[3]	289[3]	X			X		X	X	X
Totalt	799								

1) Inklusive best. av NiO och Cr_2O_3.

2) Inkluderar 66 st prov från T Calon tagna under 1970-talet och analyserade vid universitetet i Leiden, Holland. Jumbovärden för Co och Cu saknas, delvis också Ni-best.

3) Fullständig analys endast på en mindre del (Norrbottensprover), för övriga "grid"-prover Jumbo + Ni, Cr, H_2O, CO_2 och S.

Tabell 1 B: Provmaterialets fördelning på bergartsgrupper och tektoniska enheter.

Bergartsgrupp Tektonisk enhet	Antal prov	Antal prov
Låg-Al-ultramafiter		624
KÖLI	321	
SEVE	300	
AUTOCH.PC.	3	
Detritiska serpentiniter		96
KÖLI	96	
Hög-Al-ultramafiter		38
KÖLI	1	
SEVE	37	
Gabbro		35
KÖLI	7	
SEVE	25	
AUTOCH.PC.	3	
Övriga		6
KÖLI	5	
SEVE	1	
Sammanlagt		799

Tabell 2: Jämförelse mellan Jumbo och kontrollanalyser för Cu, Co och V.

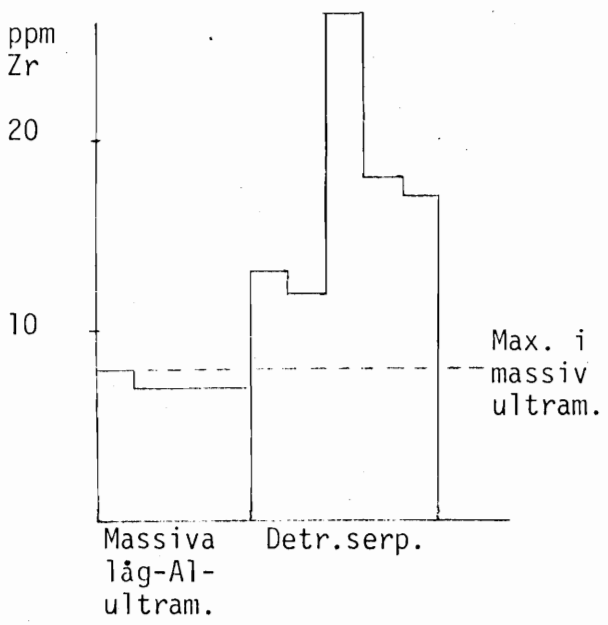
Provnr	Cu			Co		V	
	Jumbo	Atom-abs.	Röntg. fluor.	Jumbo	Atom-abs.	Jumbo	Optisk spektrograf
MJ 76001	<5	<10	<1	77	100		
76002	9	10	13	184	80		
76003	<5	<10	<1	112	120		
76004	15	20	13	163	90		
76005	8	10	7	138	100		
76006	99	80	79	88	50		
AV 76001	<5	<10	<1	153	100		
76002	<5	<10	4	84	50		
76003	<5	<10	<1	130	80		
76005	<5	<10	5	123	60		
76009	<5	<10	4	78	40		
76010	<5	10	5	75	70		
JS 76001	51	50	52	103	110		
76002	>12.300	27.000	45.027	319	370		
76004	460	610	631	96	90		
76005	163	10?	167	87	100		
76006	16	20	13	104	100		
76008	16	10	17	108	80		
76009	6	10	1	98	100		
76010	12	60	43	96	110		
MP 76011						<10	10
76017						<10	20
76018						90	50
76019						30	20
MP 76060						665	650
76066						450	410
76068						124	90
MJ 76031						59	90
MP 76093						241	390
JF 76028						173	290

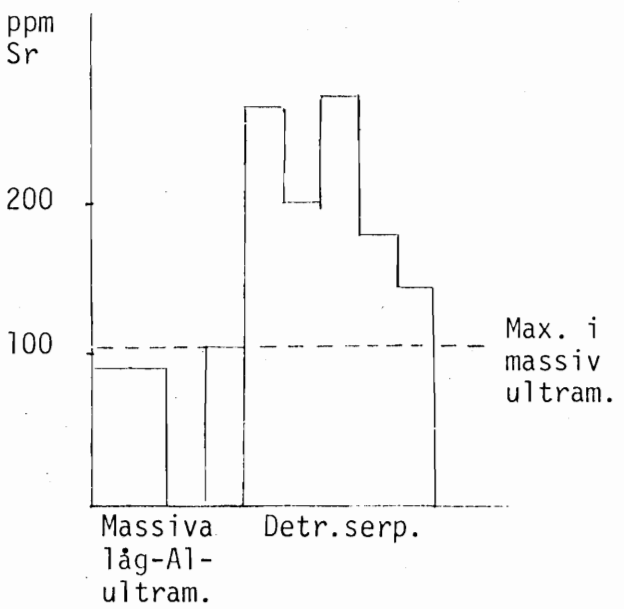
Tabell 3: Platina (Pt)- och palladium (Pd)-bestämningar, utförda av Rautaruukki Oy.

Prov	Pt ppm	Pd ppm
AV 77005	<0.02	<0.05
JS 77002	<0.02	<0.05
JS 77003	<0.02	<0.05
JS 77014	<0.02	<0.05
JS 77016	<0.02	<0.05
Z 77026	<0.02	<0.05
B 77145	<0.02	<0.05
JS 77036	<0.02	<0.05
JS 77037	<0.02	<0.05
FK 77170	<0.02	<0.05

Tabell 4: Vissa spårämnes- och REE-bestämningar (ppm) i ultramafiter från fjällen. Analyserna utförda med XRF vid Geologiska inst. Universitet i Bergen.

Provtagnings-nummer	Cu	Zn	Ni	Cr	V	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	La	Ce	Nd	Co
JS:75040 Peridotit, Rotiken (Seve)	87	54	1636	2412	61	8	8	5	89	12	-	-	-	130
JS:75039 Serpentinit Rotiken (Seve)	123	75	2270	2547	35	9	7	5	89	10	n.d	15	n.d	101
JS:74015 Peridotit Vinberg.(Köli)	119	38	2002	4644	18	7	7	4	n.d	12	-	-	-	167
JS:74013 Serpentinit Vinberg.(Köli)	142	46	2236	2470	14	8	7	4	103	12	-	-	-	110
AV:76010 Detr.serp. Vardofjäll	100	20	1865	4267	46	9	13	5	268	12	-	-	-	53
AV:76001 Detr.serp. Gottern	124	54	2401	3617	43	9	12	4	199	12	-	-	-	90
JS:70048 Detr.serp. Valerevardo	111	6	2138	2190	36	10	27	5	262	10	n.d	13	n.d	68
MJ:76012 Detr.serp. Gränssjö	117	134	2294	15104	44	8	18	5	177	10	n.d	n.d	n.d	116
MJ:76029 Detr.serp. Hapkebakte	111	40	2441	4455	71	9	17	5	133	12	-	-	-	123





Tabell 5.

Prov nr	Mineralsammansättning	Karbonat	Anm.
AV 76030	Serpentin, olivin, talk, amfibol och spår av kalcit och dolomit	kalcit och dolomit	
JS 70051	Talk, serpentin, dolomit och magnetit	dolomit	
JS 76005	Serpentin, olivin och magnetit	-	
JS 76012	Serpentin, magnesit, magnetit och talk	magnesit	
JS 76017	Serpentin, olivin och magnetit		
JS 76031	Serpentin och magnesit?	magnesit?	
JS 76034	Serpentin, magnesit och magnetit	magnesit	
JS 77006	Serpentin, magnetit och klorit		+ några oidentif. toppar
JS 77012	Serpentin, olivin, talk, magnetit samt spår av amfibol och kalcit	kalcit(spår)	
JS 77015	Olivin, amfibol, serpentin och troligen spår av dolomit	dolomit (?)	+ oidentif. topp vid 3.15Å
JS 77017	Amfibol, pyroxen, olivin, klorit och serpentin		+ oidentif. topp vid 2.46Å
JS 77020	Amfibol, pyroxen och knappt påvisbar klorit		+ oidentif. topp vid 2.45Å
JS 77051	Olivin och klorit		
JS 77052	Olivin, klorit, talk, amfibol och pyroxen		
JS 77053	Serpentin, brucit, magnetit och lite kalcit	kalcit(lite)	obs! brucit
MJ 76022	Serpentin och amfibol	-	
MP 76002	Serpentin, olivin, talk och amfibol	-	
MP 76018	Serpentin och olivin	-	
MP 76058	Amfibol, klorit och spår av dolomit och kalcit	dolomit och kalcit	+ några oidentif. toppar, bl.a en vid 2.33Å
MP 76144	Serpentin och magnesit	magnesit	

Tabell 6. Kemisk sammansättning för massiva låg-Al-ultramafiter, detritiska serpentiniter och hög-Al-ultramafiter från svenska Kaledoniderna.

	Medelvärde (vikts-%)		
	Låg-Al-ultramafiter (355 analyser)	Detritiska serpentiniter (23 analyser)	Hög-Al-ultramafiter (38 analyser)
SiO_2	40.40	35.24	44.25
TiO_2	0.27	0.32	0.59
Al_2O_3	1.15	1.52	8.39
Cr_2O_3	0.32	0.43	0.25
Fe_2O_3	3.90	4.09	4.78
FeO	4.59	3.52	8.12
MnO	0.12	0.18	0.18
NiO	0.31	0.35	0.13
MgO	37.42	27.73	22.14
CaO	1.17	9.72	7.77
Na_2O	0.22	0.15	0.44
K_2O	0.08	0.01	0.16
H_2O	5.71	7.97	2.53
CO_2	1.28	4.07	0.30
Ign.loss	10.84	18.17	5.45
MgO/FeO	8.15	7.88	2.73

Tabell 7. Olivin-sammansättning, analyserad med mikrosond.

Provtagn. nummer	Tektonisk enhet	ROCK TYPE	Ni wt%	Fe wt%	Mg wt%	(Si) wt%	(O) wt%	NiO wt%	FeO wt%	MgO wt%	(SiO_2) wt%	$\frac{100\ Mg}{(Mg+Fe)}$ viktsf.
JS 77051	Seve	Olivinit	0.30	6.79	31.37	18.41	43.12	0.38	8.69	51.74	39.18	82.2
JS 77017	Seve	Cortlandit	0.15	13.07	26.48	18.26	42.04	0.19	16.82	43.91	39.07	67.0
FK 77054	Seve	Dunit	0.31	6.47	31.05	19.21	42.95	0.39	8.22	50.82	40.57	82.8
MP 76081	Seve	Serp.perid.	0.16	4.74	31.70	18.91	44.49	0.21	6.14	52.92	40.73	87.0
JS 74024	Köli	Olivinit	0.33	5.91	31.70	18.68	43.38	0.41	7.56	52.28	39.75	84.3
JS 74040	Köli	Serp.perid.	0.31	3.96	32.36	19.35	44.02	0.40	5.06	53.36	41.17	89.0
JS 76005	Köli	Serp.perid.	0.26	2.32	32.92	19.94	44.56	0.32	2.96	54.29	42.42	93.4
JS 76016	Köli	Serp.perid.	0.30	2.26	32.77	19.65	45.03	0.39	2.91	54.52	42.18	93.5
JS 75002N	Tröndelag Norge	Peridotit	0.19	3.35	32.29	19.41	44.77	0.24	4.33	53.75	41.69	85.3
JS 75008N	Helgeland	Dunit	0.34	6.32	30.94	19.03	43.38	0.43	8.08	51.01	40.48	83.0
Medelvärde			0.27	5.52	31.36	19.09	43.77	0.34	7.08	51.86	40.72	85.0
Kihlstedt (1974) Graipesvare, Köli			0.01--0.04	0.77								
Murfjället, Köli			0.04	2.02								

Medelvärdet från mikrosondkörningen ger följande formel för olivinen: $Ni_{0.007}\ Fe_{0.146}\ Mg_{1.884}\ Si_{0.993}\ O_4$ eller $(Ni,Fe,Mg)_{2.037}\ Si_{0.993}\ O_4$ vilket nära ansluter till den ideala formeln $(Fe,Mg)_2SiO_4$.

Tabell 7

Tabell 8. Antigorit-sammansättning, analyserad med mikrosond.

