

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Mineralogi och petrologi

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA



**Högtrycksmetabasiter i den södra delen av Mylonitzonen:
fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling**

Anna Grönholm

per

Lunds univ. Geobiblioteket



15000

600955202

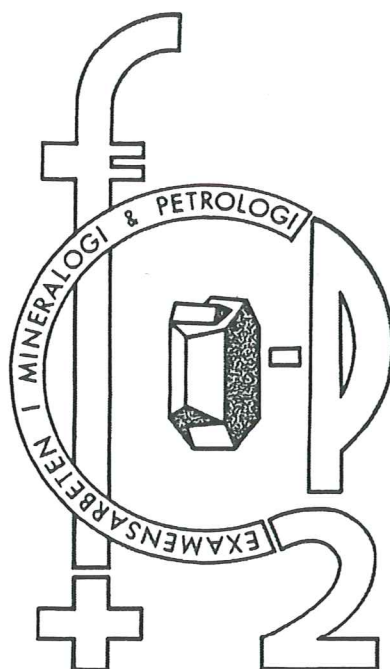
Examinationsarbete, 20 p
Institutionen, Lunds Universitet

Nr 131

	SK2B Gt kant	Gt central	SK2B Cpx	Cpx	SK2B Plg kant	Plg central	SK1A Amf Hastingsit	SK3C Plg kant	Plg sympl.	SK3C Bt sympl.	Bt flak
SiO ₂	38,85	39,82	50,07	51,47	58,86	64,86	39,06	61,82	55,97	34,35	34,39
TiO ₂	0,13	0,16	0,17	0,19	0,06	0,01	1,20	0,05	0,04	3,83	4,70
Al ₂ O ₃	21,82	22,18	2,57	2,00	22,65	22,73	14,32	22,52	27,48	17,58	16,46
Fe ₂ O ₃			3,53	3,07			5,78				
FeO	26,75	26,76	9,09	8,70	0,21	0,18	15,22	0,10	0,34	20,18	20,65
MnO	0,28	3,55	0,13	0,09			0,38			0,17	-
MgO	4,49	1,97	10,15	11,25			8,00			10,94	10,72
CaO	10,79	13,22	23,44	23,90	4,90	3,77	12,31	3,74	9,16	0,07	-
Na ₂ O			0,57	0,49	7,38	7,90	1,56	8,29	5,84	0,13	0,25
K ₂ O					0,39	0,50	1,56	0,59	0,14	10,02	9,89
Totalt	103,12	107,67	99,35	100,84	94,44	99,93	98,81	97,10	99,16	97,26	96,91
Si ⁴⁺	2,96	2,96	1,91	1,93	2,76	2,67	5,89	2,81	2,54	2,60	2,62
Ti ⁴⁺	0,01	0,01	-	-	0,02	-	0,14	-	-	0,22	0,27
Al ³⁺	1,96	1,94	0,12	0,09	1,25	1,18	2,55	1,21	1,47	1,57	1,48
Fe ³⁺			0,10	0,09			0,66				
Fe ²⁺	1,71	1,66	0,29	0,27	0,08	0,01	1,92	-	0,01	1,28	1,31
Mn ²⁺	0,02	0,22	-	-			0,05			0,01	-
Mg ²⁺	0,51	0,22	0,58	0,63			1,80			1,23	1,22
Ca ²⁺	0,88	1,05	0,96	0,96	0,25	0,18	1,99	0,18	0,45	0,01	-
Na ⁺			0,04	0,03	0,67	0,78	0,46	0,73	0,51	0,02	0,04
K ⁺					0,02	0,03	0,30	0,03	0,01	0,97	0,96
Totalt	8,05	8,06	4,00	4,00	5,05	4,91	15,61	4,06	4,02	7,89	7,89

