

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 488.

ÅRSBOK 41 (1947) N:o 7.

# FEMISK LEPTIT OCH SLIRGNEJS

SLIRGNEJSPROBLEMET I BELYSNING AV FÖRHÅLLANDENA  
INOM STOCKHOLMS SKÄRGÅRD OCH DET SÖRM-  
LÄNDSKA GRANATGNEJSOMRÅDET.

AV

N. SUNDIUS

MED 2 TAVLOR

---

*Summary: Femic leptite and veined gneiss.  
The problem of the veined gneiss as illustrated by the geological  
relations in the Archipelago of Stockholm and in the  
garnet gneiss of Södermanland.*

*Pris 1 krona*

STOCKHOLM 1947  
KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER  
471830

ÅRSBOK 41 (1947) N:o 7.

# FEMISK LEPTIT OCH SLIRGNEJS

SLIRGNEJSPROBLEMET I BELYSNING AV FÖRHÅLLANDENA  
INOM STOCKHOLMS SKÄRGÅRD OCH DET SÖRM-  
LÄNDSKA GRANATGNEJSOMRÅDET.

AV

N. SUNDIUS

MED 2 TAVLOR

*Summary: Femic leptite and veined gneiss.  
The problem of the veined gneiss as illustrated by the geological  
relations in the Archipelago of Stockholm and in the  
garnet gneiss of Södermanland.*

STOCKHOLM 1947

KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER

471830

## Innehåll.

Inledning .....	3
Skärgårdens femiska leptit .....	7
Den femiska leptitens tektonik och stratigrafiska ställning .....	11
» » » kemiska sammansättning .....	13
Leptitrelikter i slirgnejsen .....	19
Slirgnejsens kemiska och mineralogiska beskaffenhet .....	24
Till frågan om slirgnejsens genesis .....	31
Summary .....	39
Anförda arbeten .....	50

## Inledning.

Vid karteringen av Stockholmstrakten visade det sig snart, att den s. k. slirgnejsen eller granatgnejsen, som upptager större delen av kartområdet, icke är så homogen, som tidigare antagits. Inom densamma förekomma i betydande kvantitet även urgraniter (Sundius, 1930 och 1935, sid. 104). Att dessa bergarter bilda en väsentlig komponent inom granatgnejsterrängen fann även Magnusson (1936) i Kantorpstrakten i centrala delen av Södermanland. Själv har jag vid rekognosceringar utmed kustzonen söder ut från Stockholm kunnat påvisa likartade förhållanden ner till skärgården norr om Landsort. Gnejsgraniter synas alltså vara en ofta förekommande och väsentlig beståndsdel i den bergartskomplex, som tidigare mera schematiskt karterats som granat- eller slirgnejs.

Om fördelningen av gnejsgraniterna inom Stockholmskartans område samt inom skärgården öster därom lämnar den här bifogade svartryckskartan Tav. 1 upplysning. Den innehåller — med undantag för Värmdö öster om Ålstäket, som ej nykarterats — samtliga förekomster, som på grund av skalan ha kunnat reproduceras. Till desamma komma ytterligare mindre zoner och brottstyckestråk, delvis av basisk sammansättning, som icke kunnat medtagas vid karteringen. Till övervägande delen bestå de olika gnejsgranitkropparna av mörkgrå biotit- eller biotit-hornblände-plagioklasgnejs av den i urgranitgruppen vanliga typen, men dessutom äro ögongnejser, saliska, mer aplitartade gnejsgraniter och även mer alkalina, delvis hyperstenförande typer samt grönstensbergarter representerade. Å Tav. 1 ha de kemiskt olika typerna för översiktens skull erhållit samma beteckning. Såsom framgår av kartbilden utgöra de en mångfald bredare eller smalare band och zoner med större eller mindre uthållighet, även — sannolikt på grund av flackare lagring — mera utbredda massor, vilka samtliga äro konkordant inlagrade i

slirgnejsen. Tillsammans med denna bilda de ett vecksystem av delvis — i mellanskänklarna — ganska rätlinjigt förlopp, men med i stort sett starkt slingrande, sicksackformigt mönster samt med isoklin, ostligt stupning i samtliga omböjningar. Detta återger den tektoniska strukturtyp, som är utmärkande för slirgnejsen, vilken utan differentiering av bergarterna kan vara svår att överblicka, men framträder vid utskiljandet av gnejsgranitkropparna.

Kartan låter ytterligare komma till synes kontrasten mellan denna intimt veckade och slingrande lagerbyggnad och det jämnare NO—SV-liga vecksystem, som förhärskar i den yttre skärgården. Medan tryckriktningsfördelningen i den förra varit mera komplicerad, dock med den dominerande kraften riktad ungefär i N—S, ha skärgårdens lager deformerats under inverkan av en mera enhetlig, från öster eller OSO verkande kraft, vilken orsakat en nästan genomgående ostlig stupning i lagerkomplexen. Vi ha alltså att göra med angränsande delar av tvenne större veckningsområden med de förhärskande tryckriktningarna riktade ungefär vinkelrätt mot varandra, samtidigt, som den mot väster uppdrivande kraften i det östra området även gjort sig gällande i fastlandets gnejsområde och orsakat den här vanliga ostliga stupningen av vecken i omböjningarna. Man finner icke inom gnejsområdet någon transversell förskiffrig eller lagerdeformation, som skulle tyda på en yngre ålder av den isoklina ostliga stupningen av veckaxlar och stänglighet, varför det får anses sannolikt, att båda tryckriktningarna varit verksamma samtidigt inom båda områdena, men med olika betoning i vardera. Som vi i det följande skola finna, griper slirgnejsbildningen även in över gränsen i skärgårdens veckzon.

Det är givet, att i en berggrund med den starka hopvävning av de olika komponenterna, som förefinnes inom slirgnejsen, det i många fall blir beroende på subjektivt omdöme, hur och var en gräns bör dragas. Gnejsgraniterna visa även i många fall diffusa gränser mot slirgnejsen. Av den erfarenhet, man får vid karteringen, framgår ävenledes, att slirgnejsbildningen är senare än gnejsgranitkropparnas intrusion, i varje fall då det gäller de intermediära och mera basiska leden av dem. En viss inkorporering av gnejsgranit i slirgnejs har därför i många fall skett utmed gränserna, och exempel finnas även, då rester i slirgnejsen utvisa den tidigare närvaron av mindre gnejsgranit- och amfibolizoner, som partiellt förgnejsats. Å andra sidan äro gränserna i flertalet fall så bestämda, att någon större åverkan på intrusivkroppen synes utesluten. Att så är fallet talar även den omständigheten för, att smala zoner med några tiotal meters bredd kunnat följas km-tals, i vissa fall upp till 1 och 2 mil. Kartan torde därför tillnärmelsevis lämna en riktig bild av gnejsgranitens frekvens.

Gnejsgraniterna visa delvis en relativt homogen sammansättning. Delvis äro de rikare på och även uppfyllda av aplit-pegmatitmaterial, som ibland har en strimmig eller randig, subparallell anordning av den typ, som är så vanlig i sydöstra Östergötlands urgraniter (fig. 2). Den kan då även innehålla basiska band. Denna pegmatit tillhör otvivelaktigt gnejsgranitens egen magma. I



Fig. 1. Strimmig och pegmatitrandig gnejsgranit. I bildens mitt en zon av oregelbundet och rikligt invävd pegmatit. Skärning för järnvägsspåret invid Tantolunden, Stockholm.

andra fall kan det vara svårare att bedöma, om så är fallet, särskilt då större och mera diffust avgränsade och oregelbundet genomsättande pegmatitmassor tillkomma (fig. 1). Det blir givetvis i de enskilda fallen ofta svårt att avgöra, huruvida pegmatiten härrör från gnejsgraniten själv eller har invaderat utifrån. Mineralmaterialet i pegmatiten blir ju i båda fallen likartat. Att gnejsgraniterna varit pegmatitförande, är i varje fall tydligt.

Om vi därefter övergå till själva slirgnejsen, som bildar huvudmassan av kartans område, företer den en betydande heterogenitet. Frånräknat den pegmatit, som så allmänt och oregelbundet är utbredd inom dess område, och som ibland bildar berggrundens huvudmassa med endast sparsamma gnejspartier, kan man urskilja tvenne komponenter, den sliriga gnejsen och en grovt leptitisk bergart. Slirgnejsen är väl till stor del relativt likformig, i sin mest avancerade form utbildad såsom en tämligen massiv, grovt körtelartad slirig gnejs. I denna utbildningsform förhärskar genomgående en grov kornighet hos mineralen, och även om kvartsen och fältspaten äro grövre än



Fig. 2. Strimmig gnejsgranit med band av grönsten. Bildens höjd c:a 2 m.  
Färjestaden, Drottningholm.

biotiten och övriga femiska mineral, är det en enhetlig bergart. Detta förhållande, som särskilt kommer till synes söder och väster om Stockholm, i Södertörn och nedåt Nynäs, var det, som föranledde Holnquist att såsom ursprungsmaterial för gnejsen förmoda en granit. Inom andra trakter såsom norr och nordväst om Stockholm finner man även och kanske vanligare en mera randig och strimartad uppdelning av aplit-pegmatit och det finkornigare, biotitförande materialet. Bergarten ter sig i dylika fall närmast såsom en intim och oredig blandning av pegmatit-aplit och en finkornigare, parallellstruerad, grå gnejs eller gnejsartad leptit.

Leptitiska bergarter av visserligen relativt grov kornstorlek, men dock igenkännbara såsom leptiter, kunna sägas finnas inom hela slirgnejsens utbredningsområde, ehuru förekomsterna därav äro sparsamma inom den bättre homogeniserade gnejsen. De ha här formen av i allmänhet små, mer eller mindre diffust avgränsade linser eller skivor, som man lätt förbiser, om man icke är inriktad på iakttagandet av dem. Större dimensioner kunna leptitresterna antaga i de mindre homogeniserade delarna av gnejsen. De te sig här vanligen som zoner, i vilka pegmatitränder kunna uppträda. Genom rikligare inmängning av sliror och flammor av pegmatit i kanterna rives leptitet utåt sidorna upp till slirgnejs. Den största av mig inom Stockholmskartans område iakttagna leptitförekomsten är på Lillön vid Bockholmssundet i Mälaren och på den angränsande södra sidan av Ekerön fram till Ekerö kyrka. Inom ett område av 6—7 km längd i VNV—OSO och ca 1—2 km bredd utgöres berggrunden här till större delen av grovt leptitartad bergart, dock ej homogent utan med oregelbundet uppträdande zoner av slirgnejsartad karaktär.

Förekomsten av leptitiska rester i granatgnejsen är icke något nytt. Den omnämnes redan 1874 av L. Palmgren och senare av Holmquist (1910, sid. 1487). Även Magnusson fann i Kantorpstrakten likartade bergarter, av honom betecknade såsom leptitgnejsler, och de synas av beskrivningen ätt döma snarast vara vanligare här än i Stockholmstrakten och Södertörn. Själv har jag iakttagit dylika rester i gnejsen på en mångfald ställen i Södermanland, bl. a. i anslutning till de talrikt uppträdande kalkstenarna.

Man har alltså anledning att antaga, att det primära substratet för slirgnejsen varit en leptitisk bergart. Det är då av intresse att, i den mån det låter sig göra, undersöka, huru denna varit beskaffad, och i vad mån den överensstämmer med bättre bevarade leptiter. Den granskning, som jag utfört av ett större antal slipprov, liksom även den relikta leptitens makroskopiska utseende visa enstämmigt, att vi ha att göra med leptiter av den typ, som uppträder i skärgården söder om Runmarö samt öster och väster om Nämndö och fortsätter å öarna öster om Ornö och å dess sydligaste del samt å Utö, Ålö och Nåttarö, där de bli starkare förändrade och (å Ålö-Nåttarö) delvis flyta över i slirgnejs. I min tidigare skärgårdsbeskrivning, som dock ej sträcker sig längre än till sundet mellan Utö och Ornö, har jag betecknat dessa bergarter såsom grå, övre leptiter. Denna beteckning har jag vid karteringens fortsättning funnit vara mindre lämplig, enär den har en stratigrafisk innebörd, som visserligen är riktig för Runmarötraktens vidkommade, men som, sedd i större sammanhang och i belysning av senare kompletterande material, kan bliva missvisande. Jag har därför här föredragit att använda den mera neutrala benämningen »femisk leptit», varmed jag avsett att betona den för vederbörande leptit i allmänhet väsentliga biotithalten, vilken tillsammans med en i genomsnitt avsevärd anortithalt utgör det mest karakteristiska draget i vederbörande bergarters mineralkomposition. Man kunde för leptitgruppen i fråga även vara frestad använda namnet »paraleptit». Detta synes även svara mot förhållandena i de jämförbara norrländska förekomsterna, i vilka vittringsmaterial tydligtvis är inblandat i större utsträckning. Så synes dock icke vara fallet i den trakt, som här beröres, och som i det följande skall närmare diskuteras.

### Skärgårdens femiska leptit.

Hithörande bergarter äro nästan genomgående av grå färg, vanligen å friska ytor ganska mörkt grå, men variera i ljusare nyanser. Gråröda varieteter ha anträffats, men de äro underordnade, och än mer sällan och underordnat finner man ljusa, skära och då saliska band. Bergarterna ha en jämnkornig leptitisk beskaffenhet och äro i norra delen, söder om Runmarö, där de minst berörts av metamorfos, finkorniga och av en ganska massformig textur. Mot söder bli de grövre och samtidigt starkare skiffriga för att å Nåttarö-Ålö övergå i en delvis slirgnejsartad beskaffenhet, varvid pegmatit-aplitmaterial är oregelbundet inblandat.

Alldeles fria från invadering av kvarts-fältspatlösningar äro leptiterna även

längre norrut ut icke. Sålunda kan man undantagsvis anträffa slirgnejsartade små partier i leptiten å holmarna närmast Ö om Nämndö och å Ladholmen, och i form av finare ådernät ses vit fältspat och kvarts ej sällan väva genom samtliga leptiter längre norr ut. I det senare fallet har fenomenet dock mera formen av sprickfyllnader än av ådergnejsbildning och den genomsatta bergarten är i allmänhet till sina habituella utbildning ej påverkad.

Leptiterna äro till stor del homogena, men en grövre eller finare bandning med olikartad fördelning av mörka och ljusa mineral, sådan den beskrivits av Holmquist från Utö förekommer dock. Synnerligen vackra bandstrukturer anträffas även å Ladholmen och skären V därom söder om Runmarö. Undantagsvis kan amfibolit vara inlagrad, som konkordanta, väl avgränsade band. Det är emellertid möjligt, att denna amfibolit är att anse som ett yngre, intrusivt element.

De femiska leptiterna innehålla ej sällan kalksten eller skarnförande lager, ehuru i allmänhet av ringa mäktighet. Å Utö är dock kalksten utvecklade i större skala. Karbonatinnehållet förefaller vid karteringen icke att vara stort, men vid den mikroskopiska undersökningen finner man likväl, att kalkspat i små mängder är allmännare spridd i bergarterna, än man kunde förmoda, och i vissa fall tyder en mycket basisk karaktär av plagioklasen eller närvaron av tremolitiskt hornblände på tidigare inblandning av kalk, som övergått i silikatkombination under metamorfosen.

Å Fjällång och Fjällågs Norra (söder om närslutna karta) ha agglomeratliknande bildningar iakttagits, bestående av ljusare, mer saliska fragment, som äro inbäddade i mörkare, biotitrikare leptit. Konglomeratiska bildningar ha vidare omnämnts av Holmquist (1910, sid. 875) från Utö.

Mineralogiskt uppvisa de femiska leptiterna en större variation än det makroskopiska utseendet låter förmoda. Det mest genomgående draget är närvaron av en i allmänhet väsentlig mängd biotit — ca 10—30 vol.-% — vilken orsakar den mörka färgen, och utgör det vanligtvis enda femiska mineralet. Hornblände är sällsynt och inskränker sig huvudsakligen till den omnämnda tremoliten, som bildats ur tidigare kalkspat. Biotithalten kan dock i vissa fall gå ner till lägre värden och även rent saliska modifikationer finnas.

Med biotiten är i de föga metamorfoserade leptiterna S om Runmarö muskovit blott sällan och spårvis kombinerad. Längre mot söder blir detta mineral vanligare, samtidigt, som starkare skiffriighet inställer sig. På Utö äro leptiterna delvis relativt rika på muskovit. Det är ett problem, som senare skall diskuteras, huruvida närvaron av muskoviten verkligen beror på bergartens primära sammansättning eller är en följd av kemiska förändringar i samband med förskiffningen.

Fältspatinnehållet i de femiska leptiterna uppvisar betydande variationer från ren plagioklas till mikroklinrika blandningar. Det vanligaste i de genomgångna slipprouven är en blandning med övervägande plagioklas, och med en måttlig till ringa mängd mikroklin. Plagioklasens sammansättning varierar därvid från ca 10 till 60 % An, varvid An<sub>20</sub>—An<sub>30</sub> äro de vanligaste

värdena. Undantagsvis har i skära, saliska Mi-fattiga varieteter albit anträffats. Anmärkningsvärt är, att mikroklinhalt icke står i proportion till plagioklasens albithalt utan kan vara väsentlig även i mycket An-rika varieteter. Detsamma gäller kvartshalten, som tämligen genomgående är hög eller avsevärd (15—60 vol.-%), men man kan dock i sällsynta fall finna prov på saliska fältspatbergarter med albitisk plagioklas och obetydlig kvartshalt.

Ett mineral av intresse, som ibland anträffas i accessorisk kvantitet, är grafit i form av små, tunna tavlor, ofta anlagrade intill biotittavlor. Övriga sparsamma accessorier äro zirkon, apatit, rutil, titanit och små malm- och kiskorn. Särskilt är titanit sällsynt. Bergarternas titanhalt torde huvudsakligen ingå i biotiten. Granat har lokalt anträffats i leptit från ytterskären Ö om Nändö. Av Holmquist omnämnas granat och staurolit från leptit på östra sidan av Utö. Kordierit har i ett fall iakttagits i slipprov från Utö. Den torde saknas inom de norra delarna av leptitzonen. Ett undantag härifrån utgöra dock mindre leptitneslutningar i den röda saliska gnejsgranit, som bildar en uthållig zon å Hamnskär—Gillingseskärgården, vilka äro starkare omvandlade än normalt och kunna vara överförda i grova mineralblandningar av kordierit, kvarts, biotit, muskovit och albit jämte något flusspat. Detta är en egenartad form av omvandling, som endast iakttagits i denna aplitiska gnejsgranit och tydligen sammanhänger med en individuell inverkan från dess sida.

Ett under metamorfosen tillkommet mineral, som är ganska vanligt, ehuru accessoriskt i kvantitet, är turmalin. I de norra delarna av leptitzonen är skapolit ej sällsynt och i ett av de undersökta proverna var plagioklasen nästan helt skapolitiserad. Uppträdandet av dessa mineral tyder på någon pneumatolytisk tillförsel av ämnen under metamorfosen, sannolikt från urgraniternas sida, det kan dock endast röra sig om obetydliga mängder.

De femiska leptiternas utbildningsform och de mineralogisk-kemiska förhållandena i dem torde otvetydigt utvisa, att de äro sedimentbergarter. Den reservation beträffande det sedimentära bildningssättet, som jag i mitt skärgårdsarbete (1939) uttalat, berör vissa fenomen i de s. k. undre leptiterna å Runmarö, främst den egenartade och svårförklarliga bandning, som dessa förete med skarp uppdelning av alkalierna och kvarts, vidare även de mellersta, kalirika leptiternas egendomliga brecciebildande kalkstenar. På förekommen anledning (Magnusson 1946, sid. 185) må framhållas, att min reservation icke avsett att innebära ett avsteg från uppfattningen av även dessa bergarter såsom ytligt bildade.

De femiska leptiterna svara icke i sammansättning mot bergslagens malmförande leptiter, vilka vi äro vana att betrakta som prototyp för denna bergart. Medan bergslagsleptiterna ha en salisk, i regel ultrasalisk och alkalisk sammansättning, utmärkas de beskrivna femiska leptiterna av en väsentlig till hög An-halt och en i regel betydande biotithalt, som undantagsvis kan vara kombinerad med hornblände. Saliska varieteter äro undantag och saliska alkalina sådana sällsynta. Även om varieteter med väsentligt olika innehåll av plagioklas och kalifältspat anträffas inom formationen, skilja de sig från de

alkali-differentierade bergarterna i bergslagens malmförande formation genom sin avsevärda, delvis höga An-halt och en väsentlig till relativt hög kvantitet av biotit, någon gång av biotit och hornblände. Undantag härifrån förekomma visserligen, men de äro sällsynta. I bergslagens saliska och alkalina leptiter och hälleflintor äro slutligen järnmalmer talrika, i de femiska leptiterna sällsynta.

Kemiskt-mineralogiskt motsvara de femiska leptiterna nära de bland urgraniterna förhärskande grå gnejsgraniterna. I sin i skärgården och Stockholms-trakten vanliga form utgöras dessa av plagioklas-kvarts-biotit-, delvis biotit-hornblände-bergarter, som övervägande äro fattiga på eller sakna mikroklin, medan Mi-innehållet är väsentligare i de ögonförande typerna. Plagioklasen i de femiska leptiterna är stundom mera basisk än i de grå urgraniterna, men detta kan tänkas sammanhänga med ursprunglig inblandning av karbonat i leptitmaterialet. En annan skillnad är den brist på proportionalitet mellan anortit å ena sidan och innehållet av kvarts och mikroklin å den andra, som konstaterats i de femiska leptiterna. Även detta kan dock tänkas sammanhänga med kalkspatinnämngning under leptitens avlagring. Inblandningen av kalk kan tänkas förutsätta en viss kalkutlakning och dekomponering i leptitens material, men, som senare skall visas, måste en eventuell dekomponering ha varit ringa.