Provtagn. nummer	Tektonisk enhet	ROCK TYPE	Ni wt%	Fe wt%	Si wt%	Mg wt%	$\frac{100\ Mg}{(Mg+Fe)}$ viktsf.	NiO wt%	FeO wt%	SiO_2 wt%	MgO wt%	Oxid wt%
JS 74024	Köli	Olivinit	0.12	0.88	19.82	25.86	96.71	0.15	1.13	42.39	42.87	86.54
JS 74040	Köli	Serp.perid.	0.09	0.90	20.17	26.05	96.66	0.12	1.16	43.15	43.19	87.62
JS 76005	Köli	Serp.perid.	0.06	0.57	20.09	26.05	97.86	0.07	0.73	42.98	43.19	86.98
JS 76005	Köli	Serp.perid.	0.08	0.55	20.12	26.09	97.94	0.10	0.70	43.03	43.25	87.09
JS 76012	Köli	Serpentinit	0.24	2.37	19.89	24.37	91.14	0.31	3.05	42.55	40.41	86.33
JS 76016	Köli	Serp.perid.	0.13	0.77	20.63	25.99	97.12	0.16	0.99	44.13	43.09	88.37
JS 74019N	W Tröndelag	Serpentinit	0.10	4.63	19.37	23.30	83.42	0.13	5.95	41.43	38.62	86.14
JS 74019N	W Tröndelag	Serpentinit	0.10	4.58	19.46	23.42	83.64	0.13	5.89	41.63	38.82	86.48
JS 75002N	Tröndelag	Peridotit	0.03	0.97	20.03	25.89	96.39	0.04	1.25	42.85	42.93	87.07
JS 75004N	Tröndelag	Serpentinit	0.15	4.97	19.78	22.57	81.95	0.19	6.40	42.32	37.42	86.34
MP 76081N	Seve	Serp.perid.	0.07	2.34	19.55	26.21	91.80	0.09	3.01	41.82	43.46	88.37
	Medelvärde		0.11	2.14	19.90	25.07	92.24	0.14	2.75	42.57	41.57	87.03
Medelvärden (serpentin) enl. Kihlstedt, 1974		Graipesvare	0.06	0.79								
		Murfjället	0.08	1.83								
		Rotiken	0.11	1.84								

Tabell 9. Spinell-sammansättning, analyserad med mikrosond.

Provtagn. nummer	Tektonisk enhet	ROCK TYPE	Anal.plac.i kärna(K) el. ytterk. (R)	Fe wt%	Cr wt%	Al wt%	Mg wt%	$\frac{100\ Fe}{Fe+Cr+Al+Mg}$ viktsf.	FeO wt%	Cr_2O_3 wt%	Al_2O_3 wt%	MgO wt%	Oxid wt%
JS 77037	Seve	Serpentinit	R	58.80	12.19	0.30	2.09	80.13	75.65	17.81	0.57	3.46	97.50
JS 74104	"	Peridotit	K	28.07	34.21	3.86	3.12	40.53	36.11	49.99	7.28	5.17	98.56
JS 75037	"	"	K	25.28	34.41	5.07	4.09	36.72	32.52	50.29	9.58	6.79	98.18
"	"	"	R	59.87	11.27	0.21	0.84	82.93	77.02	16.47	0.40	1.39	95.27
JS 77012	"	Peridotit	K	37.64	30.54	0.59	4.23	51.56	48.43	44.64	1.11	7.01	101.18
"	"	"	R	39.85	28.37	0.50	1.45	56.79	51.26	41.47	0.95	2.40	96.07
JS 77017	"	Cortlandit		16.62	1.18	30.45	9.97	28.55	21.38	1.72	57.54	16.53	97.19
JS 74042	Köli	Serp.perid.	K	16.09	33.61	10.44	7.53	23.78	20.70	49.12	19.73	12.48	102.03
"	"	"	R	44.64	24.24	0.69	2.09	62.29	57.42	35.43	1.30	3.46	97.61
JS 74045	"	Peridotit	R	56.83	15.98	0.12	0.82	77.06	73.11	23.35	0.22	1.36	98.04
JS 74040	"	Serp.perid.	K	18.15	39.21	5.34	5.54	26.60	23.36	57.30	10.09	9.18	99.92
"	"	"	R	71.03	0.22	0.19	0.75	98.39	91.38	0.32	0.36	1.25	93.30
JS 74062	"	Serpentinit	K	15.31	37.97	7.60	6.30	22.79	19.70	55.49	14.36	10.45	100.01
JS 76005	"	Serp.perid.	K	13.47	38.08	6.83	7.41	20.47	17.34	55.65	12.90	12.28	98.18
"	"	"	R	69.73	0.90	0.27	1.17	96.75	89.71	1.31	0.51	1.95	93.48
"	"	"	R	71.19	0.38	0.13	1.01	97.91	91.59	0.55	0.25	1.67	94.06
JS 74028N	E Tröndelag	Peridotit	K	16.78	40.62	5.15	5.58	24.63	21.59	59.36	9.74	9.24	99.93
JS 75008N	Helgeland	Dunit	K	23.57	35.89	4.76	4.11	34.49	30.32	52.45	9.00	6.81	98.59
"	"	"	R	20.34	35.58	6.73	4.56	30.26	26.16	51.99	12.72	7.55	98.43

Tabell 10. Kemisk sammansättning för oliga grupper av spineller.

Transparent Mg-Al-rik kromit:	Fe	13.47 - 16.78 wt%
	Cr	33.61 - 40.62 "
	Al	5.15 - 10.44 "
	Mg	5.50 - 7.53 "
	$\frac{100\ Fe}{Fe+Cr+Al+Mg}$	= 20.47 - 24.63 %
Opak Mg-Al-fattig kromit:	Fe	18.15 - 28.07 wt%
	Cr	34.21 - 39.21 "
	Al	3.86 - 6.73 "
	Mg	3.12 - 5.54 "
	$\frac{100\ Fe}{Fe+Cr+Al+Mg}$	= 26.60 - 40.53 %
Ferrit-kromit:	Fe	37.64 - 44.64 wt%
	Cr	24.24 - 30.54 "
	Al	0.50 - 0.69 "
	Mg	1.45 - 4.23 "
	$\frac{100\ Fe}{Fe+Cr+Al+Mg}$	= 51.56 - 62.29 %
Cr-magnetit:	Fe	56.83 - 59.87 wt %
	Cr	11.27 - 15.98 "
	Al	0.12 - 0.30 "
	Mg	0.82 - 2.09 "
	$\frac{100\ Fe}{Fe+Cr+Al+Mg}$	= 77.06 - 82.93 %
Magnetit:	Fe	69.73 - 71.19 wt%
	Cr	0.22 - 0.90 "
	Al	0.13 - 0.27 "
	Mg	0.75 - 1.17 "
	$\frac{100\ Fe}{Fe+Cr+Al+Mg}$	= 96.75 - 98.39 %

Tabell 11. Heaxelwooditens sammansättning, analyserad med mikrosond.

Provtagn. nummer	Tektonisk enhet	ROCK TYPE	Ni at%	Co at%	Fe at%	S at%	Ni wt%	Co wt%	Fe wt%	S wt%	Tot. wt%	Metall/S atomförh.
JS 74024	Köli	Olivinit	59.83	0.04	0.19	39.94	72.65	0.05	0.21	26.49	99.41	1.50
JS 74040	"	Serp.perid.	59.79	0.05	0.41	39.74	73.66	0.06	0.49	26.75	100.96	1.52
"	"	"	59.78	0.07	0.11	40.03	73.97	0.08	0.14	27.06	101.25	1.50
JS 74045	"	Peridotit	59.60	0.03	0.15	40.22	72.75	0.03	0.18	26.82	99.78	1.49
JS 76005	"	Serp.perid.	59.92	0.05	0.10	39.93	73.98	0.06	0.12	26.93	101.09	1.50
"	"	"	60.03	0.04	0.19	39.74	73.77	0.05	0.22	26.68	100.73	1.52
JS 74070N	E Tröndelag	Serpentinit	59.97	0.02	0.12	39.89	75.53	0.02	0.14	26.72	100.42	1.51
JS 75002N	Tröndelag	Peridotit	59.92	0.03	0.28	39.77	72.19	0.03	0.33	26.18	98.72	1.51
	Medelvärde		59.86	0.04	0.19	39.91	73.30	0.05	0.23	26.70	100.30	1.51
	Standardavvikelse		0.14	0.02	0.11	0.16	0.67	0.02	0.12	0.27	0.90	0.01
Mikroskopundersökning av polerprov från Vinberget (Köli) i Västerbotten utförd av M Guzman. Mikrosondresultat: Synpunkter på mickelförsörjningen i Sverige av P G Kihlstedt ger följande värden från mikrosondkörningar:							72.08	0.05	0.22	26.80	99.15	
							72.45	0.05	0.38	26.84	99.72	
medelvärden:	Graipesvare						65.45		0.05	40.05		
"	Rotiken						56.2	0.01	0.57			

Medelvärdet från de senaste mikrosondkörningarna ger följande formel för heazlewooditen: $Ni_{2.993}\ Co_{0.002}\ Fe_{0.010}\ S_{1.996}$ vilken nära ansluter till den ideala formeln Ni_3S_2.

Tabell 11

Tabell 12. Pentlanditens sammansättning, analyserad med mikrosond.

Provtagn. nummer	Tektonisk enhet	ROCK TYPE	Ni at%	Co at%	Fe at%	S at%	Ni wt%	Co wt%	Fe wt%	S wt%	Tot. wt%	Metall/S atomförh.
JS 76031	Köli	Serpentinit	27.13	0.96	25.96	45.95	35.36	1.25	32.20	32.73	101.55	1.18
"	"	"	25.28	1.18	27.01	46.53	32.96	1.55	33.51	33.15	101.16	1.15
JS 74019N	W Tröndelag	Serpentinit	27.07	1.03	23.89	48.00	35.25	1.35	29.61	34.15	100.36	1.08
JS 74004N	Tröndelag	Serpentinit	25.22	3.53	13.93	57.32	34.59	4.86	18.17	42.95	100.57	0.74
"	"	"	24.98	3.96	13.27	57.79	34.13	5.44	17.24	43.13	99.94	0.73
	Medelvärde		25.94	2.13	20.81	51.12	34.46	2.89	26.15	37.22	100.72	0.98
	Standardavvikelse		1.07	1.48	6.68	5.93	0.98	2.08	7.84	5.34	0.64	0.22
Mikroskopundersökning av polerprov från Vinberget (Köli) i Västerbotten utförd av M Guzman. Mikrosondresultat:			Nr 48				36.05	4.29	26.46	33.01	99.81	
Synpunkter på nickelförsörjningen i Sverige av P G Kihlstedt ger följande värden från mikrosondkörningar:												
medelvärden:	Graipesvare						32.4	7.85	18.6	32.45		
"	Murfjället						18.95	0.69	16.95			
"	Rotiken						32.35	6.50	8.85			

Medelvärdet från de senaste mikrosondkörningarna ger följande formel för pentlanditen: $Ni_{4.41}\ Co_{0.36}\ Fe_{3.54}\ S_{8.69}$ eller $(Ni,Co,Fe)_{8.31}\ S_{8.69}$, vilken nära ansluter til den ideala formeln $(Ni,Fe)_9\ S_8$.

Tabell 13. Magnetkisens sammansättning, analyserad med mikrosond.

Prov-nr	Lokal	Tekt.enhet	Bergart	Ni%	Fe%	Co%	S%	Referens
	Murfjället	Köli		0.54	52.9			Kihlstedt 1974 (Broman 1976)
JS 76016	Storjola	Köli	Peridotit	0.06	64.14	0.03	35.77	Wahlström & Stigh 1978

Tabell 14: Ni-innehåll (vikts-%) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	0.103	(3)	0.269	(158)	0.235	(206)	0.249	(367)
DUNITE och OLIVINITE			0.277	(54)	0.208	(12)		
PERIDOTITE			0.266	(78)	0.249	(45)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			0.259	(33)	0.233	(152)		
Rotiken (Seve)			0.274	(81)				
Vinberget (Köli)					0.255	(82)		
Detritiska serpentiniter (alla)					0.278	(28)	0.278	(28)
Hapkebakte					0.328	(46)		
Kroksjön					0.264	(27)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)			0.103	(37)	0.046	(1)	0.101	(38)
Gabbro (alla)	0.037	(3)	0.032	(25)	0.022	(7)	0.031	(35)

Tabell 15: Cr-innehåll (vikts-%) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	0.363	(3)	0.236	(157)	0.276	(206)	0.260	(366)
DUNITE och OLIVINITE			0.254	(52)	0.256	(12)		
PERIDOTITE			0.250	(79)	0.293	(45)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			0.182	(33)	0.276	(152)		
Rotiken (Seve)			0.236	(81)				
Vinberget (Köli)					0.269	(82)		
Detritiska serpentiniter (alla)					0.418	(28)	0.418	(28)
Hapkebakte					0.487	(46)		
Kroksjön					0.597	(27)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)			0.154	(37)	0.319	(1)	0.158	(38)
Gabbro (alla)	0.157	(3)	0.076	(25)	0.030	(7)	0.074	(35)

Tabell 15

Tabell 16: Co-innehåll (ppm) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	177	(3)	110	(152)	150	(205)	130	(360)
DUNITE och OLIVINITE			110	(48)	90	(11)		
PERIDOTITE			110	(78)	140	(45)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			130	(30)	150	(151)		
Rotiken (Seve)			108	(33)				
Vinberget (Köli)					120	(37)		
Detritiska serpentiniter (alla)					170	(27)	170	(27)
Hapkebakte					172	(46)		
Kroksjön					149	(27)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)			110	(35)	72	(1)	110	(36)
Gabbro (alla)	85	(3)	80	(25)	70	(7)	80	(35)