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Mineralogi och petrologi



**Högtrycksmetabasiter i den södra delen av Mylonitzonen:
fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling**

Anna Grönholm

Innehållsförteckning

Svenskt abstract.....	3
Engelskt abstract	5
1. Inledning	7
2. Regionalgeologi	7
2.1 Mylonitzonen	7
3. Fältgeologi	8
3.1 Bergarter	9
3.2 Strukturer	10
4. Metabasiter, ett typexempel från Skene Skog	10
4.1 Metabasitens välbevarade partier	10
4.1.1 Petrografi	10
4.1.2 Mineralkemi	11
4.1.3 Texturtolkning och reaktioner	12
4.2 Metabasitens retrograderade partier	12
4.2.1 Petrografi	12
4.2.2 Mineralkemi	13
4.2.3 Texturtolkning och reaktioner	13
5. P-T-historia	13
6. Diskussion	15
6.1 Metodval	15
6.2 Vad skiljer en granulit från en eklogit?	15
6.3 Granatzonering	16
6.4 Tektoniskt sammanhang	16
7. Slutsatser	16
8. Tack	16
9. Referenser	16
Plansch 1	19
Plansch 2	21

Högtrycksmetasiter i den södra delen av Mylonitzonen: fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling

ANNA GRÖNHOLM

Grönholm, A., 2001: Högtrycksmetasiter i den södra delen av Mylonitzonen: fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling. Examensarbeten i geologi vid Lunds Universitet. 20 poäng. Nr 131, s. 1-22.

I Mylonitzonens södra del finns metasiter med en delvis bevarad högtrycksparagenes. Metasiterna förekommer som linser inuti migmatitiska gnejser. Mineralparagenesen har bildats vid en metamorfos i högtrycks-granulitfacies under den Svekonorvegiska orogenesisen. Metasiternas mineraltexturer och zonerings tyder på en prograd metamorfos under amfibolitfacies, ett metamorft maximum i högtrycks-granulitfacies och en retrograd amfibolitisering under de upplyftande processerna.

Texturer visar att paragenesen granat + klinopyroxen + plagioklas (An_{18}) + rutil \pm phengit, kvarts och järnsulfid, varit stabil i granulitfacies. Nätverkstextur av klinopyroxen+plagioklas är typisk för nedbrytning av omfacit. I felsiska segregat bildar biotit och plagioklas en textur som sannolikt är en pseudomorf efter phengit. Stora granater har bevarad tillväxtzonering, som tyder på att granat vuxit under ökande temperatur. Kristallerna har en ökande pyropkomponent från centrala delen mot kanten och en minskande spessartinkomponent samt minskande Fe/(Fe+Mg). Bevarad tillväxtzonering trots de höga temperaturerna tyder på att bergarten genomgått ett snabbt förlopp från subducering till upplyftning.

I metasiternas yttre delar har högtrycksparagenesen brutits ned under amfibolitfacies. De retrograda reaktionerna har stabiliserat paragenesen hornblände + plagioklas (An_{43}) + titanit + järnoxid \pm kvarts, biotit och ilmenit.

Området har deformerats i samband med upplyftningen av Östra Segmentet under amfibolitfacies förhållanden. Gnejsen som omger metasiterna har sträckningslineationer som visar på en huvudsaklig dip slip-komponent, riktad mot väster.

Anna Grönholm, Geologiska Institutionen, Avdelningen för mineralogi och petrologi, Sölvegatan 13, 223 62 Lund, Sverige

High-pressure metamorphosed mafic rocks in the southern part of the Mylonite zone: field geology, petrography and metamorphic history

ANNA GRÖNHOLM

Grönholm, A., 2001: High-pressure metamorphosed mafic rocks in the southern part of the Mylonite zone: field geology, petrography and metamorphic history. M.Sc. thesis in geology at Lund University. 20 points. No. 131, p. 1-22.

Mafic rocks in the southern part of the Mylonite zone preserve remnants of a high-pressure mineral assemblage. The rocks occur as lenses in migmatized gneisses. The mineral assemblage equilibrated at high-pressure granulite facies conditions during the Sveconorwegian orogeny. Mineral textures and zoning indicate a prograde metamorphism in the amphibolite facies, equilibration at high-pressure granulite facies conditions and cooling through the amphibolite facies.

Textures demonstrate that the assemblage garnet + clinopyroxene + plagioclase (An_{18}) + rutile \pm phengite, quartz and iron sulphide, equilibrated at granulite facies conditions. Large networks of clinopyroxene with abundant plagioclase "exsolutions" indicate the former existence of omphacite. In felsic segregates networks of biotite and plagioclase may represent pseudomorphs after phengite. Large garnets show preserved prograde growth zoning. Pyrope content increases rimwards and spessartine content decreases, as does the Fe/(Fe+Mg) ratio. The preservation of prograde zoning in large garnet crystals indicates that the rock was quite rapidly uplifted to lower temperatures.