Det är därför sannolikt, att de femiska leptiterna på något sätt sammanhöra med de granodioritiska urgraniterna eller deras magma. Beträffande arten av det sediment, som får förutsättas ha utgjort leptiternas ursprung, ha vi f. n. endast de hållpunkterna, att leptiterna delvis förete bandning och skiktad byggnad samt äro innängda med kalksten. De grovt porfyriska strukturer, som beskrivits av Holmquist från vissa zoner å Utö, anser jag icke vara tillämpliga i förevarande sammanhang, när dessa bergarter på grund av utseende, innehåll av leptitbrottstycken samt geologiskt uppträdande enligt min åsikt äro att betrakta som intrusioner av gnejsgranit i leptiten. I slipprov från Utö i Holmquists samling har jag dock anträffat leptiter med strökorn av kvarts och fältspat och finkornig grundmassa, som kunna tydas som porfyriska superkrystalbergarter. I de av mig bättre kända norra delarna av leptitzonen äro spår av sådana strukturer sällsynta och representeras i de fall, där de anträffats, av relativt diffusa aggregat av kvarts, som kunna tänkas utgöra omkristalliserade strökorn. Bergarterna förete tämligen genomgående i mikroskopet bilden av en jämn- och pflasterkornig mosaik, finare eller grövre, med mer eller mindre parallell anordning av glimmern. Likaledes saknas porfyrstrukturer i de täta, »undre», saliska och alkalina leptiterna. Däremot förete de »mellersta» röda leptiterna å Runmarö ibland tydligt porfyriska, täta utbildningsformer. Till dessa båda senare leptitetager återkommes i det följande.

Den gängse åsikten beträffande samtliga leptiter i skärgården har under snart ett halvt sekel varit, att de äro vulkaniska sediment, och detta synes mig fortfarande vara den enda möjliga förklaringsprincipen, ehuru direkta strukturbevis så gott som saknas för den kvantitativt övervägande delen. De

femiska leptiterna måste i så fall genetiskt sammanställas med samma magma, vilken senare i urgraniternas form intruderade i sina egna ytbildningar. Att det i fråga om leptiterna skulle röra sig om detritus sediment, torde få anses mindre sannolikt. Det skulle i så fall vara fråga om mekanisk vittring med obetydlig och ej säkert påvisbar kemisk dekomponering. I varje fall skulle denna senare inskränka sig till en ringa kalkutlakning. Den yta, som skulle ha lämnat detta väldiga material är ingenstädes känd, den måste emellertid ha bestått av bergarter med likartad sammansättning som de n. v. synliga urgraniterna.

### Den femiska leptitens tektonik och stratigrafiska ställning.

Det enda område inom skärgårdens långa zon av olika slags leptiter, inom vilket möjligheter yppa sig för en mera detaljerad tektonisk och stratigrafisk utredning av förhållandena, är Runmarö. Under den kartering, som jag där utfört, kunde jag utskilja trenne horisonter av olikartade leptiter, en understa natronbetonad och alkalisk, karakteriserad av intim bandning samt rik på kalkinlagringar i form av tunna skikt och bredare zoner. Däröver följa röda eller mörkare violetteröda till bruna, kalirika, ävenledes saliska och alkaliska leptiter, som i sin huvudmassa äro oskiktade och ofta innehålla kalk ehuru i mindre mängd och i form av egendomliga, oregelbundna, breccierande partier och sliror. I denna leptit finner man ibland verkliga porfyryer med bevarade små strökorn och tät grundmassa. Det översta ledet utgöres av de beskrivna grå, femiska leptiterna av An-rikare och mera femisk sammansättning.

Den undre, kalkbandade leptiten bildar i östra delen av ön en i NNO—SSV långsträckt antiklinal (se skärgårdskartan, Sundius, 1939 samt tavl. II, detta arbete), i vilken kalksten dominerar i den centrala huvuddelen. Kalkstenen visar sig vid detaljkartering vara uppdelad i skilda fält, beroende på småveckning av lagren. Runt antiklinalen ha lagren överallt utstupningar, åt väster och sydväst ganska flackt ( $45-60^\circ$ ). Antiklinalen går i söder ut i en spets (vid Söderby—Oxelholmen). Den begränsas i väster och söder av den kalirika, röda, mellersta leptiten, som på dessa sidor uppbygger en bred, bågformigt böjd synklinal, väster om vilken den undre kalkbandade leptiten åter kommer till synes och bildar en utefter hela Runmarös västkust ner till Munkön följbar, brant mot öster stupande zon. Den röda, mellersta leptiten kan — delvis som inneslutningar i bandad gnejsgranit — följas vidare runt den stora antiklinalens östra och norra sidor. Söder om Runmarö skjuter den undre, kalkbandade leptiten fram mot norr från Munkön i form av en antiklinal rygg och begränsar hitåt den röda leptitens synklinal. Den röda leptiten fortsätter icke längre mot söder och synes primärt ha haft en lokal utbredning. I centrala delen av dess synklinal norr om antikiinalryggen från Munkö är den röda leptiten överlagrad av grå, femisk leptit, som sedan fortsätter mot söder över Nämndö, och öarna öster därom, kontinuerligt underlagrad av den saliska, kalkbandade, undre leptiteten. Däremot saknas grå

femisk leptit mot norr öster om Runmarö. Den är här bortskuren av gnejsgranit, och å skären i Gråskärsfjärden anstår enbart gnejsgranit.

I fortsättningen från Nämndö mot söder är det svårare att angiva gräns mellan femiska leptiter och undre, salisk, kalkbandad leptit, delvis enär leptitzonen blir uppstyckad av gnejsgranit. Det är emellertid tydligt, att den undre, saliska, kalkbandade leptiten har en fortsättning i det i gnejsgranit inlagrade band, som från Nämndö—Mörtö kan följas, möjligen med avbrott, ner till Ornö huvud och utefter Ornöns västra sida. Sannolikt höra hit även banden å Bunsöarnas östra sida och å västra hälften av Ornö (söder om kartan, tavl. I). Längre mot söder ha dessa leptiter icke kunnat följas. Öster om desamma följa som brottstycken i gnejsgraniten grå, femiska leptiter, som genom ett antiklinalt omböjt område å sydspetsen av Ornö sammanbindas med det stora leptitområdet Utö—Ålö—Nättarö.

Om man i stort vill åskådliggöra leptiternas tektoniska läge i gnejsgraniterna, skulle det svara mot bilden av en väldig, i den mellersta delen (Nämndö, Mörtö—Utö) av gnejsgranit uppstyckad skiva, vilken intager ett i stort isoklinalt mot öster stupande läge, samt uppvisar starka hopskjutningar av lagren, särskilt i den breda, norra delen. Ett flertal intrusioner av gnejsgranit spjälka upp leptiten utefter sidorna och även inne i densamma ses isolerade gnejsgranitlinser. Lösgjorda brottstycken och större inneslutna zoner av leptit finner man öster om den stora skivan ända ut i ytterskären upp till Runmarö. Leptitzonen är i sin norra hälft å ömse sidor omgiven av gnejsgranit. I södra hälften, ungefär från Ornö och söder ut löser gnejsgraniten å nordvästra sidan upp sig i mindre, intrusiva zoner, och här är sammanhanget mellan leptiter och slirgnejs kontinuerligt.

Å Runmarö och skärgården söder därom intaga de grå, femiska leptiterna otvetydigt ett stratigrafiskt högre läge än de saliska, alkalina etagerarna, vilka i avseende på sammansättning äro jämförbara med Bergslagens malmförande formation. Om detta förhållande kunde antagas vara generellt giltigt, torde de undre, saliska leptiterna få anses utgöra bottenlagret i den synliga superkrustalformationen och bilda en mot väster uppressad antiklinal. Det finnes emellertid i fortsättningen söder om Runmarö förhållanden, som göra det tvivelaktigt, att de saliska leptiterna verkligen utgöra de djupaste delarna av skärgårdens superkrustalbildningar. Sålunda finner man på skären väster om Nämndö grå, femisk leptit, och denna bergart är synlig så långt norrut som å det lilla skäret Märgrynnan mitt i Nämndöfjärden väster om Munkö. Ävenledes finnas hithörande bergarter å västra sidan av Ornö (Kolnäset—Varnäs-viken). Hit torde även bergarterna på Rotholmen, Skrakholmarna och Segelholmen väster om Ornö vara att räkna. Utö femiska leptiter övergå mot väster å Persholmen i slirgnejs, och några motsvarigheter till den alkalina, saliska leptiten äro icke kända väster härom. Det är i varje fall påvisbart, att grå, femiska leptiter uppträda även väster om den alkalina, »undre» leptiten. Vilket stratigrafiskt läge dessa intaga i förhållande till de alkalina leptiterna, beror på, om de mot väster uppåtstigande lagren å Nämndö och utefter Munkö—Runmarö V-sida mot väster göra en tvär nedböjning eller ej. Det ställer sig

givetvis svårt att avgöra denna fråga på grund av de begränsade observationmöjligheterna åt detta håll, varjämte en bred zon av gnejsgranit skjuter in mellan Nämndöleptiten och den femiska leptiten å skären väster därom. Det enda man kan säga är, att de iakttagbara förhållandena icke tala för existensen av en dylik omböjning. Man kan i varje fall icke anse som säkerställt, att de saliska, alkalina leptiterna utgöra de understa lagren i leptitserien. Den möjligheten förefinns även, att de utgöra en inlagring med begränsad mäktighet och utsträckning, såsom vi sett vara fallet med den röda, kalirika leptiten å Runmarö. Den femiska leptiten skulle i så fall vara superkrustalformationens huvudbergart. Som vi i det följande skola finna, har denna leptit också haft en väldig regional utbredning.

### Den femiska leptitens kemiska sammansättning.

Av skärgårdens femiska leptiter föreligga 8 analyser, varav 5 från Utö (Holmquist 1910) och 3 nya, utförda för detta arbete av Fil. Mag. A. M. Byström. Materialet för de senare är taget av mig å öarna söder om Runmarö och vid Nämndö. Samtliga analyser äro sammanställda i tab. 1. Etiketteringen av Utö-analyserna är vald så, att numren motsvara dem i Holmquists tabell.

Tabell 1.

	1	2	3	7	8	10	14	15
SiO <sub>2</sub> . . . . .	62,58	72,66	74,25	76,92	73,99	68,05	79,20	91,67
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,83	0,18	0,13	0,15	0,13	0,21	0,34	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	16,98	12,13	12,00	14,52	14,47	17,20	9,93	4,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,46	0,39	0,42	0,31	0,43	0,41	0,18	0,31
FeO . . . . .	3,90	2,19	1,55	0,65	1,71	1,89	2,04	0,72
MnO . . . . .	—	—	—		0,05	0,07	0,05	0,01
MgO . . . . .	3,66	4,02	3,27	0,53	0,99	0,69	0,94	0,50
CaO . . . . .	3,59	2,61	1,61	1,32	3,84	2,14	1,43	0,15
BaO . . . . .	0,02	0,07	0,13	0,08	Sp.	0,22		0,02
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,17	1,09	1,75	1,36	2,86	3,55	2,83	0,14
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,56	3,38	3,58	3,02	1,15	4,94	1,23	1,58
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,28	0,12	0,11					
H <sub>2</sub> O <sup>+1</sup> . . . . .	1,79	1,25	0,93	1,27	0,51	0,45	0,50	0,43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,11	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,13	0,04
S . . . . .	0,02	—	—		Sp.	0,03 <sup>2</sup>	0,02	0,01
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,06	0,08	0,15					
F . . . . .	0,01	0,04	0,06					
— O för F . . . . .		100,24	99,97	100,16	100,17	99,92	100,18 <sup>3</sup>	99,91
		0,02	0,03					
	100,02	100,22	99,94					

<sup>1</sup> I analyser 7—15 över 105—110°. — <sup>2</sup> FeS<sub>2</sub>. — <sup>3</sup> Häri 1,36 C.

1. Mörkgrå leptit, Trätskär S om Rågskår, Ö om norra Nämdö, anal. A. M. Byström.
2. Mörkgrå leptit, Strömskår, halvö å östra sid. av Ladholmen, anal. A. M. Byström.
3. Mörkgrå leptit, skär SO om St. Limskår, S om Runmarö, anal. A. M. Byström.
7. Leptit, ljusa delen av ett lager från östra stranden av Utö, anal. R. Mauzelius.
8. Leptit, mörka delen av samma lager som nr 7, anal. R. Mauzelius.
10. Kornig grå leptit, nära L:a Sillvik, östra sidan av Utö, anal. R. Mauzelius.
14. Mörk leptit, öster om Restavik, norra stranden av Utö, anal. R. Mauzelius.
15. Ljusgrå, kvartsitisk leptit, N om L:a Sillvik, Utö, anal. R. Mauzelius.

I de av mig tagna proverna är mineralbeståndet följande:

Prov 1, Trätskär, plagioklas ( $An_{34}$ ), kvarts, och biotit. Mikroclin och muskovit nästan saknas. Accessoriskt apatit. En mindre rand av tremolit ses i slipprovet.

Prov 2, Strömskår, Ladholmen, plagioklas ( $An_{52}$ ), kvarts, mikroclin, biotit, samtliga i ungefär likartade proportioner, spår av kalkspat, blågrön turmalin, titanit och zirkon accessoriskt. Ett skapolitkorn i slipprovet.

Prov 3, Skär Ö om St. Limskår, plagioklas ( $An_{30}$ ), kvarts och mikroclin, i ungefär likartade proportioner, biotit, små blågröna turmalinkorn och zirkon accessoriskt.

Den ur analyserna beräknade normfältspaten är återgiven i diagrammet, fig. 3 (Mol. % Or, Ab, An). Beräkningssättet kan sägas vara i viss mån missvisande, då det gäller bergarter med väsentlig biotithalt och återger snarare förhållandet mellan alkalierna och CaO men detta spelar för det följande mindre roll. Antalet punkter är relativt fåtaligt och av slipproven att döma skulle en fullständigare serie av ifrågavarande leptiter även omfatta blandningar av An-rikare beskaffenhet, och sporadiskt förefinnas även albitstenar. Även i sin n. v. omfattning återgiva dock analyserna huvudsaken beträffande de femiska leptiternas fältspatblandningar, nämligen att de till övervägande del äro av en relativt An-rik beskaffenhet, och att kalium i biotit och mikroclin samtidigt mycket allmänt är företrädd i väsentlig mängd. Den analys, som faller i Or-hörnet, refererar emellertid till en kvarts- och glimmerrik leptit från Utö, om vilken man har anledning att ifrågasätta, huruvida dess sammansättning är oförändrad (jmf nedan).

För jämförelse har i samma diagram sammanställts normfältspaten ur de tillgängliga analyserna av gnejsgraniter från skärgården och Roslagen.<sup>1</sup> Om

<sup>1</sup> Analyserna äro hämtade från Holmquists skärgårdsarbete (1919, nr 9, 11, 12, 13), från min skärgårdsbeskrivning (1939) sid. 30 (kvartsdiorit, Ornö, nr 4) och sid. 32 (gnejsgranit och granitgnejs, Ornö, nr 2 och 3) samt P. H. Lundegårdh (1946) sid. 48 (grå, dioritisk gnejsgranit) sid. 49 (grå gnejsgranit med föga hornblände) och sid. 60 (ögonförande gnejsgranit med föga hornblände) samtliga tre sistnämnda (nr 5—7) från trakten av Penningby och Norrtälje. Nr 1 motsvarar en ännu ej publicerad analys av ögongranit från Hasselökubb, V om Sandhamn.

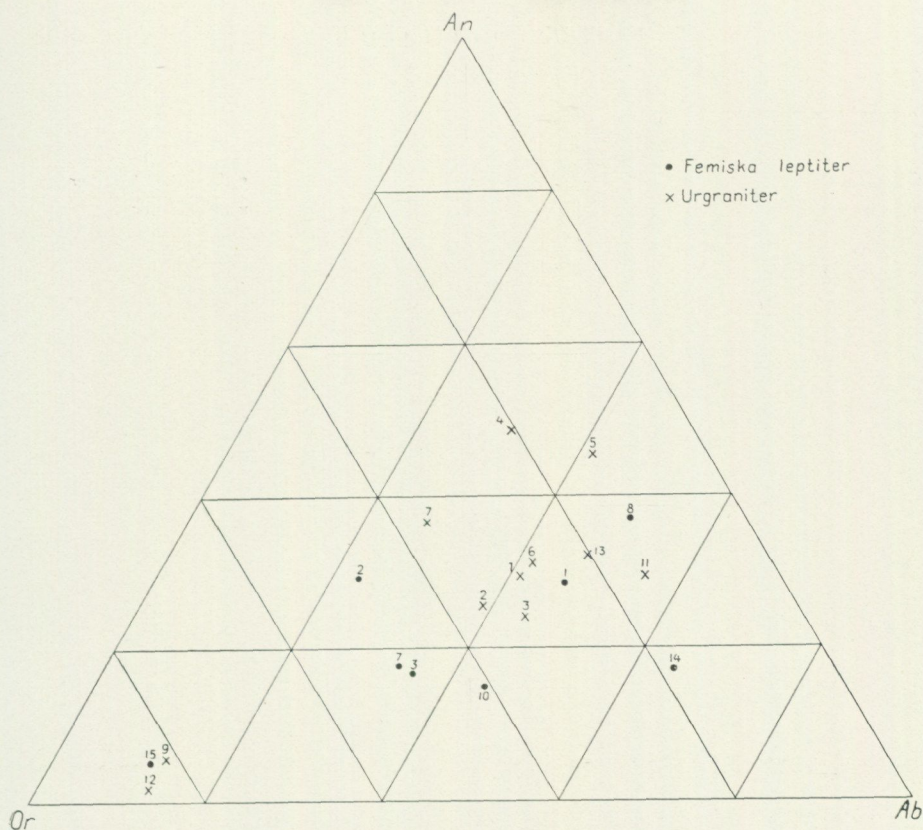


Fig. 3. Projektion av norm-fältspaten i femiska leptiter, grå urgranit och ögongnejs från skårgården.

vi bortse från de två översta analyspunkterna, som referera till hornbländarikare kvartsdioritiska varieteter, intaga gnejsgraniterna ett med leptiterna likartat läge i diagrammet. De femiska leptiternas analogi med de grå gnejsgraniterna i avseende på fältspat- och biotit-bildande substanser är påfallande. Möjligen kan man på grund av förhållandena i diagrammet uttala en förmodan, att leptiterna genomsnittligt kunna vara något An-fattigare.

Av särskilt intresse är frågan om graden av kemisk vittring i det material, som utgjort ursprungsmaterialet för de femiska leptiterna. Denna fråga sammanhänger i sin tur med spørsmålet om ev. kemiska förändringar under metamorfosen. Både förvittring och metamorfa processer kunna ju leda till en likartad kemisk utveckling, dvs. till alstrande av och ökning av  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskott i bergarterna, liksom även till höjning av  $\text{SiO}_2$ -innehållet. I ett sediment sker  $\text{SiO}_2$ -anrikningen genom sortering och anrikning av kvarts, vid omvandlingen av en bergart bl. a. genom utlakning av baser, huvudsakligen i fältspaterna. Även en direkt addition av  $\text{SiO}_2$  leder givetvis till samma resultat.

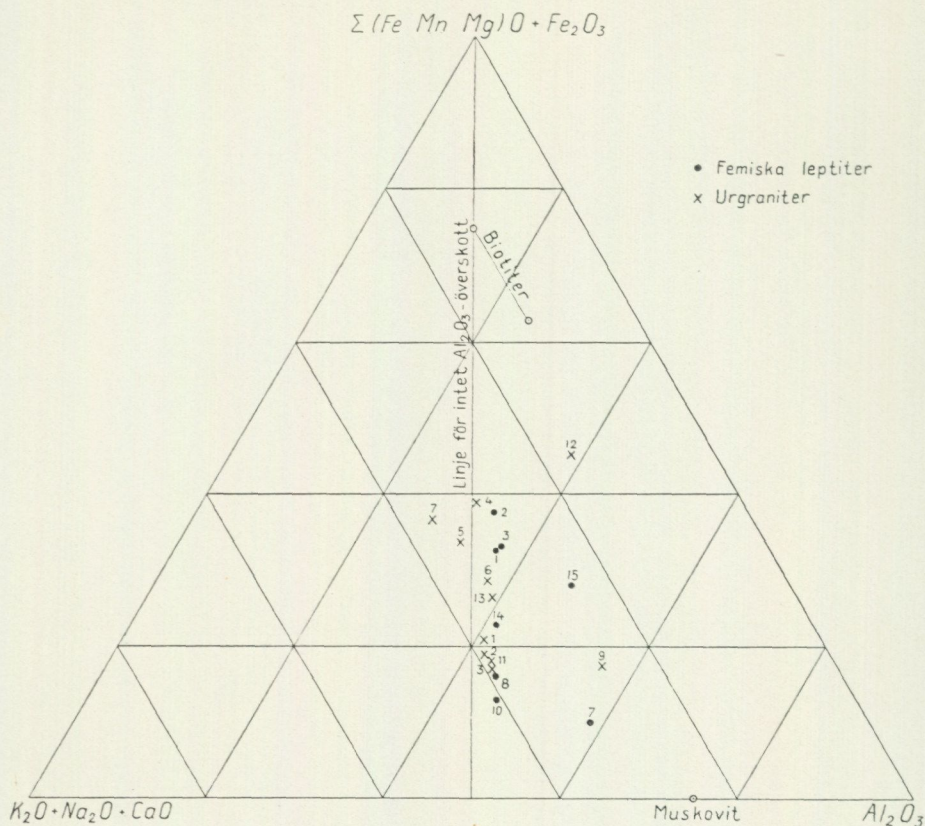


Fig. 4.