Tabell 17: Cu-innehåll (ppm) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	100	(3)	20	(155)	40	(205)	30	(363)
DUNITE och OLIVINITE			30	(50)	10	(11)		
PERIDOTITE			10	(79)	20	(45)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			10	(30)	40	(151)		
Rotiken (Seve)			9	(33)				
Vinberget (Köli)					25	(37)		
Detritiska serpentiniter (alla)					10	(27)	10	(27)
Hapkebakte					19.	(46)		
Kroksjön					16	(27)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)			80	(35)	<50	(1)	80	(36)
Gabbro (alla)	43	(3)	60	(25)	100	(7)	70	(35)

Tabell 17

Tabell 18 : Zn-innehåll (ppm) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	49	(2)	34	(122)	34	(110)	34	(234)
DUNITE och OLIVINITE			28	(47)	32	(14)		
PERIDOTITE			34	(50)	31	(46)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			43	(25)	37	(50)		
Rotiken (Seve)								
Vinberget (Köli)								
Detritiska serpentiniter (alla)								
Hapkebakte					40	(45)		
Kroksjön					56	(25)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)								
Gabbro (alla)								

Tabell 19: Pb-innehåll (ppm) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	19	(2)	21	(122)	23	(110)	22	(234)
DUNITE och OLIVINITE			25	(47)	19	(14)		
PERIDOTITE			16	(50)	21	(46)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			25	(25)	25	(50)		
Rotiken (Seve)								
Vinberget (Köli)								
Detritiska serpentiniter (alla)								
Hapkebakte					18	(45)		
Kroksjön					18	(25)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)								
Gabbro (alla)								

Tabell 20: V -innehåll (ppm) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet							
	AUTOCH. PC.	(ant.)	SEVE	(ant.)	KÖLI	(ant.)	Alla	(ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	55	(2)	22	(122)	33	(110)	27	(234)
DUNITE och OLIVINITE			30	(47)	29	(14)		
PERIDOTITE			14	(50)	20	(46)		
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)			21	(25)	46	(50)		
Rotiken (Seve)								
Vinberget (Köli)								
Detritiska serpentiniter (alla)								
Hapkebakte					39	(45)		
Kroksjön					46	(25)		
Hög-Al-ultramafiter (alla)								
Gabbro (alla)								

Tabell 21: S-innehåll (vikts-%) i ultramafiska bergarter och gabbro i svenska fjällkedjan.

Bergartsgrupp ROCK TYPE Massiv eller objekt	Tektonisk enhet			
	AUTOCH. PC. (ant.)	SEVE (ant.)	KÖLI (ant.)	Alla (ant.)
Låg-Al-ultramafiter (alla)	0.357 (3)	0.034 (149)	0.059 (203)	0.051 (355)
DUNITE och OLIVINITE		0.036 (48)	0.022 (11)	
PERIDOTITE		0.036 (76)	0.051 (44)	
SERP.PERID. och SERPENTINITE (alla)		0.033 (29)	0.073 (150)	
Rotiken (Seve)		<0.020 (33)		
Vinberget (Köli)			0.020 (38)	
Detritiska serpentiniter (alla)			0.058 (27)	0.058 (27)
Hapkebakte			<0.020 (46)	
Kroksjön			0.040 (27)	
Hög-Al-ultramafiter (alla)		0.110 (32)	<0.02 (1)	0.108 (33)
Gabbro (alla)	0.020 (3)	0.058 (24)	0.024 (7)	0.049 (34)

Tabell 22. Medelhalter för Ni-malmanledningar och bergartstyper i de svenska Kaledoniderna.

Kartbl.	Objekt eller grupp	Tektonisk enhet	Antal analys. prov	S%	Cu%	Zn%	Pb%	Ag g/t	Ni%	Co%	Ni:Co
25F	Gammhembäcken	Rödingsfjällsskollan	4	7.4	0.39	<0.01	<0.01	<5	2.44	0.06	41:1
25E-F	Övriga småobjekt	Rödingsfjällsskollan	14	1.9	0.10	<0.01	<0.01	<5	0.36	0.01	28:1
23E	Hapkebakte	Köli	46	<0.02	0.002	0.004	0.002	<5	0.33	0.017	19:1
-	Detritiska serpentin.	Köli	28	0.06	0.001	-	-	<5	0.28	0.017	16:1
-	Massiva serpentiniter	Köli	152	0.07	0.004	0.004	0.002	<5	0.23	0.015	16:1
-	Massiva serpentiniter	Seve	33	0.03	0.001	0.004	0.002	<5	0.26	0.013	20:1
23E	Jetnem S-rika	Autokton PC	3	19.8	0.18	0.10	<0.01	7	0.57	0.05	12:1
"	S-fattiga	"	4	n.d	0.08	<0.01	<0.01	<5	0.81	0.07	12:1
"	samtliga	"	7	-	0.11	0.03	<0.01	<5	0.71	0.06	12:1

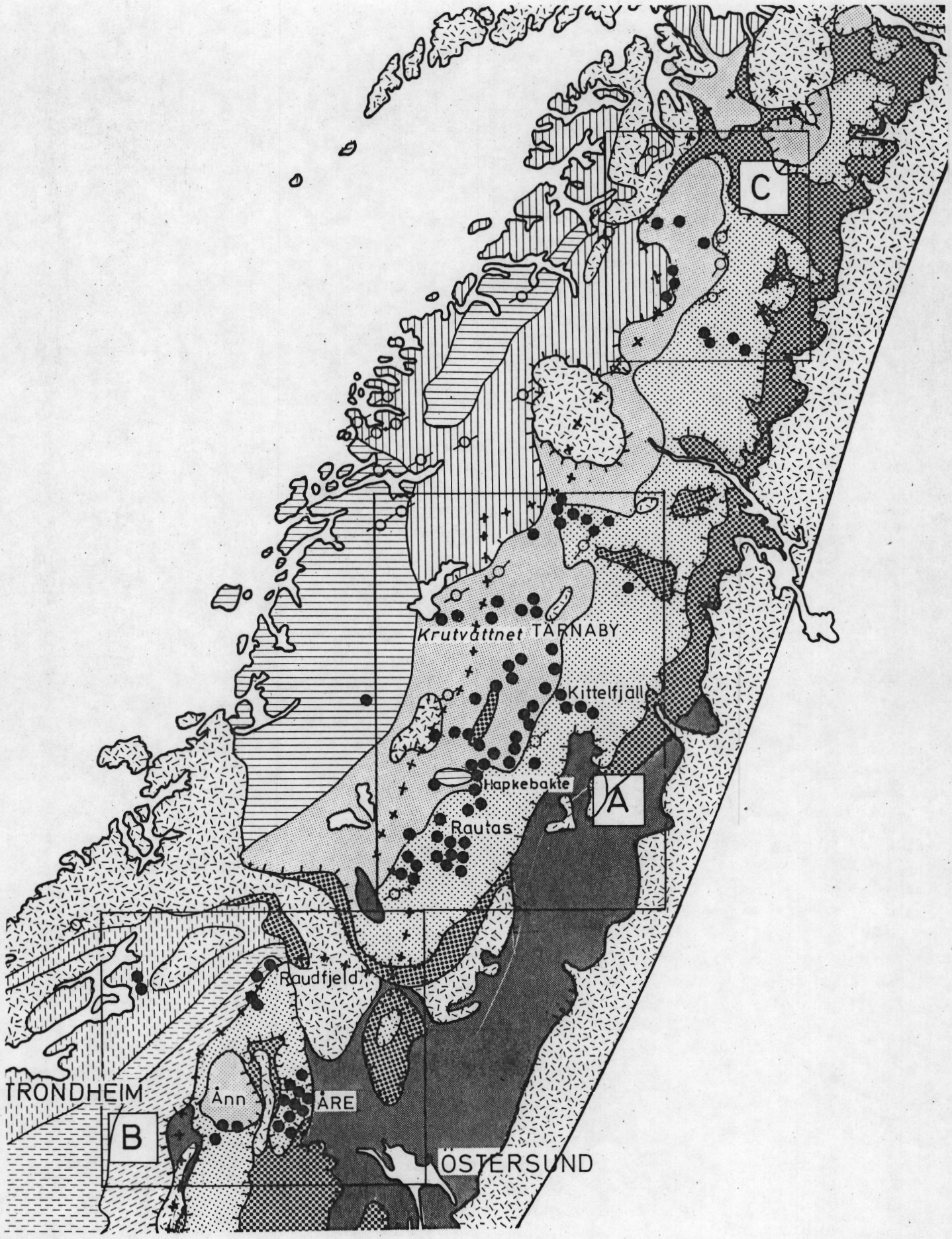
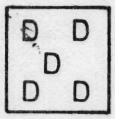


Fig. 1. Ultramafiter i fjällen. Legend se Fig. 1B.

LEGEND FÖR FIG.1

NORWAY

SWEDEN



Devonian rocks

Helgeland Nappe Complex ⊗

Rödingsfjäll Nappe Complex ⊗

Rödingsfjäll Nappe Complex ⊗

Trond-heim Nappe ⊗ / Super group

- W. Trøndelag
- Gula Group
- E. Trøndelag

Undifferentiated cover

Jotun Nappe

Köli

Seve

Seve-Köli Nappe-Complex ⊗

Middle thrust rocks incl. Kvitvola and Valdres Nappes

Middle thrust rocks Offerdal, Särv and Akkajaure Complex

Autochthonous and parautochthonous meta-sediments.

Autochthonous and parautochthonous meta-sediments

Autochthonous- and parautochthonous ⊗

Autochthonous and parautochthonous

⊗ Tectonic units containing ultramafites

● Analysed ultramafites (shape and size of the bodies not shown).

Non-analysed ultramafites

Fig. 2A

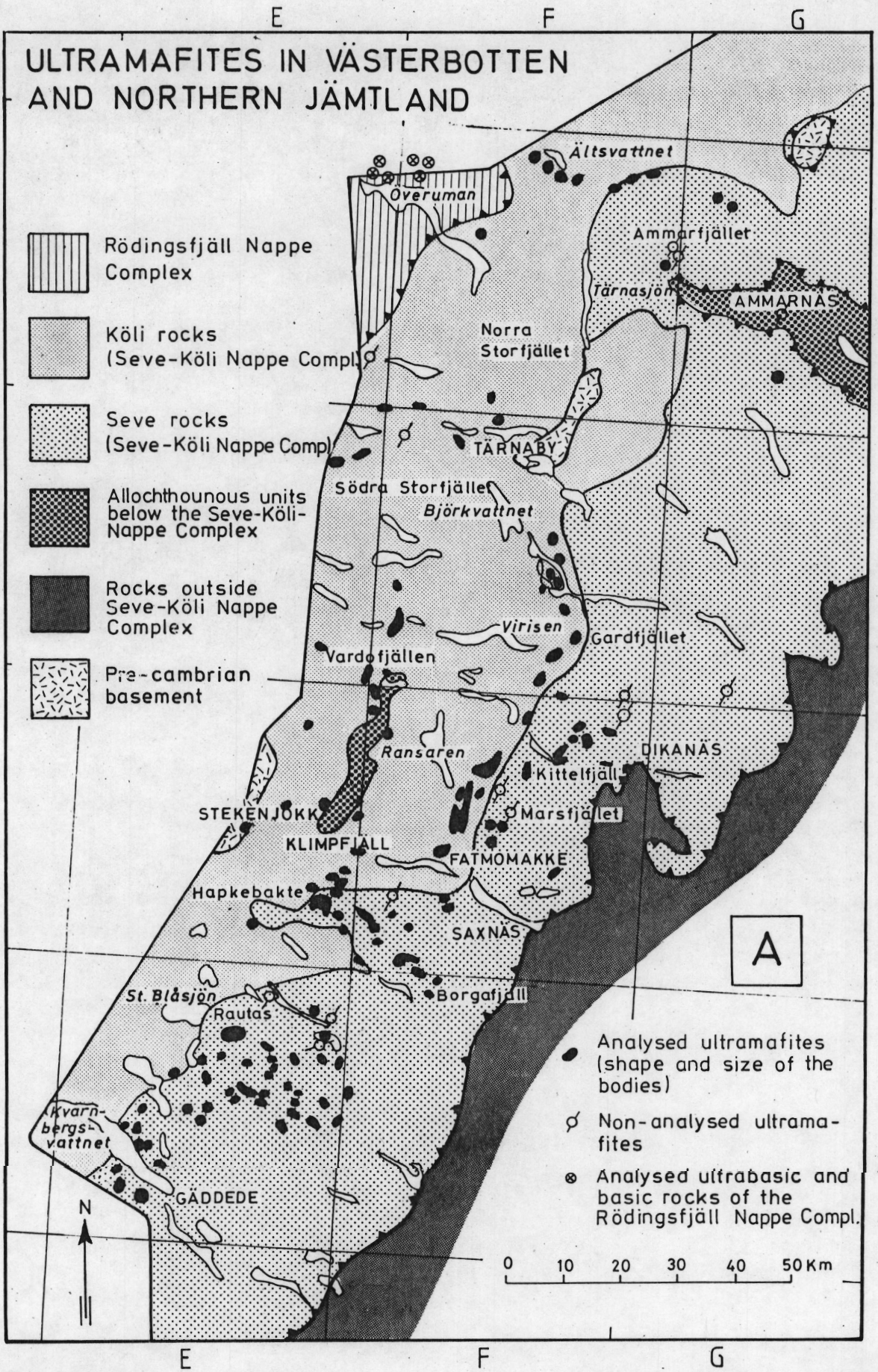

ULTRAMAFITES IN VÄSTERBOTTEN AND NORTHERN JÄMTLAND
E
F
G
Rödingsfjäll Nappe Complex
Köli rocks (Seve-Köli Nappe Compl.)
Seve rocks (Seve-Köli Nappe Compl.)
Allochthonous units below the Seve-Köli-Nappe Complex
Rocks outside Seve-Köli Nappe Complex
Pre-cambrian basement
Äitsvattnet
Överuman
Ammarfjället
Tärnasjön
AMMARNÄS
Norra Storfjället
TÄRNABY
Södra Storfjället
Björkvattnet
Virisen
Gardfjället
Vardofjällen
Ransaren
DIKANÄS
Kittelfjäll
Marsfjället
STEKENJOKK
KLIMPFJÄLL
FATMOMAKKE
Hapkebakte
SAXNÄS
St. Blåsjön
Borgafjäll
Rautas
Kvarnbergsvattnet
GÄDDEDE
N
A
Analysed ultramafites (shape and size of the bodies)
Non-analysed ultramafites
Analysed ultrabasic and basic rocks of the Rödingsfjäll Nappe Compl.
0 10 20 30 40 50 Km
25
24
23
22