Along marginal parts of the mafic pods, the mineral assemblage has been reequilibrated at amphibolite facies conditions. The retrograde reactions stabilized the assemblage hornblende + plagioclase (An_{43}) + titanite + iron oxide \pm quartz, biotite and ilmenite.

The rocks were thus deformed during the uplift of the Eastern Segment, at amphibolite facies conditions. Linear structures in the surrounding gneiss demonstrate a large west-vergent dip slip component.

Anna Grönholm, Department of Geology, Subdepartment of Mineralogy and Petrology, Sölvegatan 13, S-223 62 Lund, Sverige

Eklogiter är extrema högtrycksbergarter som förekommer i tektoniska terrängar. De är tydliga indikatorer på att berggrunden utsatts för mycket höga tryck under en metamorfos. För att eklogiter skall nå jordytan efter metamorfosen krävs en upplyftning från 50 kilometers djup eller mer, vilket endast kan ske i samband med storskalig tektonik.

Eklogitfacies definierades för första gången av Eskola redan 1920 som baserade sina undersökningar på eklogitförekomster i västra Norge (se Carswell 1990; och referenser däri). Eskola ansåg att paragenesen omfacitisk pyroxen + granat (\pm kyanit, kvarts, ortopyroxen, rutil) var diagnostisk för eklogitfacies. Senare undersökningar har visat att även andra parageneser kan vara stabila i eklogitfacies, beroende på bergartens sammansättning (för sammanfattning, se Carswell 1990). En eklogit *sensu stricto* är dock en mafisk bergart som domineras av granat och omfacitisk pyroxen samt helt saknar plagioklas (Carswell 1990). För att denna paragenes skall vara stabil krävs tryck över 12 kbar (vid en temperatur av 1100°C), då plagioklas börjar brytas ned (Green & Ringwood 1967).

Rester av eklogitfacies-bergarter har beskrivits från trakten av Ullared i sydvästra Sverige (Möller 1998, 1999). De har daterats till 969 ± 14 Ma, vilket innebär att de bildats under den Svekonorvegiska orogenesen. Dessa fynd har stor betydelse för förståelsen av den metamorfa och tektoniska utvecklingen av SV Baltica. Retroeklogiternas utbredning i sydvästra Sverige är dock inte klarlagd.

I ortognejser vid Skene (Fig. 1) finns linser av metabasit med delvis bevarad högtrycksparagenes. Syftet med denna studie är att bestämma om metabasiterna i Skene kan karakteriseras som retroeklogiter eller om de tillhör en annan metamorf facies. Arbetet innefattar även en beskrivning av metabasiternas metamorfa historia. Detaljerad dokumentation av geologin i området kring Skene saknas och därför utfördes också ett mindre karteringsarbete. Karteringen syftar främst till att ge information om strukturerna i området, vilka sedan har jämförts med Mylonitzonsstrukturer.

2. Regionalgeologi

Södra Balticas prekambriiska berggrund delas upp i tre huvudområden: den Svekokarelska orogenen (1,90-1,75 Ga), det Transskandinaviska Magmatiska Bältet (TMB: 1,85-1,65 Ga) och den Svekonorvegiska orogenen (1,2-0,9 Ga). Den Svekonorvegiska orogenens utbredning i öster begränsas av Svekonorwegian Frontal Deformation Zone (SFDZ; Wahlgren et al. 1994) medan Protoginzonen markerar gränsen mellan penetrativ och icke-penetrativ svekonorvegisk deformation (Fig. 1). Orogenen består av två proterozoiska gnejssegment, Östra Segmentet (ÖS) och Västra Segmentet