För att pröva hithörande spörsmål ha samma analyser som ovan omräknats och inlagts i ett triangeldiagram (fig. 4) med de på 100 beräknade molekylära talen för alkalier + CaO, de femiska oxiderna  $[\text{Fe}_2\text{O}_3, (\text{FeMn})\text{O}, \text{MgO}]$  samt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  som koordinater. I triangeln kommer mittlinjen från fem.oxider till motstående sida, att motsvara en linje för mättning med aluminium, medan punkter till vänster därom representera  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -underskott, till höger därom  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskott. Detta beror på att proportionen mellan molekyler alkalier + CaO och  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i fältspaterna är = 1:1. Biotiten kan vidare betraktas som en komponent med formeln  $\text{H}_4\text{K}_2\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}$ , i vilken MgSi kunna ersättas med AlAl till proportionen  $\text{Mg}_5\text{Al}_4\text{Si}_5$  (Winchell, 1925), beroende på närvaron av större eller mindre  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskott vid mineralets bildning. I diagrammet är den förstnämnda formelns plats belägen på mittlinjens övre del, den senare snett därunder. Å andra sidan är kvantiteten CaO i hornblände och pyroxen molekylärt vanligen större än mängden närvarande  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , varför rikligare närvaro av dessa mineral vill förorsaka underskott på aluminium. Muskovit med formeln  $\text{H}_4\text{K}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}$  är belägen på bottenlinjen halvvägs mellan mittlinjen och  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -hörn. Föreningslinjen

mellan den nedre biotitpunkten och muskovit representerar den yttersta graden av  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskott, om ej de Al-rika mineralen kordierit, granat, sillimanit tillkomma.

Om vi först betrakta gnejsgraniternas punkter, visar diagrammet, att dessa med få undantag falla något till höger om mittlinjen. Ett visst överskott av  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i biotiten är således vanligt i gnejsgraniterna, och vi ha ingen anledning att antaga, att detta icke är primärt. Tvenne punkter falla obetydligt till vänster om linjen. Det rör sig i dessa fall om hornbländeförande kvartsdioritiska varieteter.

Tvenne gnejsgraniter falla emellertid långt till höger om centrallinjen, ha alltså onormalt högt  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskott. Dessa två punkter motsvaras av nr 9 och 12 i Holmquists analysstabell och referera till de såsom »porfyrisk leptit» betecknade zonerna å Utö och till den blandade gången å öns östra sida. De förra uppfattades av Holmquist såsom genombrytande lavar ev. tuffer, medan jag anser dem utgöra förskiffrade intrusiv av gnejsgranit. I intetdera fallet, liksom ej heller i fråga om den blandade gången, finnes anledning att antaga ett primärt  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskott av denna storlek. Det bör f. ö. tilläggas, att ytterligare tvenne analyser från samma intrusiver föreligga i Holmquist tabell, nämligen nr 11 och 13, vilka båda visa normala förhållanden och äro belägna i centrallinjens närhet. De två Al-rika proverna äro samtidigt även onormalt rika på kvarts (se nedan diagram, fig. 5). Det förefinnes därför fog för att antaga, att resp. tvenne bergarter blivit förändrade under den starka förskiffning, som övergått delar av dem och alstrat de muskovitrika sliror och zoner, som bergarterna f. n. innehålla. Det plausiblast synes vara, att en utlakning av alkalier och särskilt av kalk skett. Båda bergarterna äro i fältspatdiagrammet belägna i Or-hörnet, nära Or—Ab-linjen. Det är av intresse i detta sammanhang att framhålla, att de båda Al-rika bergarterna även av Holmquist uppfattades såsom omvandlade på här antytt sätt i hans skärgårdsbeskrivning, liksom detta faktum senare betonas i referatet av hans föredrag om granatgnejsen (1910: III, 1489). I själva verket utgjorde denna iakttagelse utgångspunkten för hans i det följande berörda teori om granatgnejsens genesis.

Om vi därefter övergå till leptiterna, ordna sig även dessa på tvenne undantag när utefter samma rad som gnejsgraniterna i centrallinjens närhet. Man kan säga, att de ligga i ytterkanten av den zon som bildas av gnejsgraniterna, motsvarande en obetydlig stegring av  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -överskottet. Stegringen är dock så ringa, att man kan säga, att om leptiterna och gnejsgraniterna härröra från samma ursprungskälla, ha de förra vid och före sedimenteringen icke i nämnvärd grad förändrats. En eventuell kemisk vittring måste ha varit obetydlig. De tvenne analyser, som avvika från de övriga, referera till tvenne leptiter från Utö (nr 7 och 15), vilka liksom de två abnorma gnejsgraniterna äro abnormt rika på kvarts. Även i dessa fall ha vi anledning förmoda en förändring under förskiffningen med utbildande av muskovit och relativ anrikning av  $\text{SiO}_2$ .

Diagrammet fig. 5 avser slutligen att visa kvartshalten i de två gruppernas

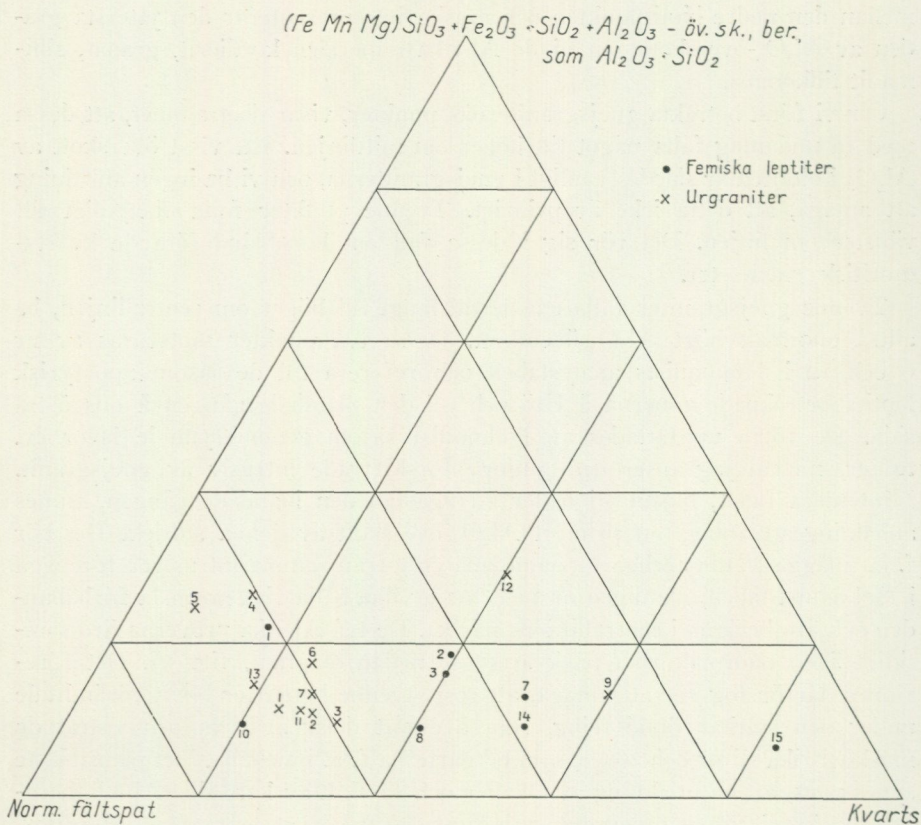


Fig. 5.

bergarter. Diagrammet återger viktsförhållandena normfältspat (Or + Ab + An): femiska oxider (FeMn) O och MgO, beräknade som metasilikat +  $Fe_2O_3 \cdot SiO_2$  + överskott  $Al_2O_3$  som  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ <sup>1</sup>: rest  $SiO_2$  (kvarts). Diagrammet visar, att kvartshalten i stort sett är något högre i leptiterna än i gnejsgraniterna. De abnormt kvartsrika bergarterna 15, 9, 7 samt den likaledes mycket kvartsrika 12 svara mot de abnormt  $Al_2O_3$ -rika gnejsgraniterna och leptiterna från Utö. Det tidigare omnämnda förhållandet, att kvartshalten i leptiterna kan vara hög trots närvaron av basisk fältspat kommer ej till synes i diagrammet. Härför skulle erfordras en tetraeder-projektion.

Den kemiska granskningen av förhållandena i gnejsgraniter och femiska leptiter ger alltså vid handen, att båda äro nära analogt till sin sammansättning. Möjligen är fältspatblandningen genomsnittligt obetydligt An-rikare i gnejsgraniterna, samtidigt som kvartshalten i genomsnitt synes vara något högre i leptiterna. Det material, som givit upphov till leptiterna, visar praktiskt taget samma storlek av  $Al_2O_3$ -överskottet, som gnejsgraniterna, varför

<sup>1</sup> I de kvartsdioritiska gnejsgraniterna i vilka en mindre  $Al_2O_3$ -brist föreligger, har däremot svarande mängd CaO beräknats som  $CaSiO_2$  och inräknats i den femiska silikatgruppen.

nåmnvärd grad av vittring icke kan ha förekommit i det sedimenterade materialet. Leptiterna bli mot söder starkare skiffrika och innehålla delvis samtidigt muskovit, vilket torde bero på förändringar under förskiffringen och metamorfosen. De därvid uppkomna derivaten äro samtidigt kvartsrika, övervägande abnormt kvartsrika. Förändringen, som i likartad form återfinnes i leptit och intrusioner av gnejsgranit är säkerligen att tillskriva ett bortförande av fältspatbaser och relativ ökning av kvartsen under förskiffringen och ej en addition av ämnen.

### Leptitrelikter i slirgnejsen.

Det material, som stått mig till buds, utgöres dels av slipprov från Stockholmskartans område och skärgården norr om Landsort jämte observationer i fält inom Stockholmskartans område. Jag har dessutom iakttagit dessa bergarter å ett flertal ställen i Södermanland i samband med undersökningar av dess kalkstenar. Från Kantorpsområdet föreligger Magnussons beskrivning med 6 analyser av s. k. leptitgnejs, återgivna i tabell 2.

Ett studium av detta material ger vid handen, att den leptit, vi ha att göra med i slirgnejsen, som här varit den ursprungliga bergarten, är av samma art som skärgårdens femiska grå leptit, med vilken den överensstämmer i färg, utseende och mineralogisk sammansättning. Man återfinner i slipproven samma oftast väsentliga biotithalt, undantagsvis kombinerad med obetydligt muskovit, ävenledes samma, vanligen till omkring 20—30 % uppgående anortithalt i plagioklasen, vilken senare dock även här kan uppvisa mera

Tabell 2.

	I	II	III	VII	IX	X
SiO <sub>2</sub> . . . . .	77,87	82,63	67,70	71,60	79,65	78,24
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,07	0,28	0,88	0,72	0,16	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12,95	8,79	15,21	14,63	12,05	10,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,25	0,06	0,52	1,05	0,11	0,28
FeO . . . . .	1,16	2,07	2,49	1,77	0,30	1,00
MnO . . . . .	0,01	0,02	0,08	0,03	0,01	0,01
MgO . . . . .	0,59	0,80	1,63	1,26	0,24	2,20
CaO . . . . .	1,86	1,60	1,93	3,91	1,97	0,37
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,64	2,03	1,13	4,00	4,62	3,56
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,03	0,82	7,12	0,37	0,73	1,53
H <sub>2</sub> O . . . . .	0,61	0,71	1,18	0,30	0,20	1,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,01	0,18	0,14	0,21	0,02	0,09
	100,05	99,99	100,01	99,85	100,09 <sup>1</sup>	100,06

<sup>1</sup> Häri 0,02 BaO och 0,01 S.

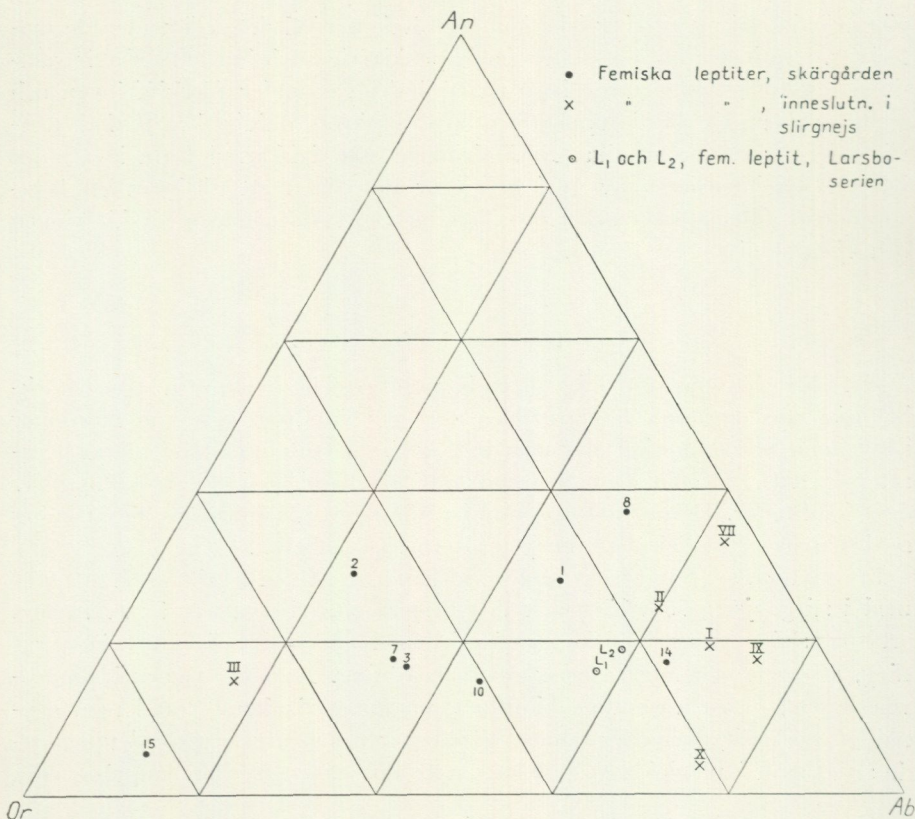


Fig. 6.

basiska blandningar ända upp till 80 % An. Även hornblände kan vara närvarande, och i vissa fall är det tydligen fråga om skarn, bildat ur tidigare inmängd kalk. Samma ofta höga kvartshalt återfinnes, i en del fall även kombinerad med basisk plagioklas. Slutligen är mikrolin ojämnt fördelad. I de flesta fall är den endast sparsamt representerad och kan även helt saknas, i andra är dess kvantitet riklig upp till lika stor som plagioklasens.

Magnusson har jämfört denna leptit med de malmförande leptiterna i Bergslagen. Detta är missvisande, vilket torde framgå av det anförda. Såsom indicium för sin mening anför Magnusson, att extrema kalium- och natronbergarter förefinnas i leptitresterna. De analyser som av hans arbete att döma skulle utvisa detta, synas vara III och X. I båda fallen rör det sig om bergarter med väsentligt innehåll av biotit, vilket icke svarar mot förhållandena i bergslagens kvarts-alkalifältspat-bergarter, men väl mot Mi- resp. Ab-rikare varieteter i de femiska skärgårdsleptiterna. I den mikroklinrika bergarten (III) är plagioklasen enligt normen en labrador (An<sub>48</sub>), i X An<sub>5</sub>. Dyliga bergarter kunna ingå som mindre betydande led i den femiska leptitens serie, men passa ej i de saliska, alkalina, malmförande leptiternas serie.

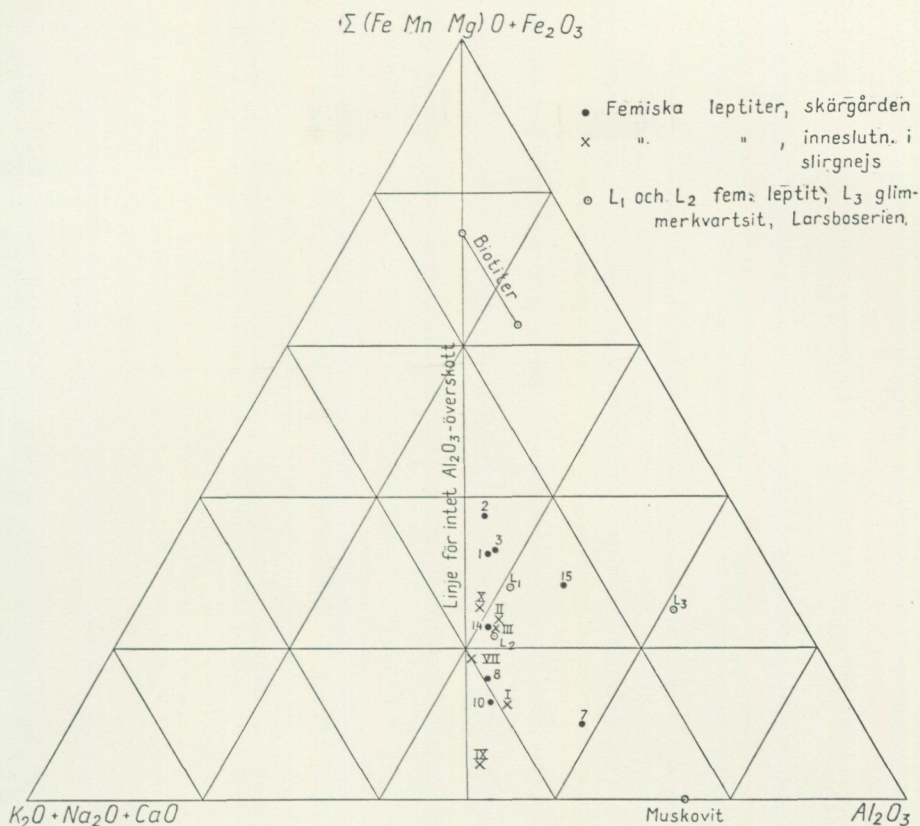
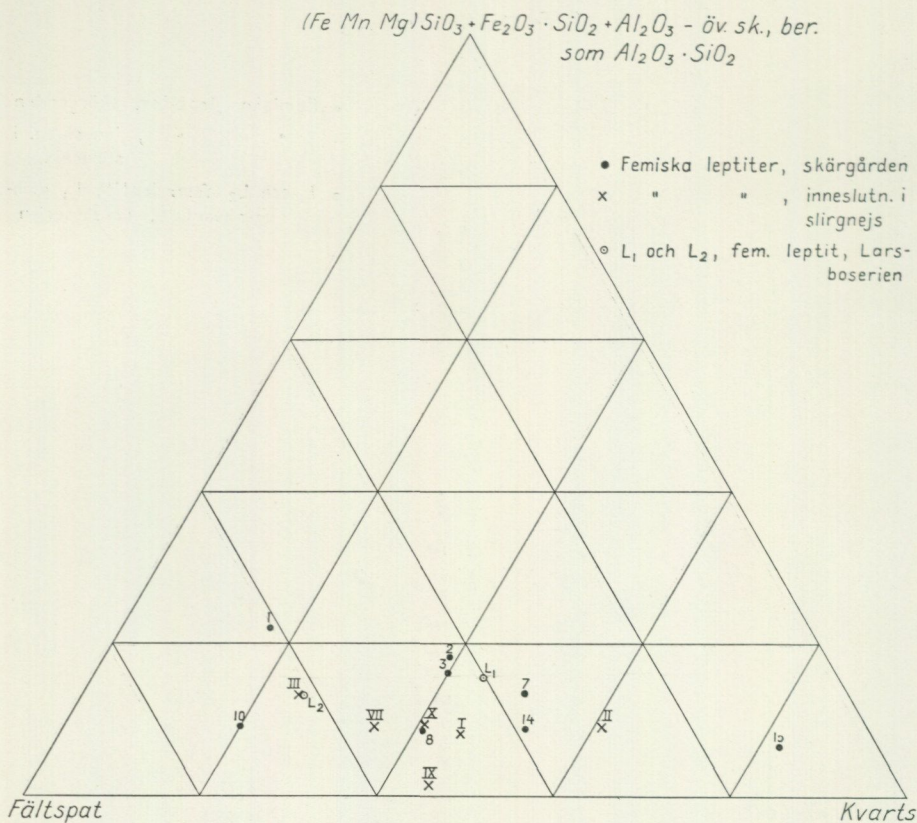


Fig. 7.

I fig. 6—8 äro de av Magnusson publicerade leptitgnejs-analyserna återgivna i de tidigare använda diagrammen tillsammans med analyserna från skärgården. Den kemiska släktskapen mellan resp. bergarter är påfallande. Den omständigheten, att alkaliintermediära led saknas inom Kantorpsmaterialet i fältspatdiagrammet (fig. 6), kan icke tillskrivas någon betydelse. Bergarter med intermediära fältspatblandningar äro representerade i det av mig undersökta slipprovsmaterialet, och att dylika icke komma från Kantorp, kan tänkas bero på analysprovalet. Av särskilt intresse är, att  $Al_2O_3$ -överskottet även i leptitresterna från det inre av slirgnejsen icke är större. Det håller sig i genomsnitt likartat med skärgårdsleptiternas och endast i tvenne fall (I och II) ligga punkterna just utanför kanten av den vertikala zonen, till vilken skärgårdsleptiterna äro begränsade (fig. 7).  $Al_2O_3$ -överskottet är således även av likartad storlek med det i gnejsgraniterna. Någon nämnvärd mängd av kemiskt dekompositionsmaterial kunna därför leptiterna icke ha innehållit. Bergarter med de extrema överskott, som anträffats i vissa av Utö leptiter och gnejsgraniter, och som där torde vara sekundära, saknas. Det är ett anmärkningsvärt faktum, att leptiten i de rester, som finnas be-



varade, av allt att döma bibehållit sin sammansättning så ograverad under den starka kemiska substansvandring, som skett i slirgnejsen.