Fig.2b

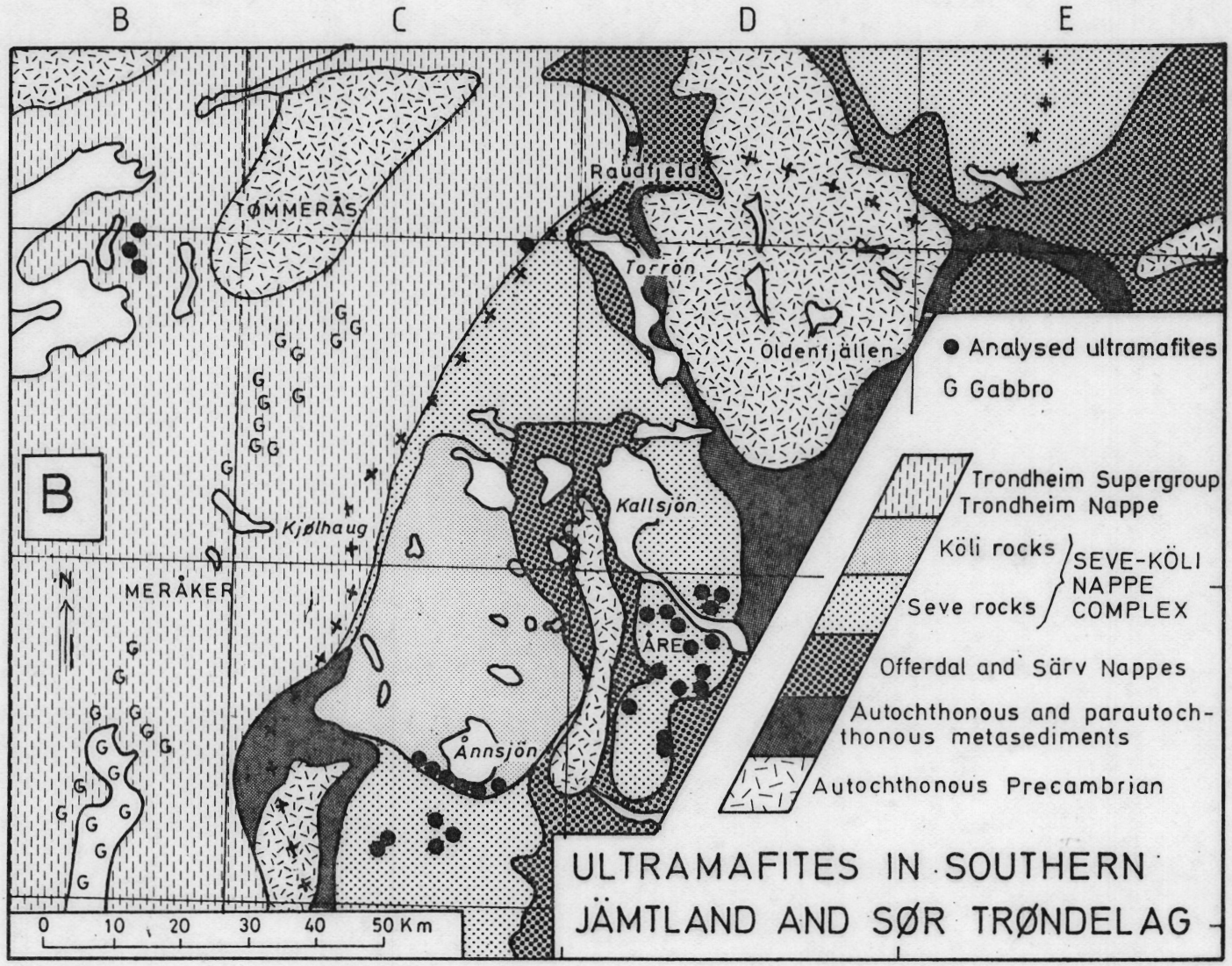
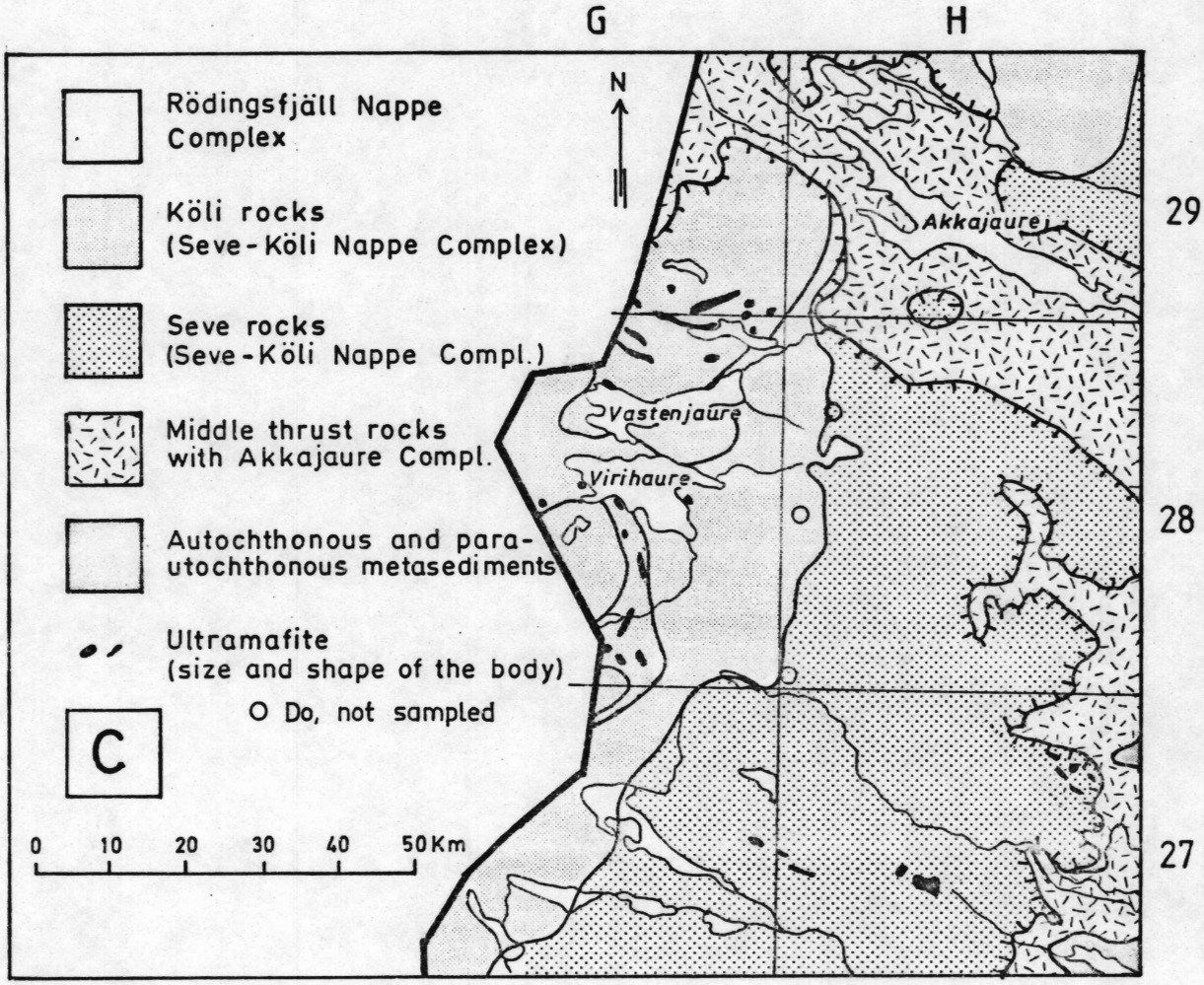

B
C
D
E
21
20
19
TØMMERÅS
Raudfjeld
Torrön
Oldenfjällen
Kallsjön
Kjølhaug
MERÅKER
N
ÅRE
Ånnsjön
B
0 10 20 30 40 50 Km
● Analysed ultramafites
G Gabbro
Trondheim Supergroup
Trondheim Nappe
Köli rocks
Seve rocks
SEVE-KÖLI NAPPE COMPLEX
Offerdal and Särv Nappes
Autochthonous and parautochthonous metasediments
Autochthonous Precambrian
ULTRAMAFITES IN SOUTHERN JÄMTLAND AND SØR TRØNDELAG

Fig. 2c

ULTRAMAFITES IN THE MIDDLE PART OF NORRBOTTEN



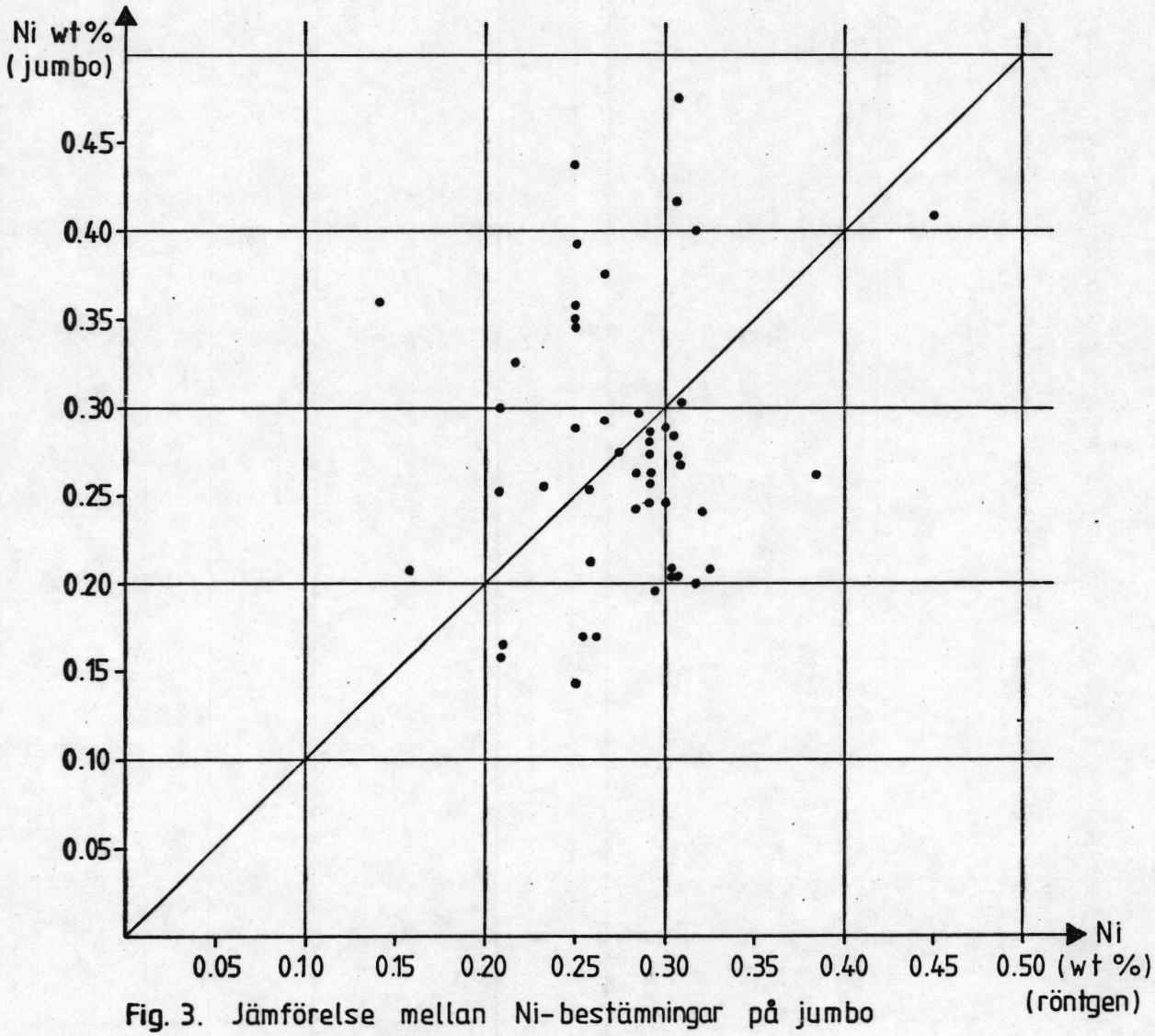


Fig. 3. Jämförelse mellan Ni-bestämningar på jumbo och med röntgenfluorescens.