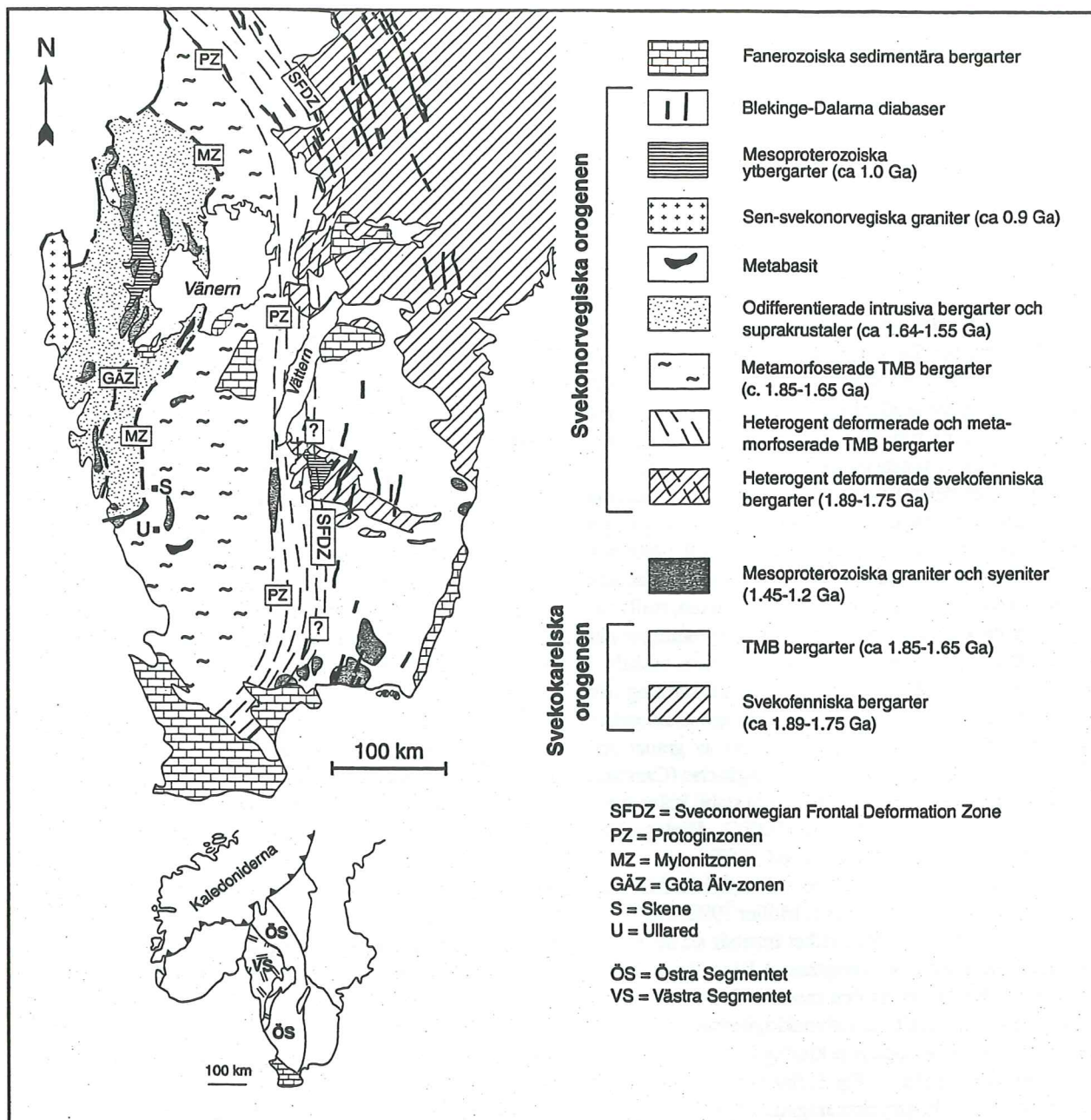
(VS). Dessa skiljs åt av den 400 km långa nord-sydliga Mylonitzonen (MZ). Östra Segmentet är orogenens östligaste del och det domineras av 1,70-1,66 Ga felsiska till intermediära ortognejser (Åhäll & Larson 2000). I norra delen av Östra Segmentet kan både gnejser och gångbergarter följas över både Protoginzonen och SFDZ (Söderlund *et al.* inskickat manuskript) in i princip odeformerade ekvivalenter i TMB. Sannolikt är även bergarterna i det södra Östra Segmentet deformerade TMB-bergarter (Connelly *et al.* 1996; Christoffel *et al.* 1999; Söderlund *et al.* inskickat manuskript). Det alloktona Västra Segmentet domineras av ca 1,64-1,59 Ga gamla metasuprakrustaler och felsiska till intermediära djupbergarter (Connelly & Åhäll 1996).