Om man på grund av det föreliggande materialet vill utläsa någon skillnad i kemiskt avseende mellan skärgårdens femiska leptiter och leptitresterna i slirgnejsen, skulle det möjligen vara den, att de senare genomsnittligt äro något fattigare på femiska mineral, i huvudsak biotit. Även detta kan vara skenbart, enär ett större urval av leptiter ur resterna i slirgnejsen kan ändra bilden, men det kan även förhålla sig på det sättet, att de mera femiska och glimmerrikare delarna av leptiterna varit mer lättillgängliga för de gnejsbildande lösningarna under slirgnejsbildningen än de mera saliska.

Jag är på grund av dessa förhållanden böjd för att antaga, att den formation, som vid omvandlingen givit upphov till den sörmländska slirgnejsen, utgjorts av en leptitformation, svarande mot skärgårdens grå, femiska leptiter, och att saliska, alkalina kvarts-fältspatleptiter av bergslagstyp saknats eller spelat en underordnad roll. Den femiska leptiten har sålunda haft en väldig utbredning, i jämförelse varmed skärgårdens saliska leptiter utgöra en obetydlighet. Det skulle därför icke vara någon orimlighet, om de senare i själva

verket utgjorde en inlagring av begränsad utbredning och mäktighet i den grå, femiska lagerserien.

Det är givet, att det i gnejssmassor av slirgnejsens avancerade omvandlingsgrad skall bli svårt att avgöra, i vilken utsträckning vittringsdekomponerat material förekommit, särskilt om, såsom kan synas plausibelt, glimmerrikare — ursprungligen på dekompositionsprodukter rikare — material skulle visa en större benägenhet till slirgnejsbildning än glimmerfattigare kvarts-fältspatstenar. Magnusson har beträffande denna sak vid skilda tillfällen intagit en olikartad ståndpunkt. Hans tidigare uppfattning (1932) synes ha varit, att den primära berggrunden i slirgnejsområdet varit av samma art som i Bergslagen, och att vittringssediment saknats eller spelat en underordnad roll. Ett anført skäl för denna mening var den oregelbundna fördelningen av de aluminiumrika mineralen, vilken icke svarar mot den zonära anordning, man kunde vänta av en med sediment inlagrad leptit, ett förhållande som överensstämmer med min erfarenhet. I sina senare arbeten tillskriver Magnusson »skiffergnejser» dvs. gnejser med »i de homogena partierna jämnt inströdda aluminiumrika mineral sådana som cordierit, andalusit och sillimanit och en hög halt av biotit» en större roll. Ytterligare hänvisas summariskt till de fältgeologiska förhållandena. De senare äro dock utan lokalkännedom svårbedömbara, och frågan om skifferinblandning i leptiterna torde få betraktas som oviss. Vad som framgår av Magnussons beskrivning (1936) är däremot, att leptiter av samma art som i skärgården förefinnas inom Kantorpsområdet, och att dessa leptiter bevisligen övergå i och omvandlats till slirig granatgnejs med dess karakteristiska sammansättning och habitus.

S. Hjelmqvist har från trakten NO om Norra Barken, beskrivit den s. k. Larsboserien, vilken, som dominerande beståndsdel innehåller grå leptiter och gnejser, analoga med de femiska leptiterna i skärgården. De tvenne meddelade analyserna äro intecknade i diagrammen såsom  $L_1$  och  $L_2$ . Den ena,  $L_1$ , visar ett obetydligt större  $Al_2O_3$ -överskott än skärgårdsleptiterna, medan  $L_2$  i detta avseende är identisk med de senare. En ringa ökning av dekomposition är tänkbar i den förra, dock har även denna bergart karaktären av en femisk leptit. Dessa bergarter underlagras enligt beskrivningen av glimmerskifferar och glimmerkvartsiter (punkt  $L_3$  i fig. o), vilka kunna utgöra derivat av vittringssediment. Om dessa senare bergarter utan kemisk förändring eller enbart genom pegmatittillskott skulle tänkas övergå i slirgnejser, skulle dock även de icke svara mot de i granatgnejsen förhärskande typerna, och om vi tänka oss Larsbo-serien i sin helhet förändrad till slirgnejs av granatgnejsens beskaffenhet, måste ett tillskott av ämnen förut-sättas av samma art och ungefär samma omfattning, som får förutsättas ha skett i granatgnejsen.

Hjelmqvist hänvisar även till de leptitiska, delvis glimmerskifferartade gnejser, som av Törnebohm omnämnts från trakten av Västerås och Enköping, alltså från utkanten av granatgnejsområdet. Utan en närmare undersökning av dem är det icke möjligt att taga ståndpunkt till frågan, om den

glimmerskifferartade karaktären är nedärvd från primärmaterialet eller ett omvandlingsfenomen, likaså är det oundersökt, i vad mån dessa bergarter kemiskt skilja sig från de femiska leptiterna.

Det är tydligt, att leptitbergarter, motsvarande dem i skärgården haft en mycket betydande utbredning. Förutom i granatgnejsens område breda de ut sig mot norr i södra Uppland och östra bergslagen. Hur stor andel de ha i de som leptit kartlagda terrängerna i norra Uppland är f. n. svårt att överblicka, då ingen systematisk uppdelning utförts. Gå vi längre norr ut, ha mer eller mindre skifferinblandade femiska leptiter haft en mycket vidsträckt utbredning. Hjelmqvist har i sitt arbete redan påpekat denna sak. Säkertligen ha dylika bergarter utgjort ursprungsbergarten inom samtliga de stora norrländska ådergnejsområdena, liksom de förhårska inom de såsom leptit betecknade terrängerna i Ångermanland. Där jag själv haft tillfälle iakttaga de senare, utgöras de av femiska leptiter, ofta inblandade med skiffermaterial, delvis rent skifferartade.

Över huvud taget torde huvudparten av vår äldsta arkäiska suprakrustalformation ha utgjorts av bergarter av denna relativt femiska och An-rika leptitiska typ, delvis sammansatta av ovittrat material, delvis rikare på vittningsprodukter, lokalt även utvecklade som skiffrar och kvarstiter. Till denna formation torde även de finska s. k. plagioklasgnejserna och skiffrarna, stratigrafiskt hänfödda till bottenium, vara att räkna.

### Slirgnejsens kemiska och mineralogiska beskaffenhet.

En viss svårighet för överblickandet av de kemisk-mineralogiska förhållandena i slirgnejsen orsakas av det i kvantitet mycket varierande innehållet av pegmatit. Ävenledes kan man förutsätta, att den olika utbildning av slirgnejsen, som inledningsvis berörts, och som kan sägas innebära en mer eller mindre fullständig homogenisering av materialet, även svarar mot en olikhet i sammansättning, i det den homogeniserade gnejsen genomsnittligt torde vara Al- och Fe-Mg-rikare än de varieteter, som ha prägel av leptitisk gnejs med ådermaterial. Den förra typen, alltså den relativt homogena, grova, körtelartat sliriga typen, är lättare att undersöka och få ett grepp om, och det är också den, varå undersökningarna hittills inriktat sig och varpå nedanstående diskussion grundar sig. Man kan emellertid antaga, att samma kemiska tendens och omvandling förefinnes även i de mera inhomogena typerna, ehuru i mindre avancerad grad.

I sin homogeniserade form består slirgnejsen av kvarts, oligoklas-andesin av en ganska likformig sammansättning ( $An_{25}$ — $An_{30}$ ), pertitisk mikroklin, biotit, vartill komma kordierit, sillimannit, rödviolett granat och grafit. De vanligaste Al-rika mineralen äro kordierit och sillimannit, dock är granat ofta närvarande. Grafit är ävenledes vanlig och kan lokalt tillsammans med magnetkis vara anrikad i zoner. I regel är dock dess mängd ringa. Muskovit saknas ofta. Den kan dock vara rikligare företrädd och även undantagsvis utgöra det enda Al-rika mineralet förutom biotit. Som accessorier uppträder zirkon,

Tabell 3.

	19	21	22	IV	V	VI	VIII	XI	A	B
SiO <sub>2</sub> . . .	68,35	63,41	67,99	66,42	58,74	65,45	67,76	69,50	73,75	65,03
TiO <sub>2</sub> . . .	0,42	0,65	0,51	0,93	0,72	0,76	0,75	0,15	0,52	0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	15,70	19,22	14,69	13,23	24,47	18,47	13,86	17,57	12,71	17,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	1,08	2,74	2,23	1,55	0,14	1,04	0,99	0,00	0,46	0,42
FeO . . .	4,21	4,00	4,52	5,49	6,36	4,17	4,21	1,47	3,46	6,25
MnO . . .	0,05	0,05	0,08	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,05
MgO . . .	1,84	2,84	1,86	2,36	2,08	2,00	4,75	4,62	1,58	2,88
CaO . . .	1,11	0,65	2,97	0,09	0,15	0,09	0,45	0,28	0,95	0,81
BaO . . .			0,04						0,04	0,11
Na <sub>2</sub> O . . .	2,11	1,21	2,59	1,23	0,92	0,84	2,81	3,13	1,57	1,07
K <sub>2</sub> O . . .	3,82	4,36	1,61	5,84	4,03	4,54	2,55	0,95	3,36	2,86
H <sub>2</sub> O <sup>105°</sup> . .									0,20	0,33
H <sub>2</sub> O <sup>105°</sup> . .	0,90	0,60	0,32	2,70	2,20	2,60	1,28	2,12	1,11	1,60
CO <sub>2</sub> . . .									0,04	0,04
C . . . .									0,20	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . .	0,11			0,11	0,08	0,04	0,19	0,06	Sp.	0,00
S . . . .	0,05								0,30	0,37
	99,75	99,73		99,97	99,92		99,62	99,89	100,27	100,17
— o för S .									0,11	0,14
									100,16	100,03

samt små kiskorn. Apatit är sällsynt. Förhållandet mellan plagioklas och mikroclin varierar. I allmänhet synes plagioklas vara något rikligare företrädd, dock kan förhållandet vara omvänt. Den rikliga närvaron av biotit gör likväl, att bergarten är kalirikare, än man kunde förmoda på grund av mikroclinhalten.

De tillgängliga analyserna av granatgnejs, sammanlagt 10 st., äro sammanställda i tab. 3. Av desamma äro 19 (Nynäs) samt 21 och 22 (Skylvalla och Erikslund i Gåsinge socken, N om Stjärnhov) publicerade av Holmquist (1910), IV, V, VI, VIII och XI från Kantorstrakten publicerade av Magnusson (1936) medan A och B referera till tvenne nya analyser, utförda av R. Blix. Mot de två senare svarande prover äro tagna av mig SO om Fruängen (V om Långbro) samt i Segeltorp ungefär 1 km V om Långsjöns NV-spets. Analyserna representera alltså vitt skilda delar av slirgnejsområdet.

I de tvenne av mig tagna proverna utgöres mineralbeståndet i A av plagioklas (An<sub>25</sub>), pertitisk mikroclin och kvarts, vilka jämte biotit utgöra huvudmineralen, relativt rikligt med kordierit, något granat och muskovit. Sillimanit i ytterst fin fördelning förefinnes underordnat i små smala vindlande zoner. Härtill kommer obetydligt grafit något kis och ett fåtal zirkonkorn.

Mineralsammansättningen i B är likartad, dock saknas granat, samt äro sillimannit och grafit rikligare representerade, den förra i form av stänglar, i grovlek och uppträdande likartade med de övriga mineralen.

Magnusson har diskuterat granatgnejsens kemiska beskaffenhet på grundval av de då tillgängliga analyserna och de beräknade Niggglivärdena. Han kom därvid till den slutsatsen, att starka förändringar i ursprungsmaterialet måste förutsättas ha skett vid slirgnejsbildningen, i huvudsak innebärande, att vissa ämnen bortförts ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ , alkalier), medan andra tillförts ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  och  $\text{H}_2\text{O}$ ). Att betydande förändringar skett, är även tydligt.

I det följande har bergarternas kemi diskuterats på basis av de tidigare här tillämpade triangeldiagrammen, samt under jämförelse med de femiska leptiterna i skärgården och leptitresterna i slirgnejsen.

I diagrammen fig. 9—11 äro in-tecknade såväl de förefintliga analyserna av leptiter från skärgården och Kantorpsområdet som granatgnejsanalyserna. Ytterligare ha inlagts tvenne punkter, motsvarande genomsnittet av de två tillgängliga analyserna av Grythytteskiffer ( $G_1$ ) och ett moartat fragmentrikt band i densamma ( $G_2$ ). Å diagrammet fig. 11, som visar förhållandet mellan de till 100 beräknade molekylära talen för  $\text{CaO} + \text{alkalier}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  och femiska oxider [ $(\text{FeMgMn})\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ] har åter linjen för  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -mättning utdragits och lägena för muskovit och biotiter antytts. Dessutom ha orterna för slirgnejsens  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -rika mineral, granater, kordierit och sillimannit angivits. Man kan i detta diagram i viss mån utläsa den förhärskande arten av de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -rika mineral, som uppträda i gnejsen. Så böra exempelvis V och VI vara relativt rika på sillimannit-andalusit medan i VIII biotit bör vara dominerande, samtidigt som B och XI böra vara de kordieritrikaste. Så långt man kan döma av beskrivningarna och slipproven, är detta även överensstämmande med verkliga förhållandena. Läget av gnejsens analysorter visar vidare, att den granat, som uppträder, bör vara en blandning av almadinpyrop med mindre inblandning av grossular-andalusit.

Av fältspatdiagrammet fig. 9 framgår, att den direkt ur oxiderna beräknade normativa fältspatblandningen i slirgnejsen visserligen är något varierande, men att huvudantalet av analyserna utvisa K-rika blandningar, vilket står i motsats till förhållandena i leptiterna. Punkternas fördelning svarar i stort sett mot en väsentligt högre kalihalt i gnejsen och ett lägre innehåll av Na och Ca, möjligen med relativt taget något lägre värde av den senare än av den förra. I diagrammet ha med pilar förenats de punkter, som svara mot de bergarter, i vilka Magnusson vid Kantorp kunnat följa utvecklingen av slirgnejs från leptitgnejs. De visa i två fall (III—IV och VII—VIII) starkt avtagande av anortit. I det tredje fallet (X—XI) inträder en förskjutning mot Ab-hörnet, ehuru förändringen i detta fall ej är stor. Förhållandena kunna sålunda ha varierat i de individuella fallen, och de av Magnusson analyserade leptitgnejserna III och VII höra till de An-rikare blandningarna i leptitserien. I genomsnitt taget tyder likvisst det föreliggande materialet på ett högre innehåll av K och en samtidigt motsvarande mindre

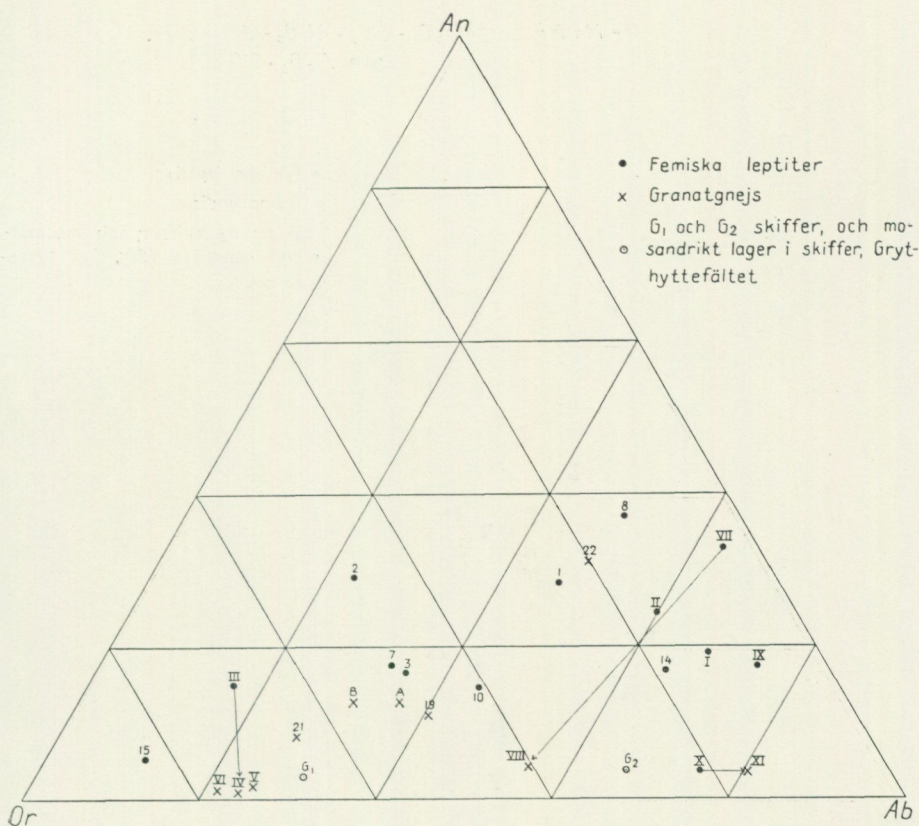


Fig. 9.

mängd av Na och Ca, möjligen med relativt något mindre mängd av Ca än av Na. Nu ingår även biotitens och muskovitens kalihalt i normens beräknade fältspat. Det är givetvis svårt att beräkna den mängd kalium, som ingår i glimrarna (huvudsakligen biotit), men ett hänsynstagande härtill skulle förskjuta samtliga punkter mot Ab—An-linjen. Detta gäller för både leptiter och gnejser, ehuru förskjutningen sannolikt skulle bli något större för de senare. Skillnaden i genomsnittlig modal fältspat i gnejser och leptiter skulle bli något mindre, men den väsentliga olikheten skulle dock kvarstå.

Ur diagrammet kan man icke utläsa, huruvida den totala fältspatmängden samtidigt är olikartad. Detta framgår däremot av diagram fig. 10, som återger de till 100 reducerade viktstalen för fältspat (direkt beräknad ur analysens CaO, Na<sub>2</sub>O och K<sub>2</sub>O efter avdrag för P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- och CO<sub>2</sub>), femiska silikat [(FeMnMg)SiO<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> + överskott Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ber.ss. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub>] och återstoden SiO<sub>2</sub> (kvarts). Av punkternas fördelning framgår, att kvantiteten av såväl fältspat som kvarts genomsnittligt är lägre i gnejssen än i leptiten, samtidigt som kvantiteten femiska silikat är högre. Spridningen av punkterna är större i leptiterna, svarande mot en fältspatkvantitet av 30—

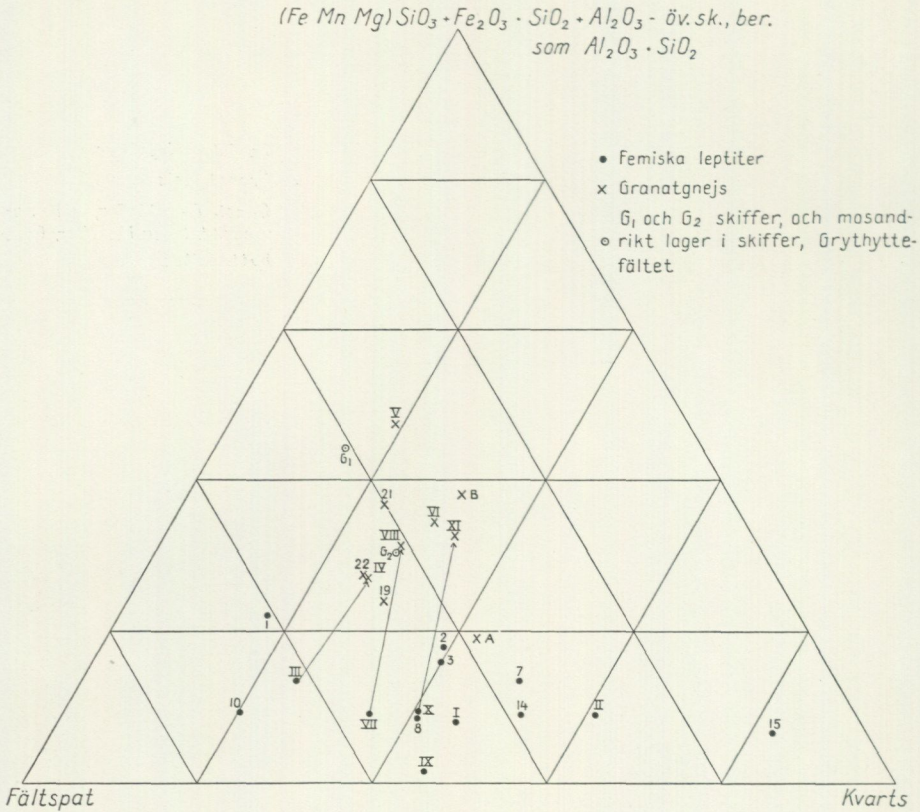
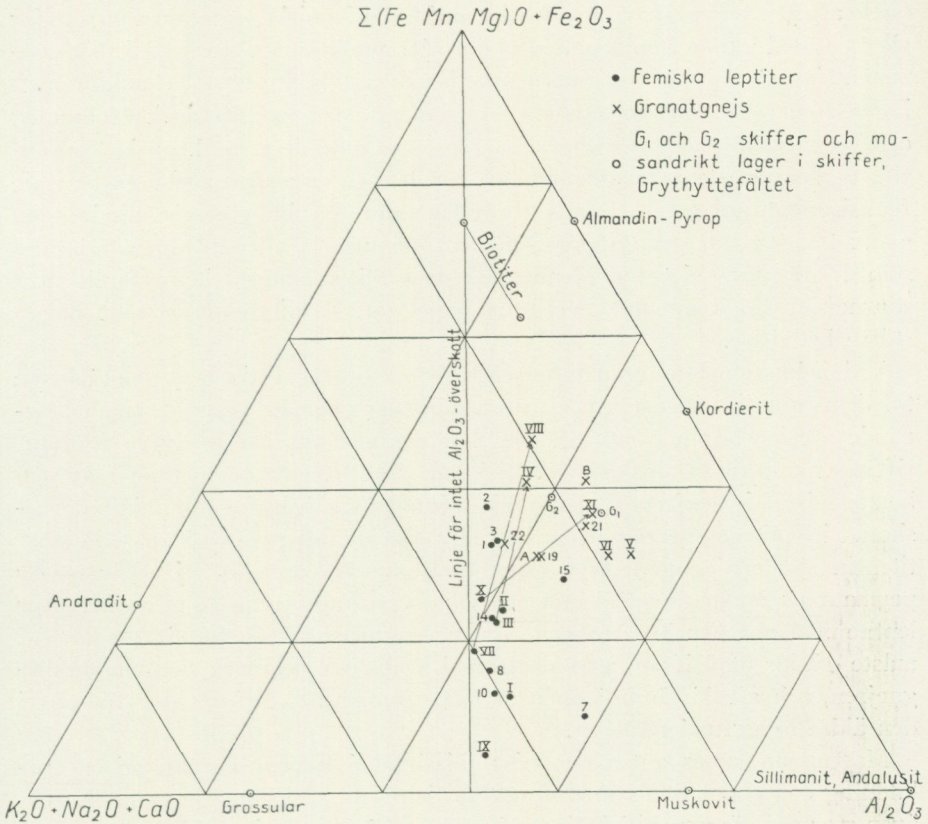


Fig. 10.