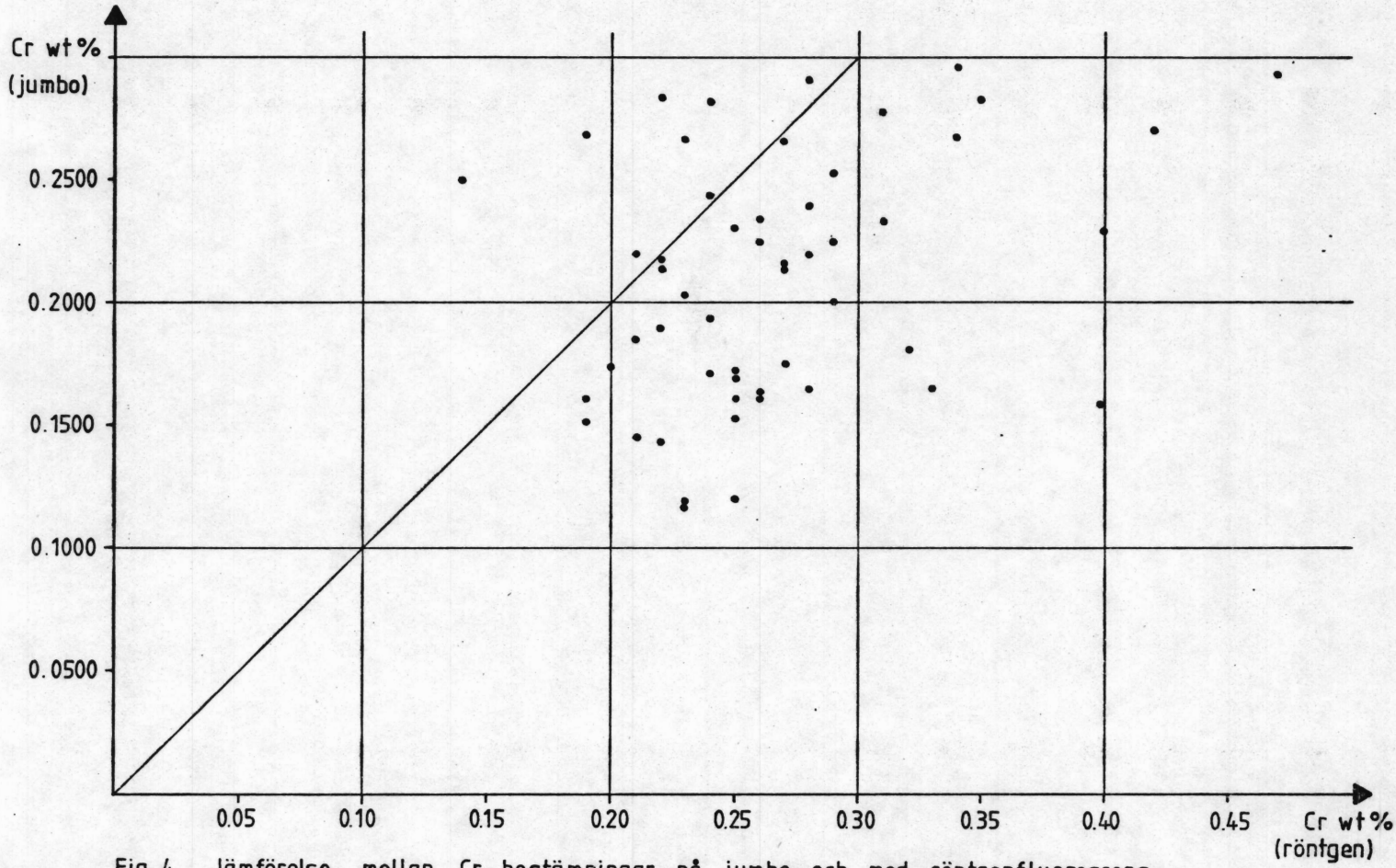


Fig. 4. Jämförelse mellan Cr-bestämningar på jumbo och med röntgenfluorescens.

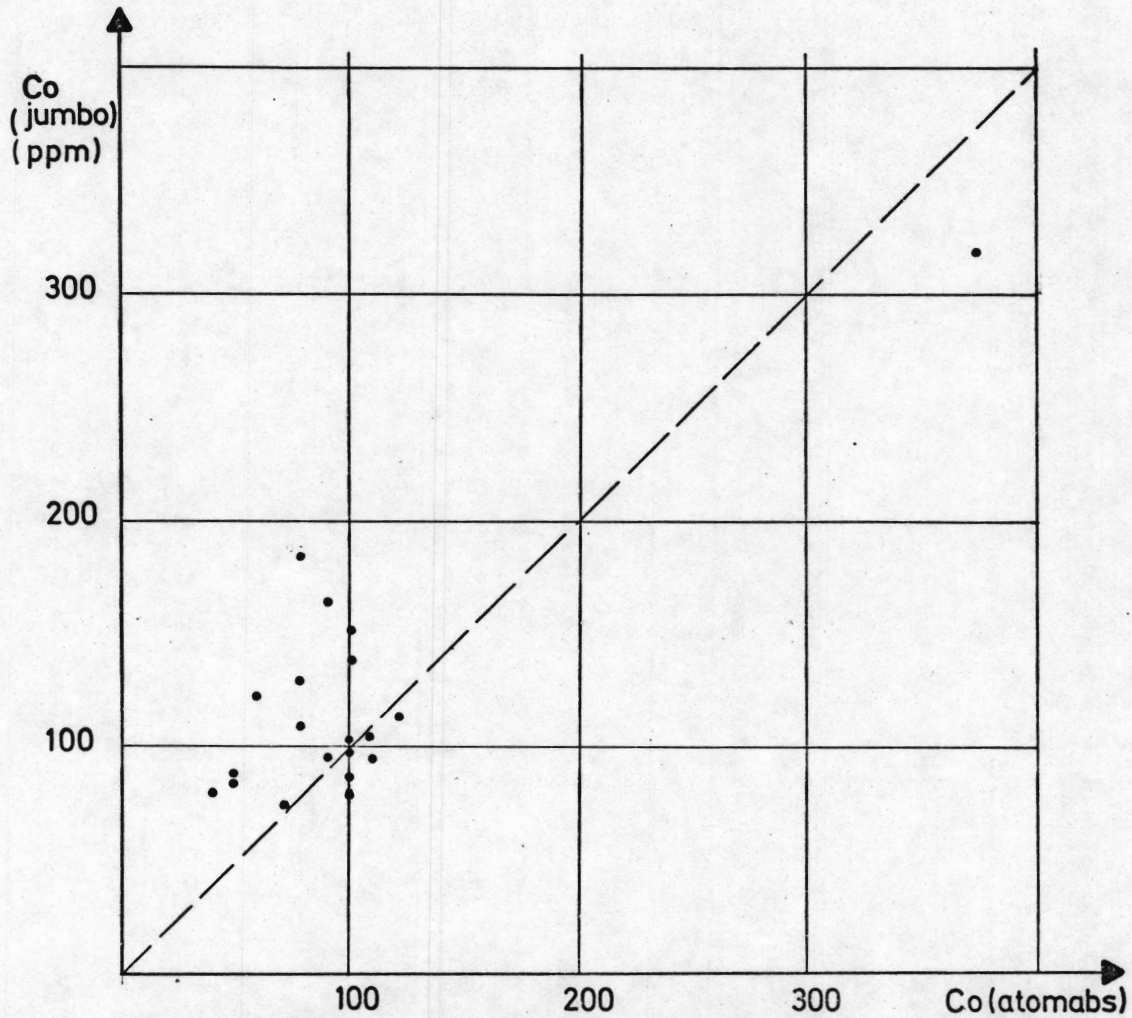


Fig.5: Kobolt(Co), jumbo och atomabsorptionskorrelation.

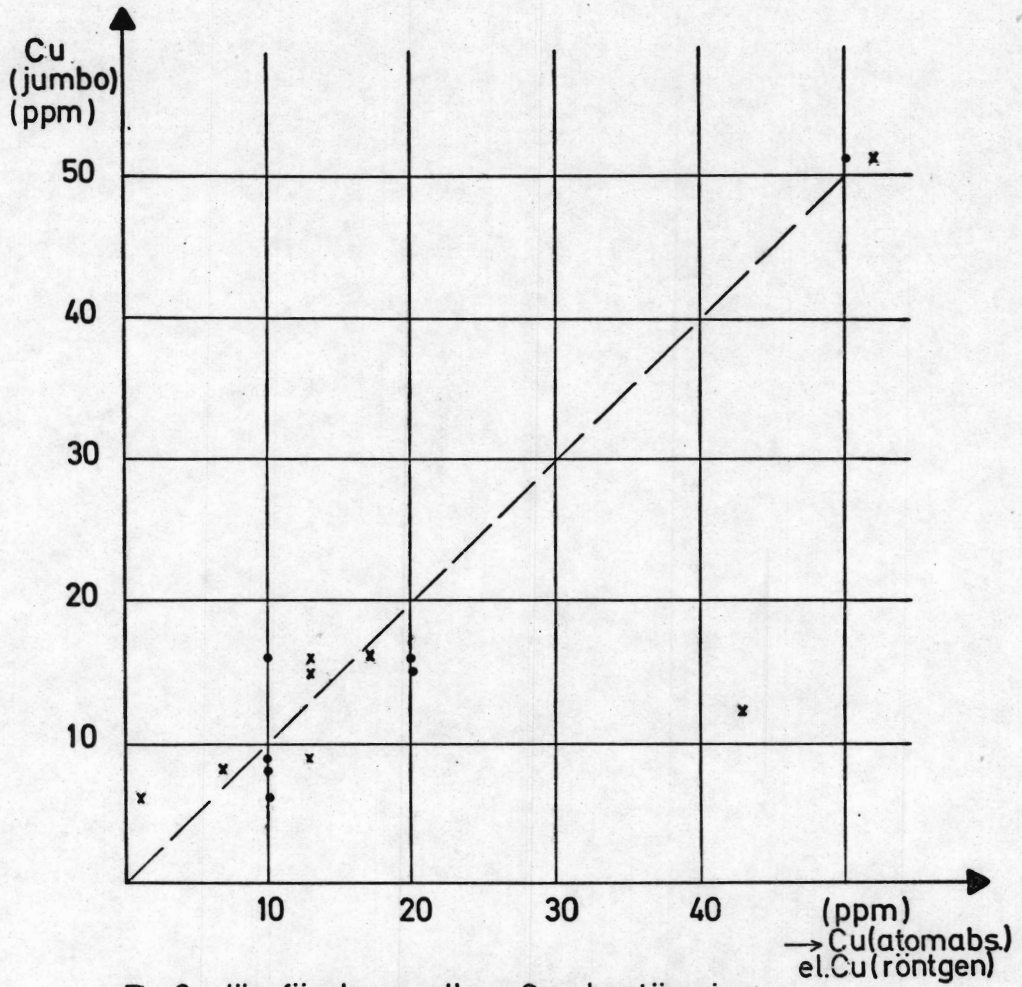


Fig. 6. Jämförelse mellan Cu-bestämning på jumbo och atomabsorption (•) resp. röntgen (×).