70 % (härvid bortses från den abnormalt Utöleptiten nr 15), medan siffran för gnejsen håller sig vid 30—50 %. Fältspatkvantiteten är mera konstant i gnejsen, samtidigt som den är lägre. Ett hänsynstagande till biotitens kalihalt skulle även här något förskjuta punkternas lägen och något minska skillnaden men skillnaden skulle i huvudsak bestå. Den föreliggande olikheten illustreras även av pilarna på diagrammet, som förena de ovan nämnda lepit- och pegmatitgnejserna från Kantorp.

Fig. 11 illustrerar slutligen den större kvantiteten av Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i gnejserna. Såsom synes är skillnaden betydande. Diagrammet visar samtidigt den parallellt härmed skeende ökningen av femiska oxider. Det kompletterar fig. 10, i vilket femiska silikat och silikat av Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-överskott voro sammanslagna.

Sammanfattningsvis utgöras de mineralogiska olikheterna mellan granatgnejsen och den femiska leptiten av ett lägre innehåll av fältspat och kvarts i gnejsen, samtidigt som Or-halten i den senare ökat relativt till An och Ab. Minskningen är väsentligt större beträffande kvartsen än beträffande fältspaten. Samtidigt innehåller gnejsen en betydande kvantitet av femiska och Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-rika silikater.



Om vi utgå ifrån, att leptiter av de analyserade bergarternas typ utgjort ursprungsmaterialet för granatgnejsen, betyder detta, att en väsentlig addition av  $(\text{FeMg})\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  och  $\text{K}_2\text{O}$  skett under gnejsmetamorfofen, medan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  och  $\text{Na}_2\text{O}$  minskats. Det är tydligt, att ökningen av de förstnämnda måste antagas vara absolut, däremot är det svårare att avgöra, om minskningen av de senare i genomsnitt behöver vara absolut eller endast är relativ. Beträffande  $\text{SiO}_2$  synes det förra icke vara nödvändigt. Den reducering i fältspatens totala kvantitet, som inträffat, är relativt liten, och den mängd  $\text{SiO}_2$ , som åtgått till bindande av de nytillförda femiska oxiderna och  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , måste till större delen ha tagits från leptitens kvarts, som decimerats. Om någon förlust skulle ha skett under gnejsbildningen, synes den böra ha inskränkt sig till något  $\text{CaO}$  och  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Detta resultat överensstämmer i mycket med Magnussons tidigare. En väsentlig skillnad är, att Magnusson förutsätter en mot de tillförda ämnena svarande borttransport av substanser, medan den här förebragta utredningen tyder på att förändringen under slirgnejsbildningen huvudsakligen bestått i en addition av ämnen, medan borttransporten av sådana är mera problematisk.

De analyserade granatgnejserna ha onekligen kemiskt likhet med en skiffer eller en med mosand uppblandad sådan (jfr punkterna  $G_1$  och  $G_2$  i diagrammen). Granatgnejsens sammansättning har även tidigare föranlett auktorer att i densamma förmoda metamorfa lersediment. Häremot ha dock Holmquist och Magnusson reagerat, och däri är jag ense med dem. De kemiska förändringar, som måste antagas, om man förutsätter en ursprungsbergart av de femiska leptiternas typ, kunna förefalla stora. De bli givetvis mindre, om man antar att ursprungsbergarten varit inblandad med vittringsmaterial. Så som framhålles i det föregående tala dock förhållandena beträffande de i slirgnejsen förekommande leptiterna emot, att dylikt material haft någon större betydelse.

Vid diskussionen av granatgnejsen har man emellertid även att taga hänsyn till den samtida invasionen av stora mängder pegmatitmaterial. Inom betydande arealer blir pegmatit alldeles dominerande, närmande sig en procent-siffra av upp till 90 och 100 %. Vi kunna icke härleda pegmatiten från den homogeniserade gnejsen, ty det är icke möjligt att åvägabringa aluminiumöverskottet i leptiterna genom att smälta eller lösa ut fältspat och kvarts. Pegmatiten innehåller dessutom även själv aluminiumrika mineral. Ej heller svarar pegmatitens fältspatinnehåll mot en ev. antagen utdrivning av Ab och An ur leptiten. Pegmatiten är nämligen, såsom Magnusson även funnit, Or-rik. Vi måste därför utgå ifrån, att en tillförsel av kalirik pegmatit skett inom slirgnejsen, och att därjämte ämnen av ovan funnen art tillförts och fixerats i den äldre berggrundens leptit.

Magnusson synes antaga en viss tidsskillnad mellan granatgnejsens utbildning och pegmatitens intrusion. Till den senare ansluta sig enligt honom även mer ordinära granitiska intrusioner. En sönderslitning av granatgnejsen i bitar och trasor genom pegmatit och aplit är visserligen ett ofta iakttagbart fenomen, men samtidigt är invävningen av pegmatitmaterial i gnejsen och leptitresterna så intim och allmänt förekommande, att man svårigen kan lägga någon bestämdare åldersskillnad mellan gnejsbildningen och pegmatitinvasionen. De större pegmatitmassorna kunna såsom magmalösningar ha överlevt ådergnejs- och mineralombildningen i den omvandlade leptiten, men resorptionsfenomenen och mineralbildande processer kunna dock ha fortsatt intill dess pegmatiten i sin helhet stelnat.

I förevarande sammanhang bör även den i granatgnejsen förefintliga grafiten omnämnas. Den förekommer som ett karakteristiskt och ofta med blotta ögat iakttagbart mineral, väl icke överallt, men dock mycket allmänt. Även i pegmatiten finner man ofta grafit. I de analyserade gnejsproverna från Stockholmstrakten uppgår mängden C till 0,20 och 0,44 %. Grafit har såsom ovan nämnts även kunnat påvisas i skärgårdens leptiter, ehuru i accessorisk mängd och icke allmänt förekommande. Ett undantag bilda vissa lager av leptit från Utö, därav ett invid gruvan, i vilka C-halten uppgår till 1,4 och 1,5 %. Grafithalten är emellertid otvivelaktigt betydligt större i granatgnejsen än i skärgårdsleptiterna. Även i leptitresterna i granatgnejsen anträffas mineralet, dock även här i mindre mängd. Jag är därför böjd för antagandet, att

kol i någon form innehållits i det i gnejsen tillförda materialet och fixerats i form av en relativt grovbladig grafit. Detsamma gäller även för den kishalt, som förefinnes i grafitrikare zoner. Att grafit anrikats i zoner, är mindre anmärkningsvärt, då kol får förutsättas ha stor rörlighet under transporten av ämnen.

Ett motsatt försök till tolkning av granatgnejsens kemisk-mineralogiska förhållanden har som bekant gjorts av Holmquist (1910, GFF, sid. 1486). Enligt den av honom framförda hypotesen skulle det höga  $Al_2O_3$ -innehållet bero på en förskiffring och mylonitisering av den primära bergarten, vilken Holmquist tänkte sig som en granit. Under mylonitiseringen skulle alkalier och kalk ha utlakats, varefter myloniten genom regionalmetamorfos överförts till ådergnejs. Frånsett det osannolika i en regionalt genomgående mylonitisering och utlakning av berggrunden inom gnejsens stora område, kan man icke få fram granatgnejsens kemi därigenom. Man skulle bl. a. såsom skett i de förskiffrade Utöbergarterna, vänta sig en kraftig stegring av kvartshalten, medan i stället motsatsen inträffat.

#### Till frågan om slirgnejsens genesis.

Sedan Sederholm för 40 år sedan framlade sin palingenesteori har diskussionen om ådergnejserna övervägande förts i enlighet med de principer, som utvecklades av honom, ehuru väl modifikationer i betraktelsesättet föreslagits. Enligt Sederholm äro ådergnejserna produkter av en partiell återuppsmältning, som försiggått i närheten av den granitiska magmasfär, som antogs förefinnas på visst djup under jordytan samt under inverkan av från magmasfären intimt infiltrerat och injicerat granitiskt material, vilket verkat resorberande och lösande på den äldre berggrunden. Holmquists reservation (1907 och 1935) gentemot denna teori bestod däri, att han tänkte sig ådermaterialet såsom endogent, dvs. härstammande ur berggrundens eget material, i vilket de saliska komponenterna under inverkan av djupets värme och den värme, som alstras genom deformationsrörelser, mobiliserats och övergått i flytande tillstånd. Processer av denna art torde få tänkas medverka även vid den tolkning, som Sederholm givet fenomenen, men det väsentliga i hans teori är dock tillskottet av saliska och granitiska magmalösningar. A. Gavelin synes principiellt beträffande Västervikstraktens ådergnejsjer ha intagit en med Holmquist likartad ställning (1910: 1492). Gentemot denna teori må emellertid för granatgnejsens del anföras, att pegmatitiseringen och gnejsbildningen förändrat bergartens allmänna kemiska karaktär. Vid en regional återuppsmältning enbart på grund av djupets värme och det tillskott av värme, som rörelseenergin skulle medföra, blir det dessutom oförklarligt, varför saliska och alkalina bergarter, som förefinns inom gnejsområdena, ex. vissa facies av urgraniterna, icke övergått i flytande tillstånd. De borde i första hand vara ägnade att reagera på detta sätt.

En mera väsentlig modifikation i palingenesteorin utgör det under senare

tid allt allmännare antagandet av lösningar, som från jordinret söka sig uppåt och reagera med överliggande bergarter under kemisk-mineralogisk och habituell förändring av dem. I sin mest konkreta form har denna teori framförts av Wegmann (1935) och brukar efter synonymen för ådergnejs, »migmatit», kallas migmatitiserings teorien. Yttersta grunden för teoriens uppkomst är väl att söka i tvivelsmål beträffande en granitisk subkrustal magmasfär. Beträffande arten och aggregationstillståndet av de aktiva lösningarna råda delade meningar. Wegmann betecknar dem såsom pneumatolytiska, hydrotermala och granitiska, med vilket förstnämnda uttryck måste avses, att även gasformiga substanser deltagit i invasionen. Även rena vattenlösningar synas ha förutsatts av andra och enligt Barth, Jens Bugge och Ramberg skall ämnestransporten ha skett i ion-form och reaktionerna i fast tillstånd. Gentemot det sistnämnda alternativet må dock genmäljas, att pegmatitinvasionen har karaktär av massintrusion under rörelse, uppspaltning och inneslutning av brottstycken, även om samtidigt en intim infiltrering av substanser förgångit i den preexisterande berggrunden.

Samtliga palingenesteorier bygga på, att berggrunden inom ådergnejsernas områden måste tänkas ha varit nedsänkt till stort djup. Även om mått sällan uppgivas, har en sådan siffra som 50 km nämnts i detta sammanhang. Den temperatur, som approximativt kan anses sannolik vid ådergnejsbildningen och pegmatitinvasionen, torde kunna anslås till mellan 400—600°. Om den varit högre än 600° skulle de aplitiska delarna av urgraniterna ha smälts upp. Om den varit lägre än ca 400°, är det å andra sidan svårförklarligt, huru den så rikligt närvarande och intimt infiltrerade pegmatiten kunnat hålla sig flytande och kemiskt-mekaniskt aktiv under den långa tid, som gnejsbildningen måste ha krävt. Räknt med ett geotermiskt mått av 33 m pr 1°, skulle denna temperatur svara mot ca 13—20 km. Geotermiska måttet är emellertid varierande, och det nämnda djupet kan ha varit större. Man måste i varje fall ställa in sig på tiotal km.

Granatgnejsen har under senare tid huvudsakligen diskuterats av Magnusson och mig. Magnusson har härvid ställt sig på samma ståndpunkt som Wegmann (1932, sid. 82, 1936, 1944, sid. 81). Han antager sålunda, att gnejsområdena nedsänkts till stort djup, där pneumatolytiska, hydrotermala och granitiska lösningar mött och inträngt i de under sänkning varande leptiterna, sedimenten och urgraniterna samt i dem bildat en s. k. migmatitiseringsfront. Under passagen genom den äldre berggrunden ha vissa ämnen i lösningarna reagerat med dess mineral och kvarhållits, andra ha lösts ut och bortförts. Det betonas, att reaktionerna pågått i lång tid och att i »varje ögonblick endast små mängder blivit omsatta», varför de granitiska lösningarna icke ändrat sin granitiska karaktär under passagen uppåt. Då materialtillskottet i granatgnejsen är stort, måste därmed också antagas, att ofantliga mängder av lösningar passerat. Framställningen är oklar beträffande den roll de olika slagen av lösningar spelat. Sålunda betecknas de omvandlande lösningarna som granitiska, samtidigt som det betonas, att hydrotermala och pneumatolytiska agentier orsakat de metasomatiska förändringarna och pegmatitiserings-

en. Därtill antages en senare intrusion av yngre pegmatiter och såsom graniter betecknade bergarter. Såsom framhållet i det föregående äro emellertid pegmatiten och dess aplitiska avarter så intimt invävda i gnejsen, även om de förhålla sig intrusivt, att man icke kan införa någon större åldersskillnad. De kemiska förändringarna i den äldre berggrunden och gnejsutbildningen synas därför enklast vara att förstå såsom uppkomna vid pegmatitlösningarnas intima infiltration i och uppslirande av leptiten. Givetvis kan man härvid även tänka sig en uppdelning i det tillförda materialet på så sätt, att lösningar, innehållande de i granatgnejsen fixerade ämnena, successivt avgivits av pegmatiten och sökt sig in i den preexisterande leptiten.

Gentemot migmatitteorien har jag betonat det magmatiska inslaget i slirgnejsen. Detta behöver icke betyda, att slirgnejsen i sin helhet skall uppfattas som en differentiationsprodukt ur urgranitmagman. Ett dylikt åskådningssätt skulle kunna tänkas för den homogeniserade delen av granatgnejsen. Erfarenheterna beträffande de talrika och betydande leptitrelikterna i icke homogeniserade delar av gnejsen och konstaterandet av övergångarna mellan leptit och slirgnejs V om Utö och å Älö-Nåttarö utvisa emellertid, att man för slirgnejsen måste räkna med en blandad beskaffenhet av en äldre berggrund och ett betydande tillskott. Det är främst om ursprunget och beskaffenheten av detta tillskott, som skillnaden emellan mig och migmatitseringsteoriens anhängare rör sig. Härtill anknyta sig dock även förhållanden rörande tidpunkten för invasionen av det tillförda materialet samt en olika uppfattning rörande den primära berggrundens beskaffenhet, vilken av Magnusson förutsättes ha varit av bergslagstyp, medan de här framlagda erfarenheterna och de förefintliga analyserna visa, att man haft att göra med den femiska typ av leptiter, som är representerad i skärgården och i Larsboserien. Att Magnusson och med honom andra geologer antaga närvaron av vittringssediment i leptitkomplexen, medan jag anser motiv förefinnas för antagandet, att vittringsmaterial i förevarande områden spelat en underordnad roll, är av mindre betydelse. Det kan i varje fall icke ha rört sig om dominerande inslag av skiffrar av Grythyttetyp, och endast dylika bergarter kunna kemiskt tänkas motsvara de analyserade granatgnejserna. Om partiellt dekomponerat vittringsmaterial i någon utsträckning skulle ha ingått i den gamla leptitberggrunden, betyder det, att mängden tillfört material får tänkas mindre, men en substansstillförsel måste ändock ha skett. Om vi slutligen betrakta själva arten av de lösningar, som enligt Wegmann skulle ha åvägabragt slirgnejsutbildningen, äro de i själva verket till sin kemisk-fysikaliska art att beteckna som magmatiska och postmagmatiska (hydrotermala-pneumotolytiska), ehuru deras härkomst och genesis lämnats oviss.

Den största svårigheten med palingenesteorierna är nödtvånget av ett stort djup för de partier av jordskorpan, som det är fråga om, samtidigt som omedelbart angränsande delar kunna ha en beskaffenhet, som tyder på en ytlig metamorfos. Jag vill i detta avseende hänvisa till förhållandena utmed sömrlandsgnejsens östra sida, där vi få km utanför, delvis i

omedelbar närhet av slirgnejsen ha den långa zonen av leptiter och Ornöns delvis alldeles massformiga och ometamorfoserade kvartsdiorit och bandserier. Det kan icke råda något tvivel om, att särskilt den norra delen av leptit-zonen å Runmarö och närmast söder därom är, vad man brukar kalla ytligt metamorfoserad med dess täta kornighet och i de röda, mellersta leptiterna täta, porfyriska struktur samt med den utomordentligt vackra bandningen i de undre saliska leptiterna, vilken måste vara ett primärt och väl bevarat drag. Dessa bergarter kunna även visas ha haft en avkylande inverkan på gnejsgraniterna, i det intrusioner i Runmarötraktens leptiter äro finkornigare än utanför leptiten. Likaså uppvisa de delvis grova, basiska, intrusiva grönstenarna täta kontaktzoner mot leptiten. Om nu den typiska slirgnejsen å de närbelägna Vindö, Värmdö och Södertörn skulle ha intagit det djupläge, som palingenesteorierna fordra, måste man tänka sig en mycket brant deformation av jordskorpan, som icke kan ha skett utan en motsvarande dislokation. Det är icke troligt, att en rörelse av så stora mått, som kräves härför, skulle ha kunnat ske utan att den kommit till synes i berggrundsbeskaffenheten, men tecken därtill saknas.

Förhållandena bli ytterligare komplicerade, då det är fråga om begränsade partier av slirgnejs med ringa utbredning. Detta gäller ex. för den slirgnejskil, som från Stockholmstrakten grenar av upp emot Norrtäljetrakten med en avtagande bredd till en zon om få kilometers bredd. Att här tänka sig ett väldigt djupläge för denna kil och därefter en förflyttning till likartad nivå med n. v. sidobergarten är icke möjligt utan att förutsätta förkastningar eller överskjutningar. Saken är icke mindre svårförklarlig beträffande den regionalt mycket begränsade Larsboserien, i vilken begynnande ådergnejsbildning iakttagits av Hjelmqvist, vilken därför antager, att Larsboserien intagit ett djupare läge än omgivande leptit-urgranitteräng. Även här återstår att klarlägga de tektoniska rörelser, som skola ha bragt de på olika djup metamorfoserade berggrundsavsnitten till samma nivå. Det synes rimligare, om båda slagen av berggrund kunde tänkas ha genomgått sin utveckling inom likartat djupläge.

Man kan även tänka sig en förklaring, som icke enbart utgår från tektoniska orsaker. Såsom i det föregående framhållet, visar erfarenheten, att det övervägande varit leptiter med väsentligt glimmerinnehåll, delvis inmängda med vittringsmaterial, som undergått slirgnejsbildning. Detta talar för, att dessa bergarters beskaffenhet varit mer lämpad för invasion av de slirgnejsbildande agenterna än massiva graniter och rena kvartsfältspatleptiter, vilka kunna förmodas ha förhållit sig mera impermeabla. Inslag av pegmatit saknas väl icke även i de senare, dock spela de kvantitativt en mindre roll och ha formen av kompaktare och genomsättande intrusioner. Det kan därför tänkas, att berggrundens beskaffenhet medverkat vid dirigerandet av de gnejsbildande lösningarna och lokaliseringen av slirgnejsområdena, liksom till en lättare skedd och intimare spridning i de glimmerrikare leptiterna och sedimenten. Det är å andra sidan även tänkbart och kanske sannolikt, att de av slirgnejs i stor utsträckning ersatta områdena av femiska leptiter och

skiffrar i stort intaga synklinala områden, medan de malmförande saliska leptiterna med de till dem anknutna större och enhetligare urgranitmassiven i stort bilda antiklinalt byggda partier. Härvid förutsättes likväl icke, att leptiter av denna senare art skulle underlagra de femiska leptiterna inom de n. v. slirgnejsområdena. Detta anser jag obevisat och osannolikt. Om ovanstående förhållanden äro riktiga, föreligger möjlighet för en intensivare veckning och lättare spridning av pegmatitlösningar i de synklinala områdena. Något särskilt stort djup för slirgnejsbildningen blir under ett dylikt antagande icke nödvändigt. De bestämmande faktorerna bli i stället den preexisterande berggrundens beskaffenhet och deformationsrörelserna. Även en sådan företeelse som slirgnejsområdets gräns mot skärgårdszonen blir härvid förstående. Slirgnejsbildningen har i stort sett stannat vid gränsen för fastlandets mera komplicerade och intensivare veckning samt mot de här mötande saliska leptiterna och större gnejsgranitmassiven. I söder, där dylika bergarter saknas, griper slirgnejsbildningen över i kustzonen, och i ringa intensitet finner man spår av den även längre norr ut öster om gnejsgranitbarriären.