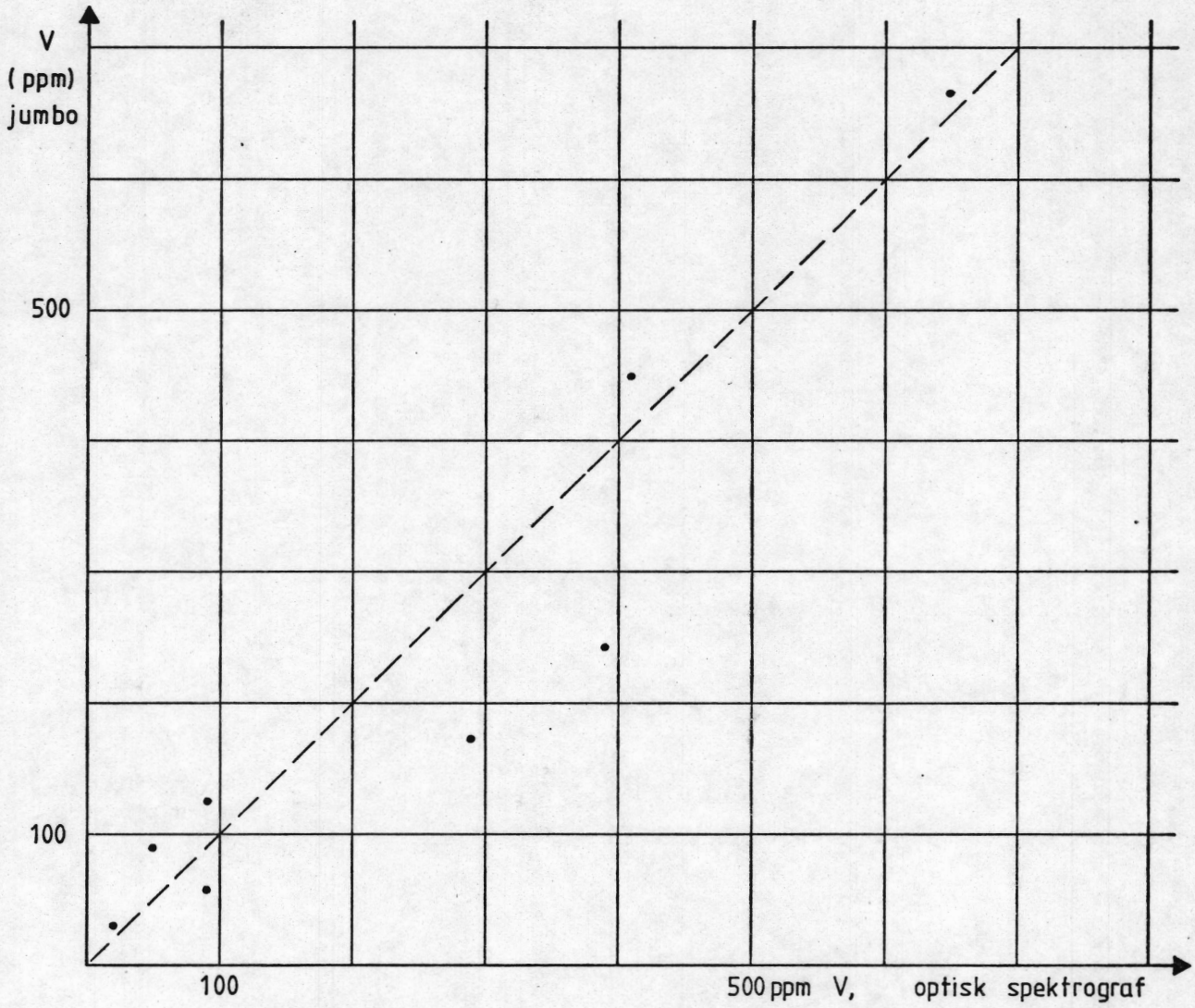


Fig. 7. Jämförelse mellan V-analyser på jumbo och med optisk spektrograf (plåt).

Fig. 8 a

Modal sammansättning av 347 jämförbara ultramafiter från fjällen.

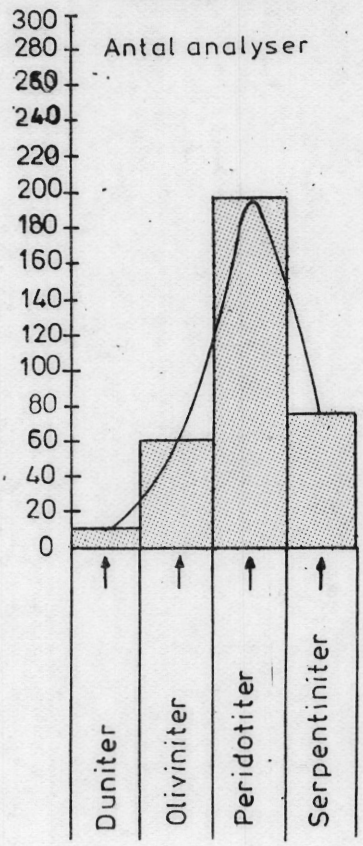


Fig. 8 b

Normativ sammansättning av 347 jämförbara ultramafiter från fjällen.

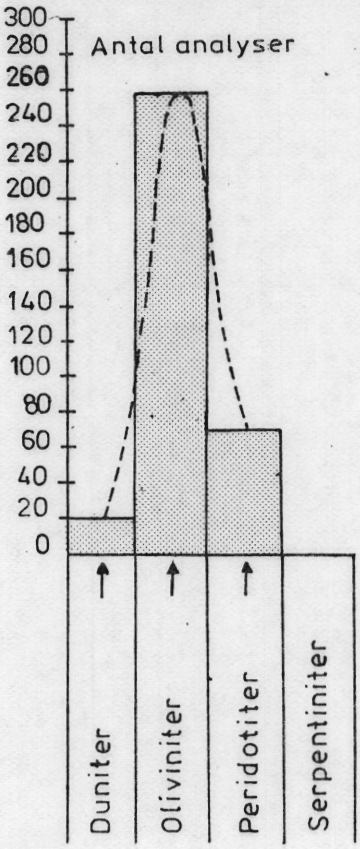
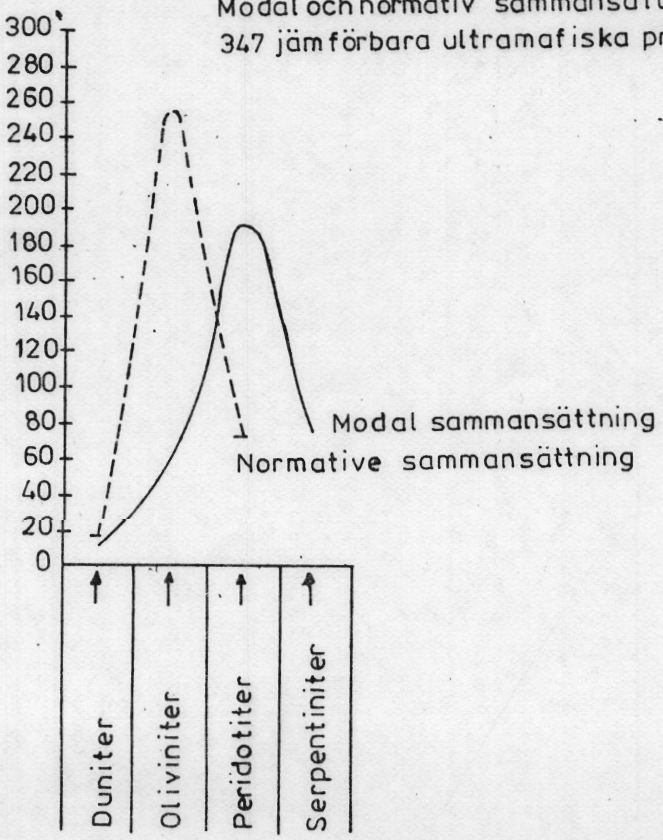


Fig. 8 c

Modal och normativ sammansättning av 347 jämförbara ultramafiska prover.



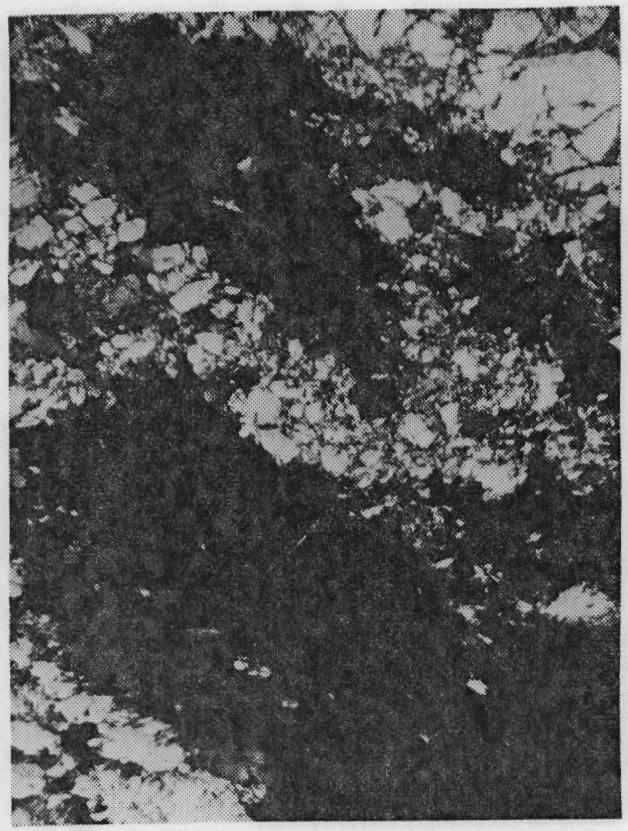
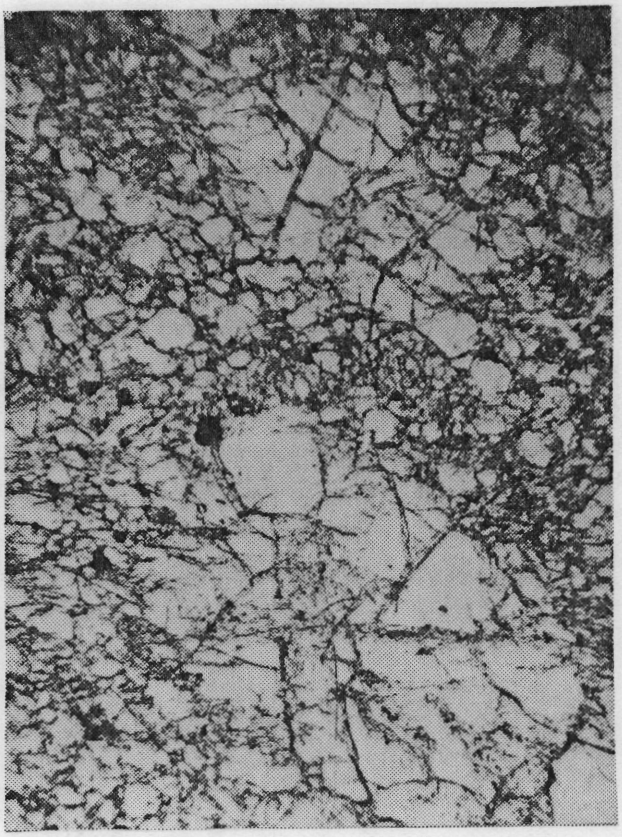


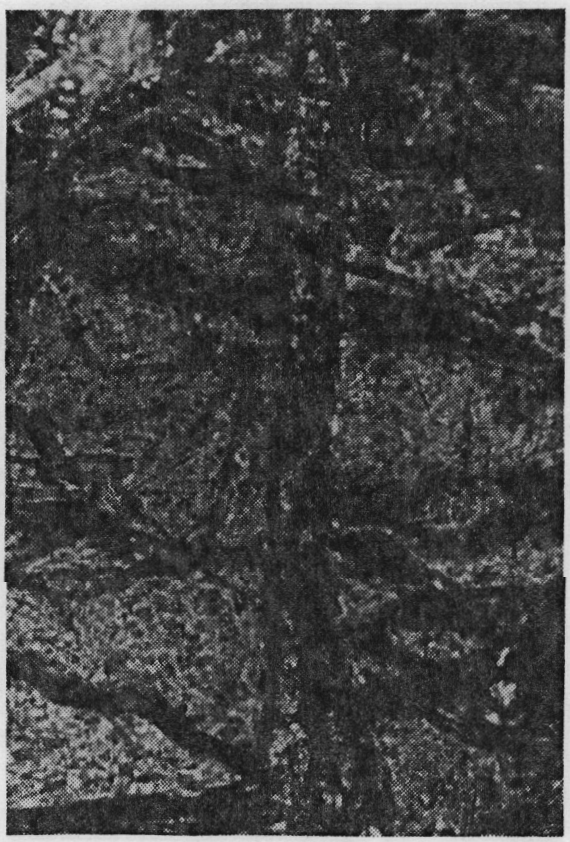
Fig.9. Olivintexturer(Vinberget)
35x, korsade nicoller



Utan korsade nicoller



Fig.10 Senkristalliserande olivin som växer över tidigare faser.
45x, korsade nicoller

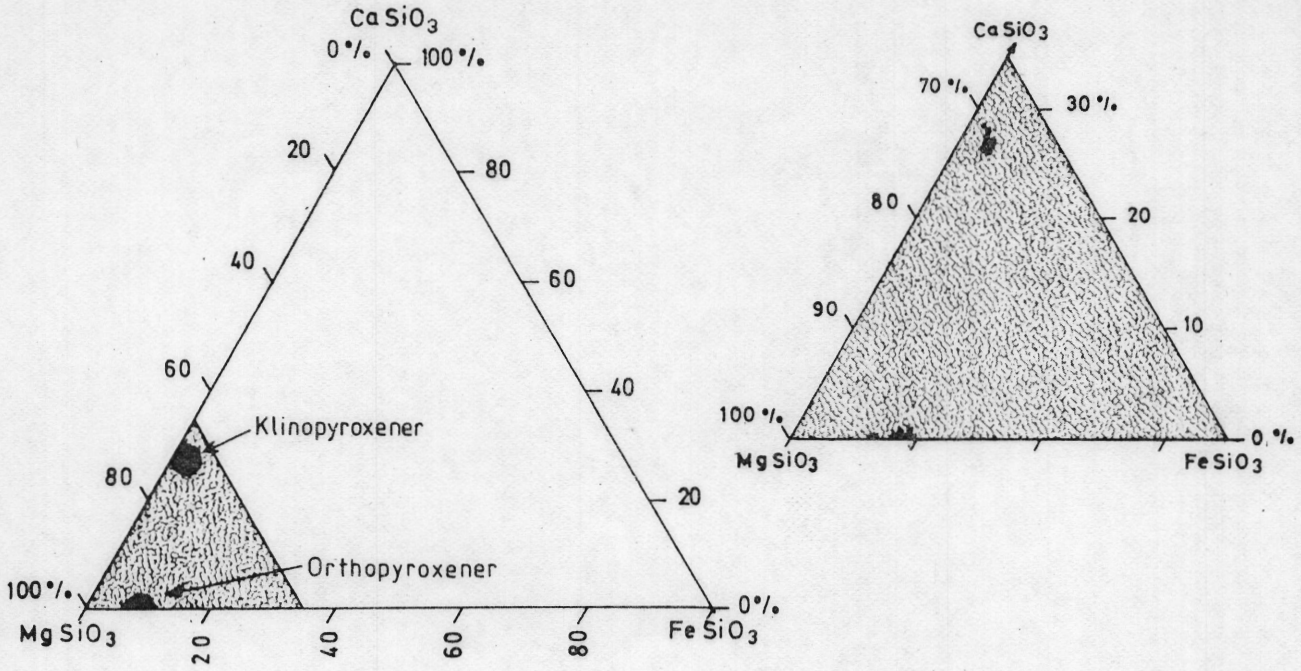


110x,

Fig. 11 Pyroxen sammansättning i ultramafiter från fjällen.