Att den preexisterande berggrundens beskaffenhet haft betydelse för lokalisering av de slirgnejsbildande lösningarna, synes mig vara ett faktum, vartill man icke kan undgå att taga hänsyn. Det är givet, att massformigare och mera saliska bergarter kunna ha förekommit även inom slirgnejsomvandlade terrängar, och att även dessa skola ha angripits. Dylika delar ha urgraniterna i sömrandsgnejsen utgjort. Såsom karteringen i Stockholmsområdet och även i Kantorpområdet visat, ha de dock — enligt min mening — i huvudsak motstått slirgnejsbildningen. Även den relativt saliska beskaffenheten i de bibehållna leptitresterna i slirgnejsen kan här anföras.

Beskaffenheten av de lösningar, som tillförts i slirgnejserna, kunna vi någorlunda bedöma med ledning av den tidigare diskussionen. Innehållet i desamma har varit pegmatitens material, vidare kalium, järnoxider, övervägande FeO, magnesium och aluminium, vilka fixerats i gnejsen, men i mindre mängd även finnas i pegmatitet. Även kol i någon form har möjligen ingått. Huruvida kiselsyra till- eller bortförts i gnejsen är svårare att bedöma, det kan i varje fall icke röra sig om större kvantitet. I stort sett rör det sig om en pegmatitlösning med ett visst innehåll av de nämnda, i granatgnejsen fixerade ämnena. Vatten har säkerligen även ingått i pegmatitlösningen, däremot vållar det större svårigheter att tänka sig vattenlösningar, såvida de icke haft en hög koncentration. I motsatt fall tvingas man till antagandet av enorma mängder vatten, som skulle ha passerat berggrunden. Koncentrerade, möjligen fluida vattenlösningar kunna å andra sidan tänkas ha avgivits av pegmatiterna. Att de ämnen det här är fråga om, skulle ha tillförts pneumatolytiskt i gasform är föga sannolikt.

Tiden för slirgnejsbildningen anses av Magnusson vara av senare datum än det definitiva stelandet av urgraniterna och skedd i samband med en veckning och allmän deformation av berggrunden, sedan graniter och leptiter antagit sin kristallina beskaffenhet. För denna åsikt anføres, att metabasit-

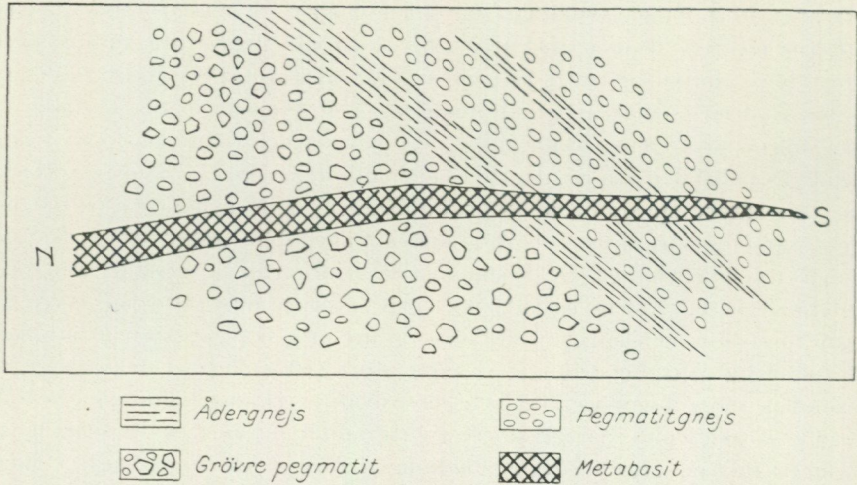


Fig. 12. Metabasitgång, genombärande ådergnejs och pegmatit. Häll vid Ösbysjöns sydände. Djursholm. Enl. teckning i P. J. Holmquists efterlämnade anteckningar. Bildens längd 2 m,

gångar, som genomsätta gnejsen, skola ha indragits i pegmatitseringen. Något motsvarande har jag icke iakttagit. Däremot har jag på Skarp Runmarn väster om Sandhamn iakttagit basiska gångar i bandad gnejsgranit, som övertvåra ptygmastiskt veckade ådror av aplit. Ytterligare vill jag hänvisa till i fig. 12 återgivna teckning av en metabasitgång, som genomsär slirgnejsen. Teckningen är reproducerad från P. J. Holmquists efterlämnade anteckningar. Metabasitgångarnas ålder kan i olika fall vara av olika datum. Även om metabasit på sätt som angives av Magnusson, skulle intruderas av slirgnejspegmatit, är det ej givet, att det rör sig om grönstensintrusioner, som komma från en yngre magmageneration. De kunna även härröra från senare stelnade och djupare liggande delar av urgranitmagma.

Det är tydligt, att det beträffande arten av de gnejsbildande agenterna icke råder någon större principiell skillnad mellan de här framlagda resultaten och den åsikt, som inbegripes i Wegmanns migmatitseringsteorien, i så måtto som de verksamma lösningarna även enligt nämnda auktor äro att beteckna som magmatiska och postmagmatiska. Av Magnusson har emellertid tvivel anförts, att lösningar av denna sammansättning skulle kunna härledas ur en magma genom differentiation. Härvid förbises dock det faktum, att  $Al_2O_3$  ofta är anrikad i pegmatiter (muskovitrikedom, förekomsten av topas) även i fall, där assimilation ur glimmerrika bergarter synes utesluten. Likaså bör anföras sammansättningen av restlösningen i saliska graniter, som kan vara starkt anrikad på femiska substanser. Jag vill i detta avseende hänvisa till ett mitt tidigare arbete om denna sak (1935). Orsaken till  $(MgFe)O$ -anrikningen i dessas restlösningar har jag antagit vara vattnets hydrolyserande inverkan i magman, och substanserna i restlösningen tänker jag mig delvis kunna ha förelegat i hydrat- och aluminatform. Man kan därför icke med fog bestrida, att en anrikning av de ämnen, som tillförts i gnejsen, kan ske i

granitiska restlösningar. Det är å andra sidan även tänkbart, att de pegmatiska lösningarna assimilerat material under sin väg genom bergartslagren. I vad mån detta kan ha spelat roll i förevarande fall, är givetvis svårt att bedöma.

Hur migmatiseringsteoriens anhängare skola tänka sig uppkomsten av lösningarna är tills vidare en obesvarad fråga. Ytterst måste de väl dock härledas antingen som slutfas i en magmakristallisation eller som resultatet av regenerering av en granitisk-pegmatisk magma. I båda fallen kvarstår samma problem med anrikningen av de i gnejsen tillförda substanserna.

På grund av de i det föregående anförda förhållandena har det syntts och synes mig alltjämt rimligast att sammanställa pegmatitlösningarna i slirgnejsen med urgranitmagman och gnejsbildningen med den period av veckning och deformation, som varit förknippad med urgraniternas inträngande i och sönderstyckning av leptit-formationen. Att den i regel påfallande konkordanta injektionen av urgraniterna försiggått under leptitlagrens veckning, och att starkt tryck och rörelse härunder härskat i jordskorpan, torde vara en allmänt erkänd åsikt. Utvecklingen i en stelrande magma, som står under inflytande av ensidigt tryck och rörelse, måste tänkas alstra effekter, som icke i motsvarande grad realiserats under statiska förhållanden. Sålunda bör differentiationen gynnas bl. a. genom utpressning av restlösningarna. En provkarta på rikhaltig differentiation lämna även skärgårdens urgranitterränger. Såsom en följdforeteelse av samma art är även den i gnejsområdets urgraniter tidigare omnämnda, ibland rikliga och i form av konkordanta ränder utskilda pegmatiten att anföra. I vilken utsträckning även mera oregelbundet och intrusivt i gnejsgraniterna uppträdande pegmatit är att räkna hit, är på anförda grunder svårare att bedöma. Genom rörelsen och trycket böra även mineralombildande processer ha gynnats med möjlighet till auto-metamorfos, alstrande av skiffrika strukturer, amfibolitisering och omkristallisation av mineralen. Leptit- och urgranitformationerna torde under denna säkerligen långa period av veckning och intrusion i huvudsak ha erhållit sin nuvarande beskaffenhet. En kristallin berggrund av denna art utgör emellertid en mot omformande processer mycket motståndskraftig enhet, och det är enligt min åsikt icke sannolikt, att den i hela sin massa skulle ha kunnat omformas vid en antagen yngre berggrundsdeformation, i varje fall icke så fullständigt, att icke synbara dubbelstrukturer skulle ha alstrats.

Urgranitmagman förhåller sig vidare till leptitformationen ubikvitärt, d. v. s. man finner intrusioner av urgranit inom alla synliga områden av leptit. Man har därför anledning att antaga befintligheten av urgranit även på större djup. Slirgnejsbildningen behöver därför icke förutsättas ha förmedlats enbart genom pegmatit från de f. n. synliga inlagringarna i gnejsen utan även och sannolikt huvudsakligen genom pegmatit, som utpressats ur och trängt upp under deformationsperioden från djupare liggande, större magmamassor.

Det kan vara av intresse att i anslutning till de här utvecklade synpunkterna granska, i vad mån den preexisterande berggrundens beskaffenhet kan ha

varit av betydelse även för distribueringen av urgranitintrusionerna. Förhållandena tala för att så varit fallet. Inom slirgnejsterrängerna består inslaget av urgranit, så långt kartorna f. n. medgiva ett bedömande, av talrika smärre band och kroppar. I dessa och de omgivande gnejsterrängerna är veckningen som starkast och samtidigt mest plastisk. Inom de av saliska leptiter med låg glimmerhalt upptagna terrängerna i bergslagen och Uppland ha urgraniterna formen av större, distinktare massiv. Veckningen i leptiterna är även här intensiv i detalj, den förete däremot icke gnejsterrängernas karakteristiska sling-tektonik. Det synes plausibelt att sammanställa detta med den olika beskaffenheten i primärberggrunden under antagande av att förefintligheten av rikligare med glimmermineral i de femiska leptiterna och det inslag av förvittringssubstanser, som kan ha funnits i dem, befördrat inträngandet av talrikare och mindre injektioner och spridandet i massan av de senmagmatiska lösningarna. Spridningen av de senare får även antagas ha varit en medverkande faktor för de starkare och mera plastiska deformationsrörelserna i slirgnejsterrängerna.

### Summary.

Investigations performed during the last twenty years of the veined gneiss in Södermanland, the so-called garnet gneiss, have proved that the rock ground formerly schematically united under this name, is of a rather complex nature. Among other things, urgranites (also called gneiss granites) play a considerable part. This has been shown by the writer to be the case in the country of Stockholm and in the coast belt to the south of it. The same was found by N. H. Magnusson (1936) during an investigation of the Kantorp district, in the western part of the gneiss area. The distribution of the urgranites in the gneiss in the country of Stockholm and in the archipelago east of the town is illustrated on the accompanying map, Pl. I, which at the same time shows the general tectonics of the gneiss as well as of the adjoining coast belt with its long zone of leptitic rocks.

The urgranites are predominantly gray plagioclase-biotite-gneiss granites, generally either poor in or devoid of microcline, but in addition hereto eye gneisses and types more salic and richer in red microcline are represented, as well as dioritic and gabbroic types. For the sake of a better survey, these different species have not been separated on the map. As seen in the latter, the urgranites of the gneiss area appear as rather broad or thin bands of different extension, also as short lenses or more voluminous bodies, the form of the latter probably being influenced by the folding and flatter position of the layers. The different bodies are all concordantly intercalated in the gneiss. Together with it they form an intimately folded mass of a zigzag pattern, generally with a rather straight run of the layers between the bending of the folds but with an isoclinic easterly dip in the bends.

In contrast to this, the layers in the archipelago have a general trend northeast—southwest, but they show a similar isoclinic dip towards the southeast. Thus we have represented on the map two tectonic systems side by side, the gneiss district in which the predominant stress had an almost N—S-erly direction, and the layers in the coast belt, which have been forced up by a pressure directed towards the north-west or WNW at nearly right angles to the former. From the fact that the dip of the folding axes in the gneiss is isoclinically directed to the east it might be deduced that the deformation in the coast belt is of a later date than the N—S-erly folding of the gneiss, but this is contradicted by the fact that signs of a later period of transversal deformation are missing in the gneiss district. Therefore the deformation in the two tectonic systems must have been simultaneous and the strong westerly stress in the coast belt exercised a certain influence on the mainland, all layers in the bends here being overturned to the west, and linear structures, when developed, directed into the same direction.

Of course, in a mass of such an intimately interwoven and altered character as is typical of the garnet gneiss the boundaries of the different rock species may often be indistinct. The investigations have also proved beyond doubt that the generation of the veined gneiss was completed after the mise en place of at least the intermediate and basic intrusives. Some incorporations of them along the boundaries have evidently occurred, too, in many cases. There are also instances of remnants of gneiss granites or amphibolites in the gneiss that show the earlier presence of small layers or lenses of intrusive rocks. On the other hand, the bulk of the urgranites will have survived the migmatitisation and the map will give fairly correct information as to the quantity and distribution of them.

Turning to the veined gneiss that forms the chief part of the mainland, we can distinguish between three different kinds of rocks, the schlieric gneiss, pegmatite irregularly distributed and often predominant in large areas, and coarse

leptitic inclusions. As a matter of fact the migmatitic gneiss is to a great extent surprisingly homogeneously developed as a coarse rock with evenly distributed short pegmatitic lenses or schlieren of quartz and feldspar. In this form the gneiss is a unitary rock although the quartz and feldspar are coarser than the femic minerals. In other cases the gneiss is more inhomogeneous, and stripes and patches of pegmatite are to be found in a darker and more finegrained biotite-bearing gneiss. In such cases the rock has the aspect of a foliated parallel-textured gneiss, disrupted and mixed with aplite and pegmatite. In the following the former species is called »the homogeneous» the latter »the inhomogeneous» form of the gneiss.

Leptitic rocks, of rather coarse grain, to be sure, but very well recognizable as leptites, are found in the whole area of the migmatitic gneiss. Remnants of this kind are found in the homogeneous development of the gneiss as well as in the inhomogeneous, though their frequency and size is inconsiderable in the former and more ample in the latter. In the inhomogeneous gneiss, leptites may exist as greater zones, which mainly consist of a grey leptite into which pegmatite schlieren have penetrated at scattered points, forming smaller zones of migmatite. In the homogeneous gneiss the leptite inclusions are of small dimensions and sparse. The presence of leptite inclusions in the garnet gneiss was announced as early as 1874 by L. Palmgren and in 1910 by P. J. Holmquist, and later on verified by Magnusson (1936) and by the writer (1926—1937).

Thus there is reason to believe that the rock which originally formed the rock-ground in the gneiss area was a supercrustal leptite, which was invaded by urgranites and transformed by gneiss-forming agencies. A study of the leptite remnants, based on the facts collected by Magnusson (Kantorp) and me (Stockholm's environs) and on numerous observations by the author in different localities in Södermanland, has revealed the fact that the leptite in the gneiss area will chiefly have been of a kind similar to the main rocks in the persistent zone of leptites in the archipelago, of which the northern part is reproduced on the map, Pl. I. From here the leptites continue to the southwest on the big islands of Ornö, Utö, Ålö and Nottarö. For these supercrustal rocks I have used in this connection the name »femic leptites» in order to distinguish them from the salic and alkaline ore-bearing leptites of middle Sweden and to emphasize their generally essential constituents of biotite or (more seldom) biotite and hornblende, which, combined with an essential amount of anorthite in the plagioclase, constitute characteristic features of this leptite species.

#### *The archipelago leptite belt.*

As shown in an earlier paper by the writer (1939, p. 83), we can distinguish between three stratigraphical niveaus within the northernmost part of the archipelago leptite belt, namely 1) undermost a series of intimately banded and predominantly albite-rich, gray, dense, salic leptites, rich in layers of limestone, 2) above them red or brownish, partly porphyritic, salic but Mi-rich leptites, relatively poor in limestone, and 3) at the top gray, partly bedded leptites, finegrained but somewhat coarser than the former and generally distinguished by considerable amounts of biotite and of An in the plagioclase. These latter rocks form the series here called femic leptites. In the supercrustal belt they are situated along its eastern side and are superimposed upon the middle Mi-rich series in the northernmost part of the belt (cp. the generalized map of Pl. 2) and further to the south — as the middle red series disappears in this direction — over the lower gray salic leptite. South of the map of Pl. 1 the lower gray salic leptite cannot be followed farther than to the southern end of Ornö, and femic leptites constitute the whole great supercrustal belt on Utö, Ålö and Nottarö.

On the whole the gray femic leptite is megascopically a uniform rock though it can show some variation of colour, depending on varying contents of biotite, less often of biotite and hornblende. Light-coloured as well as pink layers, which are exceptions and are poor in biotite or devoid of it, can also be found, but they play a subordinate part. Limestone is sometimes present as small intercalations; on Utö these are more numerous than elsewhere. On the other hand, as shown by the microscopical examination, small quantities of lime carbonate or of tremolite formed from it are rather often contained in the rock. The microscopical study shows further that the quality of feldspar varies more than might be imagined. The most common is a mixture of predominantly plagioclase and moderate or small quantities of microcline. The content of An at the same time varies between 10 and 60 %, though  $An_{20}$ — $An_{30}$  is the most common. A noteworthy fact is that the amount of microcline does not stand in a regular proportion to the amount of albite in the plagioclase but can be considerable also in An-rich species. The same holds good also for the proportion of quartz, which is generally high and can amount to 60 per cent even in specimens with basic plagioclase. On the other hand rare species can be found, containing very little quartz. Among the accessory minerals may be named graphite, which sometimes is present in small quantities. From Utö Holmquist has quoted two analyses of layers rather rich in C (1.4 and 1.5 per cent), but this is exceptional and in most cases no graphite at all is present.

The textural conditions of the femic leptite and its mineralogical composition clearly show it to be a supercrustal sediment. Chemically it differs distinctly from the ore-bearing leptites of middle Sweden because of its more femic composition and higher proportion of anorthite. Besides, whereas iron ores are numerous in the latter, they are rare in the femic leptite. On the other hand, the lower gray salic and the middle red leptites in the northern and western parts of the supercrustal belt are chemically and mineralogically comparable with the ore-bearing series in middle Sweden.

It is a generally accepted theory in Sweden that all leptites are supercrustal rocks, chiefly formed from volcanic tuffs and lavas. This theory is also well substantiated by the structures found in other places where the rocks have been little changed. The same theory may be applicable in the case of the femic leptites. Of course it is not impossible that an admixture of decomposed material in varying amounts occurred in these leptites, and in the corresponding rocks in northern Sweden this rather often seems to be the case. In the leptites of the archipelago decomposed material has evidently played only a small part, as will be seen in the following. Primary structures, such as porphyritic development and agglomerates, are rare and indistinct. The rocks are generally granular and evengrained with a more or less parallel arrangement of the mica. Nevertheless it is probable that the femic leptites are volcanic deposits.

The chemical analogy to the femic leptites among the Archean intrusive rocks are the quantitatively predominating gray plagioclase urgranites and the eye-granites, combined with them. As in the leptites, plagioclase and a considerable amount of biotite or biotite and hornblende are the prevailing minerals, in the case of the eye-granites combined with a rather large amount of microcline. Therefore it seems probable that there is some genetical connection between these two great members of the Archean. If the femic leptites, as seems probable, are volcanic sediments, the urgranites may be considered to have intruded in their own surface products. On the other hand, if the femic leptites are considered as detritus sediments, the weathering must have been in the main, purely mechanical. The surface of erosion from which they originated must then have had about the same composition as the urgranites mentioned, but we do not know anything about a surface of this kind.

*The tectonics of the leptite belt.*

On the whole the large belt of leptitic rocks can be compared with a huge disc occupying an easterly dipping site in the urgranites. The latter form numerous concordant intrusions injected from the sides and also appearing in the interior of the disc (Pl. I and II) and have divided it into isolated pieces in its middle part (south of Nämddö to Utö). Small and large inclusions of leptite are present east of the disc in the urgranites as far as there are skerries visible. The leptite belt is in its northern and middle part surrounded by urgranite on both sides. Further to the south the urgranite on the western side disappears into smaller layers and in this direction the leptite belt has a more continuous connection with the migmatitic gneiss of the mainland.

The layers of the leptite belt are generally strongly folded and crumpled (cp. Sundius 1939 pp. 20—22). On Runmarö, where the stratigraphy named above has been discovered, several syn- and anticlines have been formed. As appears from the above, the salic, limestone-banded leptite is the undermost horizon here. If this were generally the case the salic leptites would constitute the bottom layer of the whole leptite formation visible. But femic leptites are also found on the western side of the salic leptites, as seen on the skerries to the west of Nämddö and in some other localities to the west of Ornö. The tectonical details cannot be stated exactly here on account of the isolated exposures in the sea, but it is quite possible that the salic members of the leptite belt in reality are not bottom layers but represent intercalations of restricted thickness and extension in the femic leptite. If this is right, the latter must be the chief component of the supercrustal formation. As will be seen in the following, the femic leptite has also originally had a very great areal extension.