Orthopyroxener (10) från ultramafiter i Helgeland, Seve and Köli								Clinopyroxener (6) från ultramafiter i Helgeland, Seve and Köli							
FeO*	MgO	CaO	Al_2O_3	SiO_2	Wo	En	Fs	FeO*	MgO	CaO	Al_2O_3	SiO_2	Wo	En	Fs
5.87	35.93	0.16	0.49	57.55	0.28	91.34	8.38	1.60	24.39	12.96	0.35	57.23	26.90	70.50	2.60
Wo-En-Fs är 03-913-8.4								Wo-En-Fs är 26.9-70.5-2.6							

* $Fe_{(tot)}$ beräknat som FeO



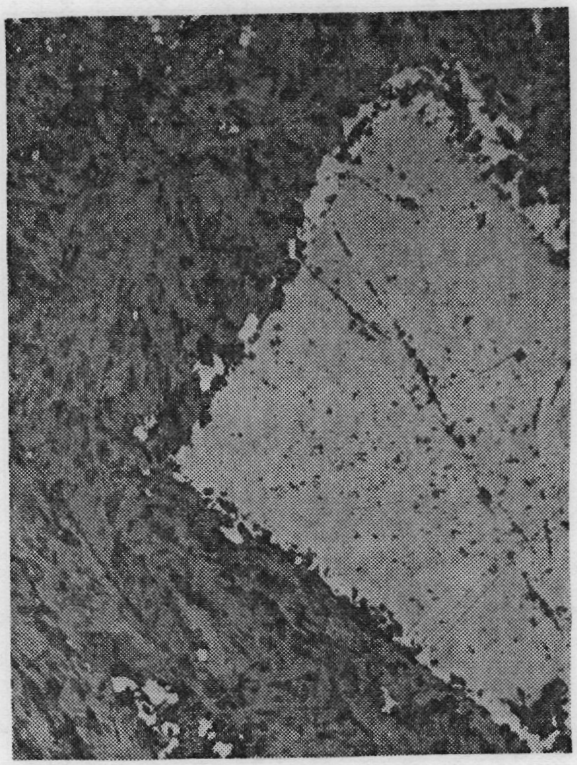


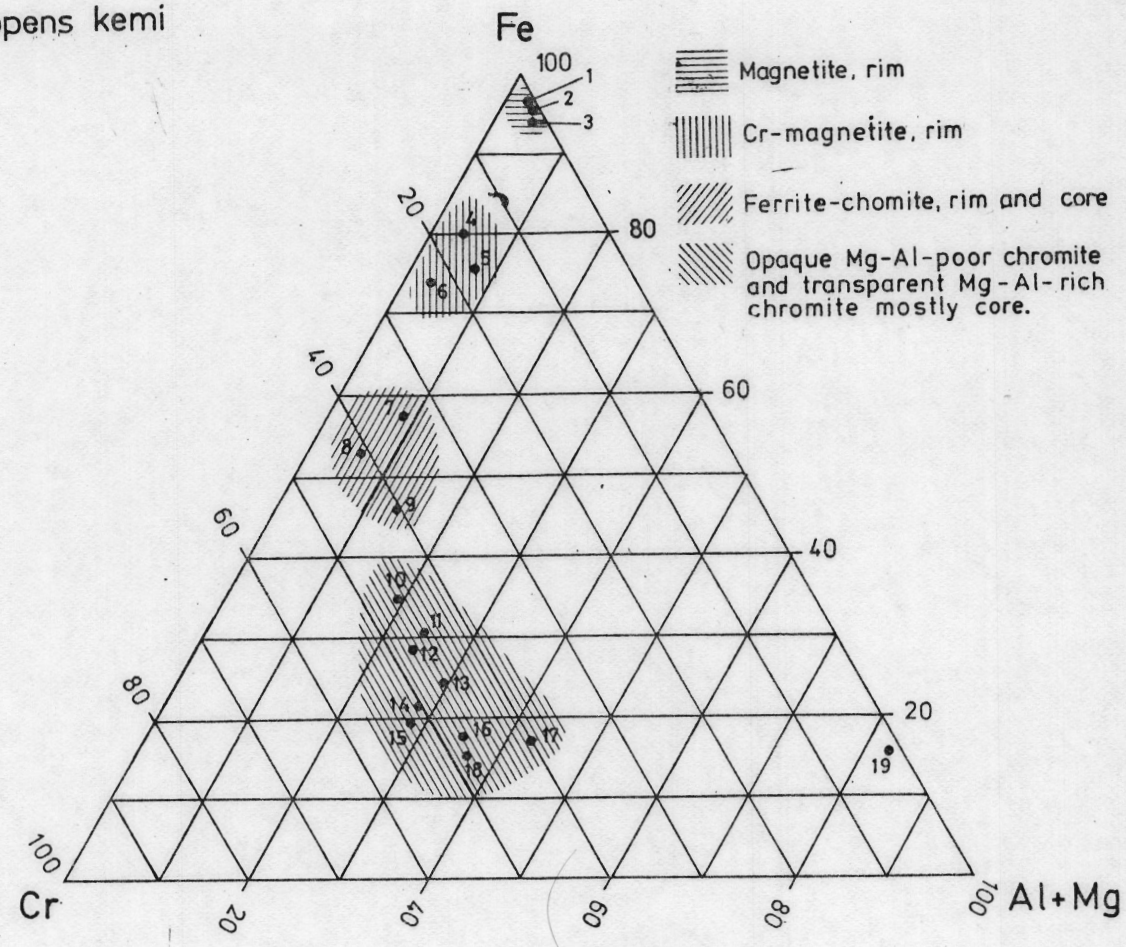
Fig.12. Transparent Mg-Al-rik kromit i centrala delen av en spinell. Kärnan är omgivenav en magnetit zon. Vinberget. Reflekterande ljus,100x



Fig.14. Heazlewoodit omgiven av antigorit. Reflekterande ljus, 100x.

Fig. 13

Spinellgruppens kemi



1 Magnetite, rim, Vinberget, Västerbotten (JS:74:40) KÖLI

2 Magnetite, rim, Autoklinten, Västerbotten (JS:75:5) KÖLI

3 Magnetite, rim, Autoklinten, Västerbotten (JS:75:5) KÖLI

4 Cr-magnetite, rim, Rotiken, Västerbotten (JS:75:37) SEVE

5 Cr-magnetite, Salefjället, Västerbotten (JS:77:37) SEVE

6 Cr-magnetite, Vinberget, Västerbotten (JS:74:45) KÖLI

7 Ferrite-chromite, rim, Vinberget, Västerbotten (JS:74:42) KÖLI

8 Ferrite-chromite, rim, Rödberget, Bunnerviken, Jämtland (JS:77:12) SEVE

9 Ferrite-chromite, core, Rödberget, Bunnerviken, Jämtland (JS:77:12) SEVE

10 Opaque Mg-Al-poor chromite, Rotiken, Västerbotten (JS:74:104) SEVE

11 Opaque Mg-Al-poor chromite, core, Rotiken, Västerbotten (JS:75:37) SEVE

12 Opaque Mg-Al-poor chromite, rim, Rørskarakselen, Norge (JS:75:N:8) HELGELAND

13 Opaque Mg-Al-poor chromite, core, Rørskarakselen, Norge (JS:75:N:8) HELGELAND

14 Opaque Mg-Al-poor chromite, core, Vinberget, Västerbotten (JS:74:40) KÖLI

15 Transparent Mg-Al-rich chromite, Feragsfjella, Norge (JS:74:N28) E. TRØNDELAG

16 Transparent Mg-Al-rich chromite, core, Vinberget, Västerbotten (JS:74:62) KÖLI

17 Transparent Mg-Al-rich chromite, core, Vinberget, Västerbotten (JS:74:42) KÖLI

18 Transparent Mg-Al-rich chromite, core, Autoklinten, Västerbotten (JS:76:5) KÖLI

19 Pleonaste, S. Bunnersjöarna, Jämtland (JS:77:17) SEVE

Fig. 15 Nickel i låg - Al - utramafiter och detritiska serpentiniter från fjällen.

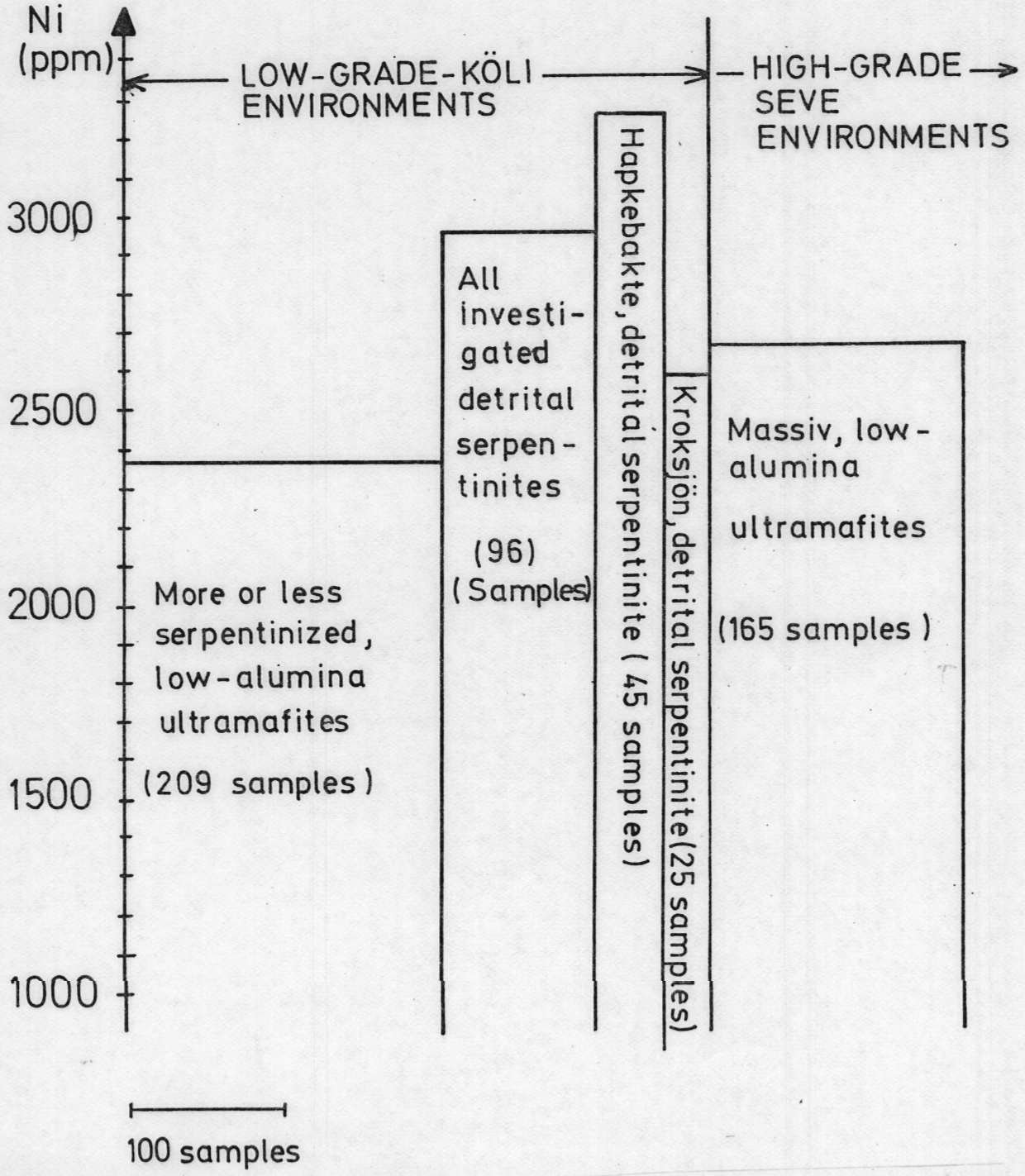
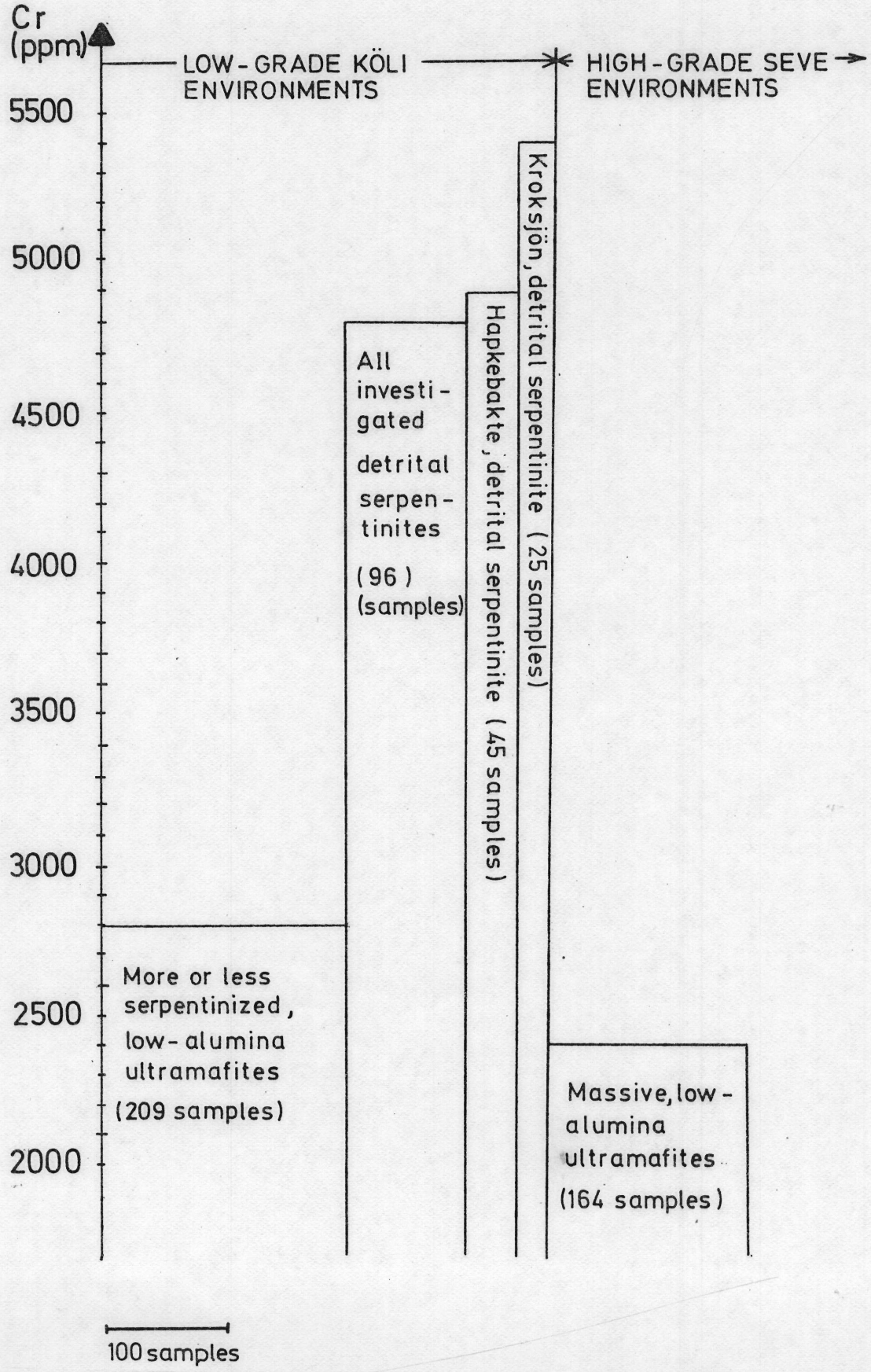


Fig. 16 Krom i låg-Al-ultramafiter och detritiska serpentiniter från fjällen



© Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)



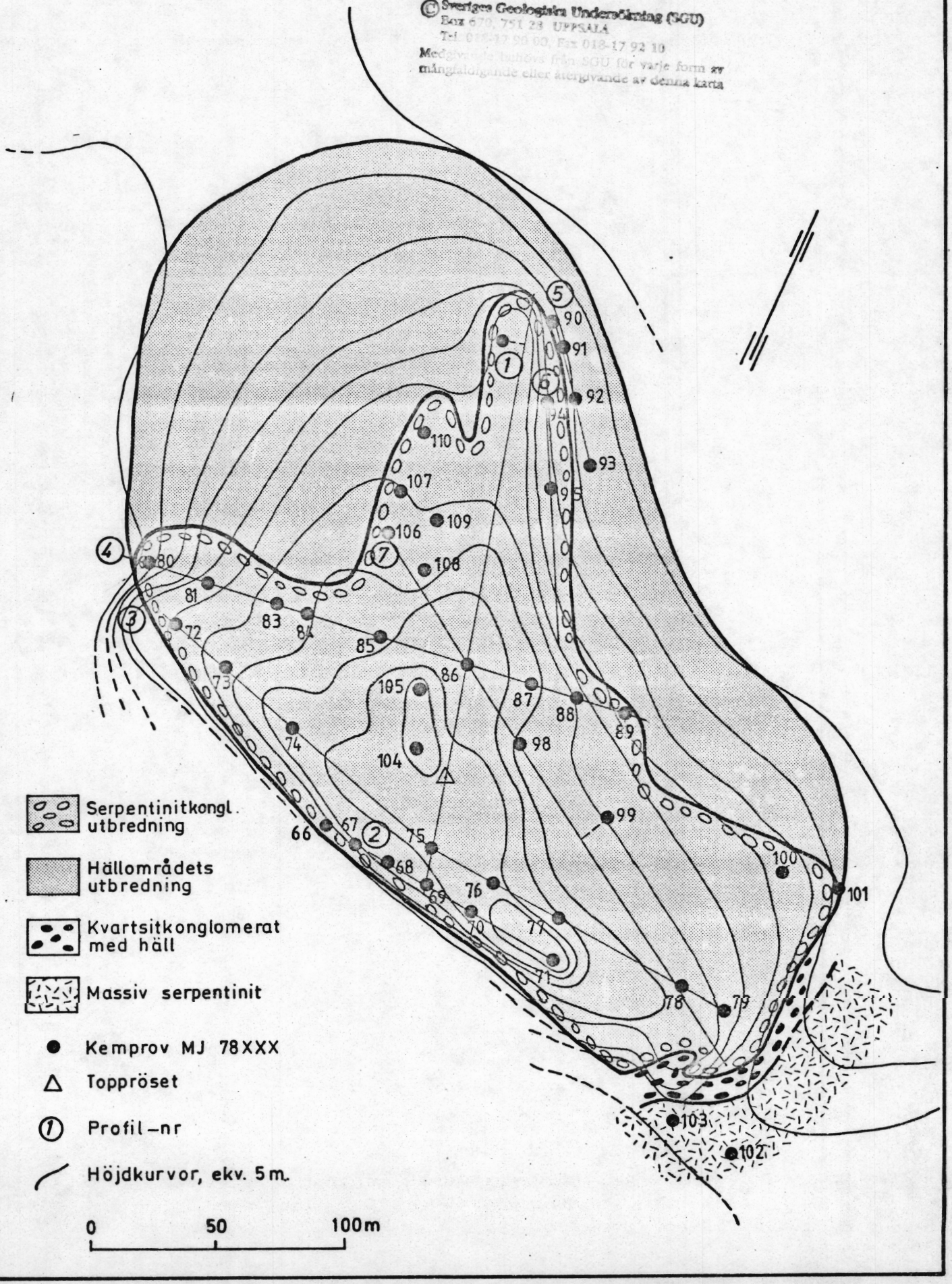
Fig. 17. Jetnems Ni-malmanledning och Hapkebakte detritiska serpentinit. Utdrag ur top.kartan 23 E, 1:~~50000~~ 100000.



Fig. 18 Gammhembäckens Ni-malmanledning. Utdrag ur top.kartan 25 F, 1:50 000.

Fig.19. Detritiska serpentiniten vid HAPKEBAKTE Provtagning 1978.

© Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
Box 670, 751 28 UPPSALA
Tel: 018-17 90 00, Fax 018-17 92 10
Medgivande behövs från SGU för varje form av mångfaldigande eller återgivande av denna karta



© Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
Box 670, 751 28 UPPSALA
Tel. 018-17 92 10

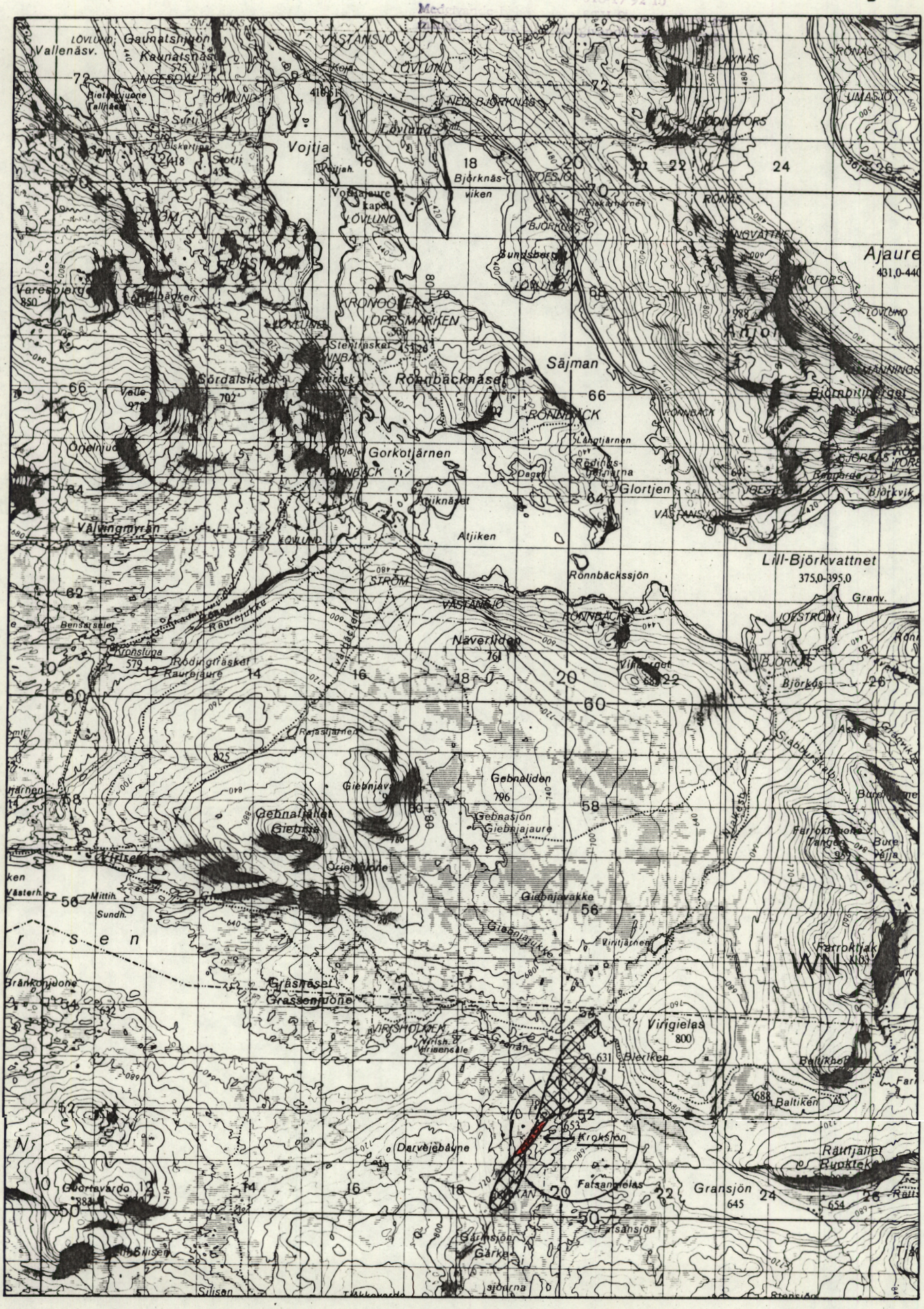


Fig. 20. Kroksjöns detritiska serpentinit. Utdrag ur top. kartan 24 F, 1:50000.

© Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
Box 670, 751 28 UPPSALA
Tel. 018-17 90 00, Fax 018-47 92 10

Fig. 21



Fig. 21. Rotikens (Gränssjö) detritiska serpentinit. Utdrag ur top. kartan 24 F, 1:50000.

© Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
Box 670, 751 28 UPPSALA
Tel. 018-17 90 00, Fax 018-17 92 10
Modifiering av SGU:s varje form av
mångfaldigande av denna karta



Fig. 22. Vietjervaratj talkfyndighet. Östra delen av massivet starkt talk-magnesitförande. Utdrag ur top. kartan 28 G – 29G, 1:50 000.