*Chemical composition of the femic leptite.*

All analyses of femic leptites from the leptite belt are collected in Table 1. From the analyses the figures of normative feldspar, the molecular values of alkalis + CaO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + (\text{Fe Mn Mg})\text{O}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , reduced to 100, have been calculated and plotted in the triangles of figs. 3—4. Furthermore in fig. 5 are shown the relations between the weight amounts of normative feldspar, femic silicates, calculated as metasilicates + excess of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , calculated as  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  and remaining  $\text{SiO}_2$  (quartz). For the sake of comparison the available analyses of gneissgranites from the archipelago have also been calculated in the same way and plotted in the same diagrams.

The feldspar diagram shows that the average feldspar of the femic leptites is of a rather great variation but the predominant mixtures are those with rather small quantities of potassium and considerable amounts of An. Should regard be taken to the biotite, the contents of microcline in the rocks must be still smaller. The diagram also shows the similar chemical relation between the urgranites and the femic leptites. Perhaps the feldspar of the leptites on an average is a little poorer in An than in the urgranites, but possibly a greater number of analyses would alter the picture in this respect.

Fig. 4 is of special interest as regards the degree of weathering in the primary material of the leptites. In it the central line from the top of the triangle represents what is called the line of no  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -excess, whereas points to the left of it correspond to deficit, on the right to excess of the named oxide. The reason for this is that the proportion of alkalis and CaO to  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in all feldspars is 1 : 1. Furthermore the biotite series can be considered to be derived from the standard formula  $\text{H}_4\text{K}_2\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}$ , in which Mg Si can be substituted by AlAl up to the proportion

$Mg_3Al_2Si_5$  (Winchell 1925) according to the amount of aluminium in the rock. The loci of the biotite series as well as of muscovite have been shown in the diagram.

If we consider in the first place the points of the urgranites in fig. 4, it appears that most of them are situated a little to the right of the central line. A moderate surplus of  $Al_2O_3$  contained in the biotite is therefore common in them. The two points to the left of the line refer to amphibole-bearing quartz dioritic species in which CaO in the amphibole causes a deficit of  $Al_2O_3$ . However, two of the points of the urgranites fall rather far to the right of the central line. These refer to strongly foliated rocks from Utö (Holmqvist, 1910, anal. 9 and 12), which are rich in schlieren of muscovite. 11 and 13 are also specimens from the same rock bodies but they show normal proportions of  $Al_2O_3$ . The high surplus of  $Al_2O_3$  in the former must be secondary and due to alterations during the foliation of the rocks (leaching of alkalis, chiefly  $Na_2O$  and CaO from the feldspar). These two specimens are at the same time abnormally rich in quartz, as shown in fig. 5.

When regarding the points of the leptites in fig. 4, we find that these are also arranged in the vicinity of the central line along the zone and just outside its boundary, which is occupied by the urgranites. One can perhaps say that the site of the points on an average speaks for a little higher surplus of  $Al_2O_3$  as compared with the urgranites, but the difference is small. If both kinds of rocks, as seems probable, originated from the same magma supply, the original material of the leptites cannot have been greatly decomposed.

Two of the analysed leptites are also exceptions from the ordinary conditions and occupy positions in the diagram corresponding to high excess of  $Al_2O_3$ . Also in this case the specimens originate from Utö and may have been altered in the same way as in the case of the two urgranites. Like the latter they are exceptionally rich in quartz, too.

Thus the chemical properties of the femic leptites do not suggest any noteworthy traces of weathering or decomposition of the original material once deposited as a sediment.

In this connection the limestone contained in the leptites should be mentioned. Its amount is generally small with the exception of the island of Utö, where intercalations of this kind are more amply developed. Some part of the calcium carbonate primarily mixed in the mass of the leptites may also have reacted during the metamorphism with the other components of the rocks and formed anorthite and tremolite. This perhaps is the explanation of the often high contents of An in species rich in microcline and quartz.

The question of the origin of limestones occurring in the leptites has not as yet been given a universally accepted solution. When investigating rocks belonging to the ore-bearing leptite district of middle Sweden, the writer earlier discussed the different possibilities of supply for lime (Sundius, 1923 pp. 189 and 340). The difficulty connected with this question is that limestones are never combined with decomposed rocks from which lime could originate. Limestone and schists or quartzites seem to exclude one another in the Archean, and limestones are always intercalated in leptites. On account of this I concluded that the deposition of lime may have some connection with thermal activity during the volcanic period, when the leptites were formed. Taking this for granted, the lime may originate from the magmas of the leptites or be the result of a leaching in the layers penetrated by thermal waters or also of both combined. In the case of the femic leptites the plagioclase contains a considerable amount of An and it is reasonable to admit the possibility of some leaching of lime. This may have happened through thermal activity but it is also conceivable that it was caused by meteoric water. In either case the leaching has not been strong or combined with any noteworthy decomposition of the material of the leptites in other respects.

*The remnants of femic leptites in the veined gneiss.*

In Table 2 six analyses of leptitic remnants from the Kantorp district published by Magnusson are quoted. According to them and the information obtained from a number of slides from the country around Stockholm and to judge from the aspect of the rocks in the field, they all belong to the same chemical and mineralogical type as the femic leptites in the archipelago. The same is to be concluded from the diagrams of figs. 6—8, where the analysed remnants are compared with the femic leptites from the archipelago belt. The fact that intermediate mixtures of microcline and plagioclase are missing in the points of the remnants is of less significance, because species of this composition are represented in the microscopically studied specimens. It may also depend on the choice of the material selected for analysis.

Magnusson has compared the leptites from Kantorp, analysed by him, with the ore-bearing leptite formation in middle Sweden, but this is not justifiable on account of the chemical and mineralogical properties of the rocks.

The diagram in fig. 7 is of great interest. It shows that the surplus of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in the analysed specimens from remnants in the migmatitic gneiss, on an average is about identical with that in the femic leptites in the archipelago. Only in two cases (I and II) do the points fall a little outside the zone in the diagram occupied by them. It is quite remarkable that the leptite of the remnants has preserved its composition so intact during the ample immigration of substances that has occurred in the gneiss.

In view of the considerable alteration of the gneiss and the ample addition of substances it has received during the migmatitisation it is natural that there must arise great difficulties in deciding whether there has originally been decomposed sedimentary material represented in the mother rock. In his paper on Kantorp Magnusson is of the opinion that sedimentary rocks of this kind were once represented in the leptites. But the analytical and petrographical facts offered by him are not conclusive. The only thing that can be said about this matter is that the facts available at present do not speak for the earlier presence of any large amounts of chemical decomposition products in the mother rock of the migmatitic gneiss.

From the country NE of the lake N. Barken in middle Sweden S. Hjelmqvist has described a series of rocks, called the Larsbo series, which for the greater part are similar to the femic archipelago leptites. Two analyses quoted by him are reproduced in the diagrams of figs. 6—8 ( $L_1$  and  $L_2$ ). One of them,  $L_1$ , shows an inconsiderably greater surplus of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  than the archipelago leptites, whereas  $L_2$  in this respect is identical with the latter. Both rocks clearly belong to the femic leptite type. The Larsbo leptites are underlain by mica schists and mica quartzites (point  $L_3$  in fig. 7), which may be derivatives from a weathering sediment.

Rocks belonging to the type of femic leptites are to be found in great quantities in the Archean of Sweden. In the whole migmatite gneiss district in Södermanland, southern Västmanland and eastern Upland they once formed the predominant original rock. A more isolated occurrence is that of the Larsbo district named above. Leptitic rocks belonging to this kind, though probably largely somewhat more amply mixed with decomposed material, seem to have constituted the primary rock ground of the extended occurrences of migmatitic gneiss in the provinces of northern Sweden. Where leptites here are better preserved (f. i. in Ångermanland) they appear as a series varying between leptite and slate. The so-called plagioclase gneisses and schists in Finland, also referred to as the Bottnian formation, probably belong to this type too. On the whole, rocks of this type seem to have formed the bulk of the old Archean supercrustal formation.

*The veined gneiss.*

A survey of the constitution and the chemical relations of the migmatitic gneiss is complicated by its varying development and the different quantities of pegmatite present. The most favourable conditions are exhibited by the more homogeneous form of the gneiss and the following survey is carried out on specimens of this kind. But it can be presupposed that the more inhomogeneously developed rock mixtures exhibit similar properties, though probably less advanced. In the areas where pegmatite predominates, the rock has the composition of a pegmatite, but in this case, too, cordierite and garnet can be found, as well as graphite, though in small quantities.

From the whole gneiss district 10 analyses have been made, which are reproduced in Table 3. The calculated values of them have been plotted in figs. 9—11 in the same diagrams as before and for the sake of comparison the plots of the femic leptites from the archipelago and from the remnants in the gneiss have also been shown. In addition the points of the minerals cordierite, garnet and sillimanite, which are characteristic of the gneiss, have been marked in the diagram of fig. 11. From the latter we can get information about the quality of the prevailing kinds of  $Al_2O_3$ -rich minerals present in the individual specimens.

The mineral constituents of the so-called garnet gneiss are: quartz, plagioclase of a rather uniform composition ( $An_{25}$ — $An_{30}$ ), perthitic microcline, biotite, furthermore the characteristic  $Al_2O_3$ -rich compounds of cordierite, red-purple garnet, sillimanite, and graphite. Muscovite is often missing but may sometimes be present in more ample quantities and can also, together with biotite, constitute the only  $Al_2O_3$ -rich mineral. Of the characteristic  $Al_2O_3$ -rich minerals named above, cordierite and sillimanite seem to be most common, but garnet, is often present. Graphite is rather general and together with iron sulfide it is sometimes enriched in zones.

An inspection of the diagrams shows that the distribution of the gneiss points in all diagrams is rather different from that of the femic leptites. The same thing is shown by the arrows (III—IV, VII—VIII, X—XI), which refer to three individual cases in which Magnusson in the Kantorp district has described the development of gneiss from leptite occurrences. As to the feldspar diagram (fig. 9), the relations in the gneiss differ somewhat, but in contrast to the leptites the chief number of gneiss plots represent mixtures rich in potassium. Furthermore, from the diagram in fig. 10 it appears that the total amount of feldspar as also of quartz is smaller in the gneiss than in the leptites. At the same time the quantity of the femic constituents and the surplus of  $Al_2O_3$  is correspondingly higher. It should also be pointed out that the amount of feldspar is more constant in the migmatitic gneiss than in the leptites. Finally, when studying the diagram in fig. 11, it is evident that the amount of  $Al_2O_3$  is considerably greater in the gneiss than in the leptites. This diagram completes the preceding one by showing the different portions of augmentation belonging to the femic constituents and to  $Al_2O_3$ .

When admitting a leptite of the chemical type shown by the remnants in the veined gneiss to be the mother rock of the latter, it is apparent that we must presuppose rather great changes to have taken place in the mineralogical and chemical constitution of the leptite during the metamorphism. If we apply the mineralogical differences shown by both kinds of rock on the oxides, it means that  $(MgFe)O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  and  $K_2O$  have increased in the gneiss, whereas  $SiO_2$ ,  $CaO$  and  $Na_2O$  have decreased. The gain in the gneiss is evidently absolute but it is more difficult to decide whether any portions of the three last-named constituents have been carried away from the rock.

In his treatise on the Kantorp district Magnusson discussed the changes that happened during the gneiss metamorphosis on a basis of the more restricted ma-

terial from this region and arrived at almost similar results. But when he presupposes a loss of substances corresponding to those gained, for instance a considerable loss of  $\text{SiO}_2$ , this is probably not correct.

The analysed specimens of garnet gneiss show a composition that chemically in many ways is similar to a slate or schist. For the sake of comparison two points of such rocks from the little metamorphosed Archean Grythytte district in middle Sweden are reproduced in the diagrams (points  $G_1$  and  $G_2$ ). Indeed, this fact has led earlier authors (Högbom, Bäckström, Hedström, G. F. F. 32, 1490, 1910) to suppose slate rocks to have been the mother rock of the garnet gneiss in Södermanland. The whole process of gneiss metamorphism according to them could be looked upon as an ultrametamorphism without any or with little addition of material from outside. Decomposed sedimentary material may have played a greater part in the migmatitic rocks in northern Sweden and it cannot be considered impossible that material of stronger decomposition than that in the hitherto analysed femic leptites has been intermixed in the Södermanland garnet gneiss. But the facts hitherto collected and compiled here do not denote any essential participation of decomposition products in the mother rock, *i. e.* in the femic leptite.

The changes occurring in the leptite during the gneiss metamorphism may appear to be great. But when one remembers that the rock ground has been invaded simultaneously by huge masses of pegmatite they appear more reasonable. This pegmatite cannot be derived from the femic leptite but must have originated from outside for it is not possible to obtain the pegmatite by the melting out of Ab and An in the leptite, because the pegmatite itself is rich in potassium. Nor do we obtain the excess of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in the gneiss in this way. Some excess of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is also present in the pegmatite itself.

The origin of the migmatitic gneiss must therefore be supposed to have been connected with an ample invasion of pegmatite, and in addition, substances of the kind named above have been introduced in the original femic leptite.

#### *On the genesis of the migmatitic gneiss.*

Since Sederholm about forty years ago presented his theory of palingenesis the discussion of the migmatitic gneisses has been continued chiefly on the basis of the principles developed by him, though modifications in his views have been proposed. The chief principles set forth by Sederholm were the supposition of a great depth at the time of the metamorphism and a contribution of granitic solutions from the depth to the gneiss. According to Holmquist (1907 and 1935) the veined gneisses have not received any addition of material from outside, but the pegmatite present in them probably originated through beginning melting of the quartz-feldspar mixture in the mother rock. A. Gavelin seems to have accepted a similar view for the veined gneisses in the coast region of north-eastern Småland. But this theory is not applicable to the garnet gneiss, as the migmatitisation has carried with it a chemical change of the earlier rock. According to later authors the active agents do not originate from an underlying magma as supposed by Sederholm, but come from unknown depths and sources in the interior of the earth. According to Wegmann (1935) they may have consisted of pneumatolytic, hydrothermal and granitic solutions that formed a front of migmatitisation in the sinking rock layers. Later authors also conceive the possibility of separate moving atoms as causing the contributions to the altered rocks and reactions in the solid state. Against this hypothesis it may be remarked that the addition of material in the gneiss clearly has the character of mass intrusions accompanied by movements, splitting up and inclusion of pieces of the earlier rock, though an intimate immigration of substances in the latter happened contemporaneously.

However, the various palingenetic theories all postulate a great depth at the

moment of the gneiss generation. Though figures are seldom given, a value of about 50 km has been named in this connection. The temperature during the gneiss metamorphism may be estimated at about 400—600° C. Higher than 600° C it is not likely to have been, because the aplitic species of the urgranites would then have been regenerated and this has not occurred. Calculating only with the geothermal gradient and accepting for it an increase of 3° in 100 m, this would correspond to a depth of 13—20 km. In any case we have to calculate not with a few, but with tens of kilometers.

The garnet gneiss in middle Sweden has been chiefly discussed in recent times by Magnusson and myself. The former has accepted the view of Wegmann. According to him the region at present occupied by the veined gneiss has been immersed to a great depth and invaded from beneath by pneumatolytic, hydrothermal and granitic solutions. Magnusson's version is somewhat diffuse, but he seems to be of the opinion that the metasomatic changes supposed by him, were accomplished before the intrusion of the pegmatite, at least before that of the greater masses of it.

In opposition to this theory, I have accentuated the magmatic character of the agents producing the garnet gneiss. It should be noted that in reality the physical properties of the solutions as they are characterized by Wegmann distinguish them as magmatic. In my opinion they have been connected with the urgranitic magma. According to the migmatitisation theory their origin is unknown.

The greatest difficulty tectonically connected with the palingenetic theories is the necessity of postulating a great depth at the time of the gneiss alteration while neighbouring parts of the rock ground may be of a quality suggesting superficial metamorphism and a site in the crust that was never immersed to great depth. This is, for instance, the case along the eastern margin of the garnet gneiss, where we find the almost unaltered quartzdiorite and the beautifully banded rock series on Ornö, as well as the dense leptites on Runmarö with their well preserved bedded textures and the dense porphyritic textures in the red middle leptite series. In this district it can be shown that the leptites have exercised a cooling influence on the urgranites, which are of denser grain when within the leptites than outside them, and that the intrusions of basic rocks occurring in the leptites have dense margins at their contacts. These rocks are situated from only a few hundred meters to four or five kilometers from the typical veined garnet gneiss. It is not possible to explain how neighbouring parts of the crust can have occupied so very different depths as those postulated by the palingenetic theories unless we assume crustal movements of great size to have occurred, but signs of such movements are lacking.

Still more complicated is the question in the case of areas of veined gneiss of small dimensions, as for instance the belt extending through Eastern Upland from the vicinity of Stockholm to the neighbourhood of Norrtälje, the width of which is partly confined to a few kilometers. The same is the case in the Larsbo series, named above, where S. Hjelmqvist has described commencing generation of veined gneiss and therefore presupposes a deeper site for the Larsbo rocks than for the surrounding ore-bearing leptites and urgranites. Then, too, one has to account for the tectonic movements that have brought the rock series supposedly metamorphosed at so different depths into a similar level. Surely it would be more reasonable to assume the mobile element to have been the gneiss-forming solutions, and not the different parts of the crust, and the adjacent, differently metamorphosed parts of the crust to have survived their different geological development at about similar levels of depth.

Another explanation, based not only on tectonical aspects, also seems to be possible. As shown previously it has been proved by experience that the original rock ground in the areas of veined gneiss was predominantly composed of

sediments with considerable amounts of mica, partly intermingled with decomposition products. This speaks for the fact that sediments of this composition have been more liable to invasion and spreading of the gneiss-forming solutions than massive granites and pure quartz-feldspar-leptites, which have been more impermeable. It is true that pegmatites are not lacking in the latter, but on the whole their quantity is restricted and their mode of occurrence takes the form of more homogeneous, cutting intrusions. The original quality of the rocks seems therefore to have played an essential part in the distribution of the gneiss-forming solutions and the localisation of the areas of veined gneiss, and the mobility of the solutions in the mica-bearing rocks may have been greater than in the others. On the other hand it is quite possible that the areas of veined gneiss on the whole may form synclinal parts of the rock ground, whereas the ore-bearing salic leptites and the larger and more massive urgranites accompanying them may represent anticlinally deformed parts. If all this is right, then there is a possibility for more intense folding and easier and more intimate spreading of invading solutions in the synclinal parts than in the anticlinal. Hence no special depth is necessary for the generation of the veined gneiss. Instead of that the decisive facts are the composition of the original rocks and the movements of deformation. Also conditions of the kind found at the eastern boundary of the veined gneiss, between it and the archipelago belt, are understandable from this point of view. The generation of veined gneiss has, on the whole, stopped along the boundary of the more intense and complicated folding in the mainland, encountering here the salic leptites and the great urgranite masses. But farther to the south, where rocks of this kind are missing, the formation of veined gneiss has continued in the coast zone, and on a small scale we find traces of this process also to the east of the barrier of gneiss granite.

It is true that more massive and salic rocks have existed also in the areas covered by veined gneiss and have been more or less attacked. Instances of this kind are the gneiss granites intercalated in the gneiss area. Also the relatively salic composition of the leptite remnants in the veined gneiss can be remembered in this connection, when compared with the leptites in the archipelago.

The above discussion gives a fair idea of the solutions that occasioned the chemical and mineralogical changes in the primary leptites. There have been pegmatitic solutions and in addition oxides of  $(\text{FeMg})\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{K}_2\text{O}$  in some form. It is an open question whether the oxides have been contained in the pegmatitic solutions or antedate them. On account of the intimate mixture in the gneiss, I believe that the whole assemblage of substances was contained in the pegmatite solutions, which also may have been rich in water. On the other hand, it is not probable that oxides of the kind added to the gneiss have been in a gaseous (pneumatolytic) state. The supposition of diluted water solutions is not very probable either. It would postulate immense quantities of water that penetrated the rocks. But it is conceivable that water solutions with a high concentration, possibly in the fluid state, have been given off from the cooling pegmatite.

A pegmatite solution of this kind is allied to the type of magmatic differentiation products earlier called by me »late magmatic» (Sundius 1935). As the cause of their contents of femic oxides I presupposed hydrolytic influence on the silicates during the magmatic stage by the water contained in the magma. On account of the relations in the ultimate stages of crystallisation in certain investigated granites, I concluded that the femic oxides and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in the remaining solution possibly existed partly in the form of hydrates and aluminates. This was possibly the case, too, in the pegmatitic solutions of the garnet gneiss. It should account for the relative decrease in quartz in the gneiss that happened during the alteration. Finally it is conceivable that the pegmatites originated from a more deep-seated urgranite magma and that they dissolved material from the layers traversed by them.

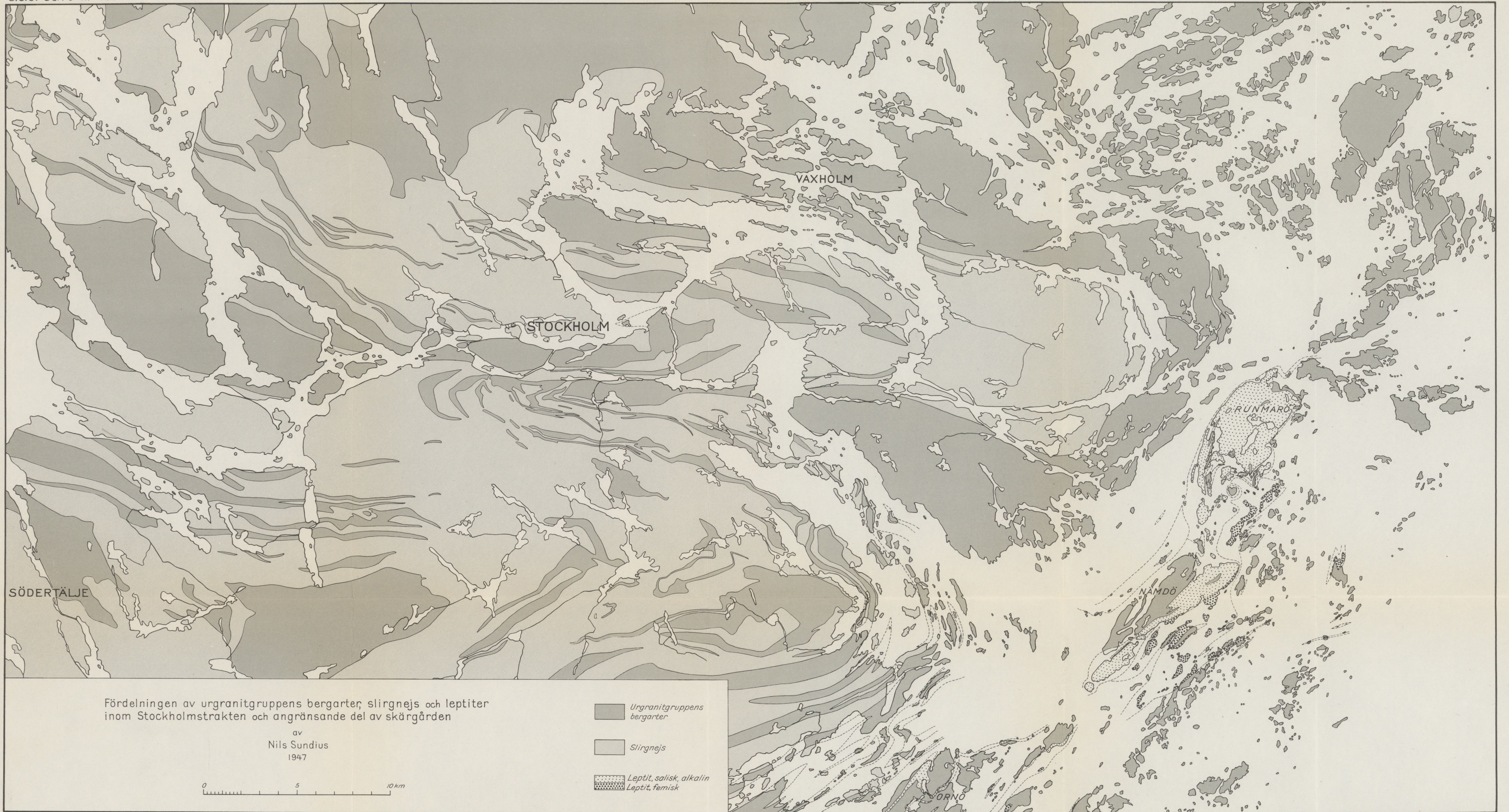
Returning to the geological relations of the garnet gneiss, the generation of the gneiss has been accepted by Magnusson to be of a rather late date, later than the intrusion of the urgranites, and accomplished during a foliation period, after the granites had solidified and the leptites had attained a crystalline quality. As evidence of this is quoted the observation of metabasitic dikes that cut urgranites but themselves are altered by pegmatitisation. But the age and origin of metabasite is a rather uncertain matter, and in the same gneiss one also meets metabasite that clearly cuts the veined gneiss and its pegmatite (fig. 12). Metabasitic intrusions can originate from deeper parts of the urgranites as well as from later magma generations.

As mentioned above, the pegmatite solutions that caused the gneiss metamorphism are supposed by me to originate from the urgranitic magma. The very intimate and concordant injection of the urgranites must, in my opinion, be contemporaneous with the folding of the leptites. The solidification of a magma intruding and solidifying under stress and movement must develop in a rather different way than if stable relations were ruling. Among other things differentiations must be favoured and remaining solutions squeezed out. Furthermore, the building and rebuilding of minerals may be facilitated and opportunities be given for the development of schistose structures, autometamorphic amphibolithisation and recrystallisation. The geological relations speak for the fact that the whole leptite formation and the urgranites obtained their present crystalline quality during this long period of folding, foliation and intrusion. Later influences in this respect from the side of the younger Archean granites are of relatively small importance. The urgranite magma is also in a certain meaning ubiquitous in relation to the leptite formation, *i. e.* we find intrusions of this magma everywhere where leptites are visible. This fact suggests that magma of the same kind may also have been present at a greater depth. The leptites themselves may once have originated from this magma. The late magmatic solutions that caused the generation of the gneiss may have originated chiefly from this source.

If we accept this theory we have reason to examine whether the quality of the pre-existing rockground played a rôle also in the localisation and distribution of the urgranite intrusions. It seems to be apparent that this has been the case. Within the areas of veined gneisses the contribution of urgranites consists — as far as the present investigation allows of a conclusion — of numerous small sills and bodies. In them and in the surrounding gneiss the foliation and deformation is strongest and at the same time most plastic. Within the districts in Bergslagen in middle Sweden that are occupied by the salic and mica-poor, ore-bearing leptites, the urgranites exhibit the form of larger and more distinct massives. The folding of the leptites is often strong here too, but is not of the intensity and plastic character («Schlingen» pattern) as in the veined gneisses. It seems reasonable to connect this fact with the different quality of the ancient leptite formation in the different districts, the more ample contents of mica and partly also of decomposed material in the femic leptites that made the sediments more liable for the intimate intrusion of magmas and solutions, as compared with the more massive and compact quartzfeldspar rocks of the salic leptites. The intimate spreading of the pegmatite solutions certainly also contributed to the stronger and plastic movements in the veined gneisses.

## Anförda arbeten.

- B. Asklund, G. F. F., 43: 608, 1921. Några urbergstektoniska problem från Östergötland.
- Jens Bugge, Norsk geol. tidsskr., 20: 1, 1940. Geolog. and petrogr. Investigations in the Arendal District.
- Norska Vid.sk.Ak., Oslo. 1. Mat.-Naturv. Kl., 1945 Nr 13.
- S. Hjelmqvist, S. G. U. Ser. C, N:o 413, 1938. Über Sedimentgesteine in der Leptitformation Mittelschwedens. Die sogenannte Larsboserie.
- P. J. Holmqvist, G. F. F., 29: 313, 1907. Ådergnejsbildning och magmatisk assimilation.
- G. F. F., 32: 789, 1910. Archean geology of the coast-regions of Stockholm.
- G. F. F., 32: 1486, 1910. Om den sörländska granatgnejsens petrografi och geologi.
- P. H. Lundegårdh, KVA, Arkiv kemi, min., geol., Bd 23 A, N:o 9, 1946. Rock composition and development in central Roslagen, Sweden.
- N. H. Magnusson, G. F. F., 54: 82, 1932. Om metamorfofen i det mellansvenska urberget.
- S. G. U., Ser. C, N:o 401, 1936. Berggrunden inom Kantorps malmtrakt.
- G. F. F., 68: 185, 1946. Den svenska urbergforskningen under de senaste tjugofem åren.
- L. Palmgren, S. G. U., Ser. Aa, N:o 50.
- H. Ramberg, G. F. F., 68: 56, 1946. Litt om diffusjon i de faste bergarter och deres betydning for metamorfose- og metasomatose-fenomenene.
- J. J. Sederholm, Bull. Finl. N:o 23, 1907. Om granit och gnejs, deras uppkomst, uppträdande och utbredning inom urberget i Fennoskandia.
- N. Sundius, Ymer, 1930: 197. Om Stockholmstraktens berggrund.
- G. F. F., 57: 93, 1935. Magnesiummetasomatosen och granatgnejsen.
- S. G. U., Ser. C, N:o 392, 1935. On the origin of late magmatic solutions containing magnesia, iron, and silica.
- S. G. U., Ser. C, N:o 419, 1939. Berggrunden inom sydöstra delen av Stockholms skärgård.
- S. G. U., Ser. C, N:o 312. Grythyttfältets geologi.
- C. E. Wegmann, Geol. Rundschau, Bd. 26, 1935. Zur Deutung der Migmatite.
- A. N. Winchell, Am. Journ. Sc., 5 Ser. IX, 1925, p. 429.

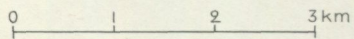


Fördelningen av urgranitgruppens bergarter, slirgnejs och leptiter inom Stockholmstrakten och angränsande del av skärgården

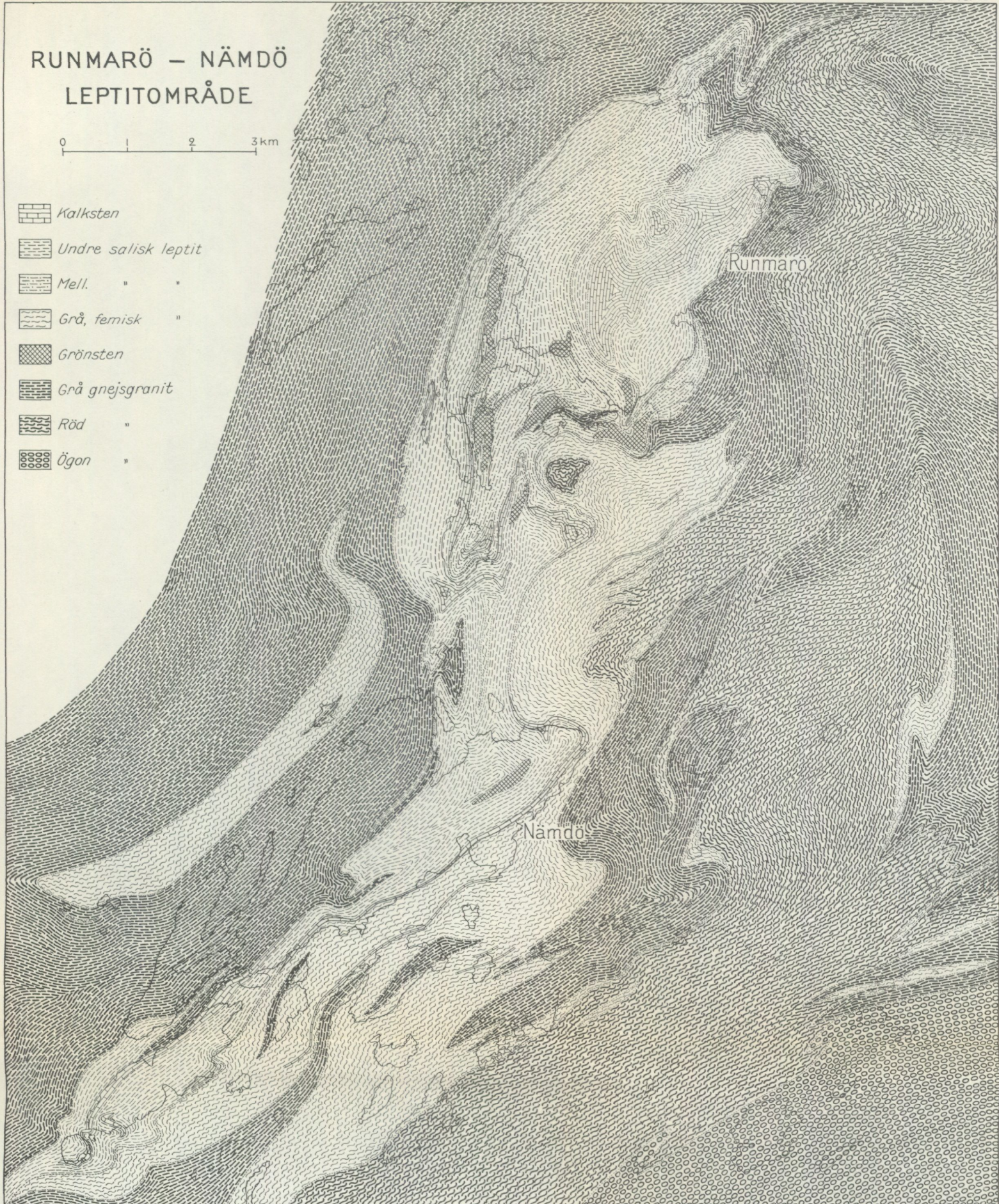
av  
Nils Sundius  
1947

0 5 10 km

# RUNMARÖ – NÄMDÖ LEPTITOMRÅDE



-  Kalksten
-  Undre salisk leptit
-  Mell. " "
-  Grå, femisk " "
-  Grönsten
-  Grå gnejsgranit
-  Röd " "
-  Ögon " "



**SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGS SENAST  
UTKOMNA PUBLIKATIONER ÄRO:**

Ser. Aa. Geologiska kartblad i skalan 1 : 50 000 med beskrivningar.

	Pris kr
N:o 175 <i>Nya Kopparberget</i> av N. H. MAGNUSSON och G. LUNDQVIST 1932 . . . . .	4,00
» 176 <i>Storvik</i> av B. ASKLUND och R. SANDEGREN 1934 . . . . .	4,00
» 177 <i>Grängesberg</i> av N. H. MAGNUSSON och G. LUNDQVIST 1933 . . . . .	4,00
» 178 <i>Gävle</i> av R. SANDEGREN, B. ASKLUND och A. H. WESTERGÅRD 1939	4,00
» 179 <i>Forshaga</i> av R. SANDEGREN och N. H. MAGNUSSON 1937 . . . . .	4,00
» 180 <i>Färö</i> av H. MUNTHE, J. E. HEDE och G. LUNDQVIST 1936 . . . . .	4,00
» 181 <i>Smedjebacken</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1937 . . . . .	4,00
» 182 <i>Lidköping</i> av S. JOHANSSON, N. SUNDIUS och A. H. WESTERGÅRD 1943	4,00
» 183 <i>Visby och Lummelunda</i> av G. LUNDQVIST, J. E. HEDE och N. SUNDIUS 1940 . . . . .	4,00
» 184 <i>Hedemora</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1941 . . . . .	4,00
» 185 <i>Horndal</i> av R. SANDEGREN och B. ASKLUND 1943 . . . . .	4,00
» 186 <i>Möklinta</i> av R. SANDEGREN och B. ASKLUND 1946 . . . . .	4,00
» 188 <i>Avesta</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1946 . . . . .	4,00

*Årsbok 38 (1944)*

N:o 459 WESTERGÅRD, A. H., Borrningar genom Skånes alunskiffer 1941—42. Med 6 planscher. Kemiska analyser av G. Assarsson. Spektralanalyser av S. Landergren. Summary and description of fossils. 1944 . . . . .	3,00
» 460 SUNDIUS, NILS, On the substitution relations in the amphibole group. 1944	0,50
» 461 JOHANSSON, S., Om jord och vatten på Lanna försöksgård. 1944 . . . . .	1,00
» 462 ASSARSSON G., Torrsubstansstillgång och vattenhalt i torvmarker i södra Sverige. 1944. . . . .	1,00
» 463 WESTERGÅRD, A. H., Borrningar genom alunskifferlagret på Öland och i Östergötland 1943. Med 2 planscher. Kemiska analyser av G. Assarsson. Spektralanalyser av S. Landergren. Summary: Borings through the alum shales of Öland and Östergötland made in 1943. 1944 . . . . .	2,00
» 464 GRIP, E. and ÖDMAN, O. H., On Thucholite and natural gas from Boliden. 1944	1,00
» 465 BROTZEN, F., De geologiska resultaten från borrningarna vid Höllviken. Prel. rapport. Del 1. Kritan. Med 4 planscher. Summary and descrip- tion of Foraminifera. 1945 . . . . .	2,00
» 466 LARSSON, W., Zur Kenntnis der spätglazialen Eisbewegungen westlich des Wenersees, Schweden. 1945 . . . . .	1,00
» 467 DU RIETZ., T., The alteration of the rocks in the copper deposit at Laver in N. Sweden. 1945 . . . . .	2,00

*Årsbok 39 (1945)*

N:o 468 GABRIELSON, OLOF, Studier över elementfördelningen i zinkbländen från svenska fyndorter. Summary: Studies on the distribution of element in Swedish Sphalerites 1945 . . . . .	2,00
» 469 GAVELIN, SVEN, Arsenic-cobalt-nickel-silver veins in the Lindsköld copper mine, N. Sweden. 1945 . . . . .	0,50
» 470 ÖDMAN, O. H., A Nickel-cobalt-silver-mineralisation in the Laver cop- per mine, N. Sweden. 1945 . . . . .	0,50
» 471 LUNDQVIST, G., Dubbla moränen i Boliden. 1946. . . . .	0,50
» 472 WERNER, S., Determinations of the magnetic susceptibility of ores and rocks from Swedish iron ore deposits. 1945 . . . . .	3,00
» 473 KULLING, O., Om fynd av mammut vid Pilgrimstad i Jämtland. Med en inledning av Per Geijer. Summary: On the find of mammoth at Pilgrimstad in Jämtland. 1945 . . . . .	2,00
» 474 GRIP, E., Arvidsjaurfältet och dess förhållande till omgivande berggrund. Med en karta. Summary: The Arvidsjaur district and its relation to surrounding rocks. 1946 . . . . .	2,00
» 475 SUNDIUS, N., The composition of Eckermannite and its position in the amphibole group. 1946 . . . . .	0,50
» 476 CALDENIUS, C., Skredet vid Sävån den 18 januari 1945. Med en plansch. Summary: A landslide on the river Sävå 18th Jan. 1945. 1946 . . . . .	0,50

Årsbok 40 (1946)

N:o 477	WESTERGÅRD, A. H., Agnostidea of the Middle Cambrian of Sweden. With 16 plates. 1946. . . . .	5,00
» 478	LUNDQVIST, G., Blekingemoräuens blockhalt. 1946. . . . .	1,00
» 479	ASKLUND, B., Svenska stenindustriområden 1—2. Gatsten och kantsten 1. Allmän översikt. 2 Specialundersökning av det för 1937 års granitutredning insamlade materialet. Med 9 tavlor och 8 planscher. 1947 . . . . .	5,00
» 480	SUNDIUS, N., The classification of the hornblendes and the solid solution relations in the amphibole group. 1946 . . . . .	2,00
» 481	MUNTHER, H., Nya bidrag till kännedomen om Härnöggyttjan. 1946 . . . . .	1,00

Årsbok 41 (1947)

N:o 482	ALIN, J. †, och SANDEGREN, R., Dösebackaplatån. Geologisk beskrivning av fyndorten för mammut och myskoxe vid Dösebacka, Romelanda socken, Bohuslän. Med en karta av H. Ryfors 1947 . . . . .	1,00
» 483	WESTERGÅRD, A. H., Nya data rörande alunskifferlagret på Öland. Kemiska analyser av G. Assarsson. English Summary. 1947 . . . . .	0,50
» 484	LUNDEGÅRDH, P. H., Den ultrabasisiska gabbron i Roslagen. Summary: The ultrabasic gabbro of Roslagen, Central Sweden. Med en plansch. 1947 . . . . .	1,00
» 485	HÄGG, R., Die Mollusken und Brachiopoden der schwedischen Kreide. Das Kristianstadsgebiet. 1947 . . . . .	3,00
» 486	ARRHENIUS, G., Den glaciala lerans varvighet. En studie över Uppsala-traktens varviga mærgel. Summary: The varvity of the Glacial clay. A study of the varved marl in the Uppsala region. 1947. . . . .	2,00
» 488	SUNDIUS, N., Femisk leptit och slirgnejs. Slirgnejsproblemet i belysning av förhållandena inom Stockholms skärgård och det sörmländska granatgnejsområdet. Summary: Femic leptite and veined gneiss. The problem of the veined gneiss as illustrated by the geological relations in the Archipelago of Stockholm and in the garnet gneiss of Södermanland. Med 2 tavlor. 1947. . . . .	1,00
» 489	WESTERGÅRD, A. H., Supplementary notes on the Upper Cambrian Trilobites of Sweden. With 3 plates. 1947 . . . . .	2,00

Ser. Ba.

N:o 14	Jordartskarta över södra och mellersta Sverige. Efter de geologiska kartbladen sammandragen vid S. G. U. av K. E. Sahlström 1944. 1:400 000. Mellersta bladet tryckt 1947 . . . . .	10,00
--------	---	-------

Ser. Ca.

N:o 33	MOLIN, K., A general earth magnetic investigation of Sweden carried out during the period 1928—1934 by the Geological survey of Sweden. Part 3. Horizontal intensity. With 4 plates. 1941 . . . . .	10,00
» 34	MOLIN, K., A general earth magnetic investigation of Sweden carried out during the period 1928—1934 by the Geological survey of Sweden. Part 4. Vertical intensity. With 5 plates. 1942 . . . . .	10,00
» 35	GELJER, PER och MAGNUSSON, N. H., De mellansvenska järnmalmernas geologi. Med 56 tavlor. 1944. . . . .	25,00

Rapporter och meddelanden i stencil

1.	Utredning rörande det svenska jordbrukets kalkförsörjning 1—2 1931 (Kartorna utgångna) . . . . .	15,00
2.	Sveriges lodade sjöar. Sammanställning av K. E. Sahlström 1945 . . . . .	3,00

Distribueras genom *Generalstabens Litografiska Anstalt. Stockholm 1*