De två segmenten har olika metamorf grad och åtminstone södra delen av Östra Segmentet är ett tektoniskt djupare snitt än Västra Segmentet. I Östra Segmentet har de södra delarna metamorfoserats i högtrycksgranulit- till övre amfibolitfacies och i Ullaredsområdet finns retroeklogiter (Möller 1998). Eklogiterna är orienterade i ett stråk inom en deformationszon, Ullaredszonen (Möller *et al.* 1997), som sträcker sig från Mylonitzonens södra del mot sydost (Fig. 1). Längre norrut i Östra Segmentet, norr om Vänern, har bergarterna lägre metamorf grad (Söderlund *et al.* 1999). Den metamorfa graden ökar där från grönskifferfacies vid SFDZ i öster till amfibolitfacies i väster. Västra Segmentet har metamorfoserats i amfibolitfacies och berggrunden har lokalt retrograderats under grönskifferfacies-förhållanden (Lundqvist 1994).

Åldern för metamorfosen i sydvästra Sverige har varit omdebatterad. Åhäll (1995) använde lokalen Skene Skog (Fig. 2) som ett typexempel på s k Gotisk (1,75-1,55 Ga) migmatitbildning, deformation och metamorfos. Nybildade zirkoner i Skenegnejsen (Östra Segmentet) har dock daterats till 969 ± 13 Ma (Andersson *et al.* inskickat manuskript). Dateringen tolkas som tiden för den höggradiga metamorfosen och migmatitseringen. Det innebär att den huvudsakliga metamorfosen och deformationen i området skett under den Svekonorvegiska orogenesen. Det finns dock dateringar som visar på en metamorfos vid 1,46-1,42 Ga i sydvästra delen av Östra Segmentet (Söderlund *et al.* inskickat manuskript). Denna metamorfos kan vara associerad med kraftig magmatism i området. I Västra Segmentet finns tecken på presvekonorvegisk deformation mellan 1,60 och 1,55 Ga, vilka inte återfinns i Östra Segmentet (Connelly & Åhäll, 1996).

2.1 Mylonitzonen

Mylonitzonen är en västligt stupande duktil deformationszon, som både är en tektonisk och litologisk gräns (An-



Figur 1: Geologisk och tektonisk karta över södra Sverige. Den mindre kartan visar Östra Segmentets utbredning.

dersson 2000). Zonen sträcker sig från sydvästra Sverige och in i sydöstra Norge, där den försvinner in under Kalevaliderna. Rörelsen i norra delen av MZ har tolkats som en transpression orsakad av kollisionen mellan Baltica och en annan kontinent, möjligen Laurentia, under den Svekonorvegiska orogenesen (Stephens *et al.* 1996). De södra delarna av MZ domineras däremot av senorogena, extensionella, västvergenta rörelser. De extensionella rörelserna är tolkade som ett resultat av en kollaps av orogenen och upplyftning av Östra Segmentet (Berglund 1997).

Mylonitzone har varit omdiskuterad i debatten om sydvästra Sverige. Den har bland annat tolkats som en intrakratonsk Svekonorvegisk skjuvzon. Det innebär att berggrunden på båda sidor om MZ hört samman före den Svekonorvegiska orogenesen och att Östra och Västra Segmentet har en äldre gemensam tektonisk utveckling (Åhäll 1995). Andersson *et al.* (inskickat manuskript) har

dock skilt ut Östra och Västra Segmentet som olika block. De föreslår att blocken inte har en gemensam tektonisk historia före den Svekonorvegiska orogenesen. Segmenten skiljer sig åt både gällande intrusioners karaktär och ålder (Andersson *et al.* inskickat manuskript). Mylonitzone tolkas som en svekonorvegisk struktur, som varit aktiv både under den kompressionella fasen och under den senorogena extensionen.

3. Fältgeologi

Skenegnejsen (Andersson *et al.*, inskickat manuskript) ligger endast några kilometer från Mylonitzone vilket gör fältområdet intressant ur flera aspekter. Vikten lades främst vid att samla strukturgeologisk information, men fältarbetet skulle även ge information om de mafiska linsernas frekvens, bevaringstillstånd och ursprung. Strukturdata från fältområdet vid Skene har jämförts med liknande data i ti-

digare publicerade arbeten om MZ, för att se om de kan korreleras. Arbetet utfördes i ett 30 km² stort område nordväst om Skene (se Fig. 2).

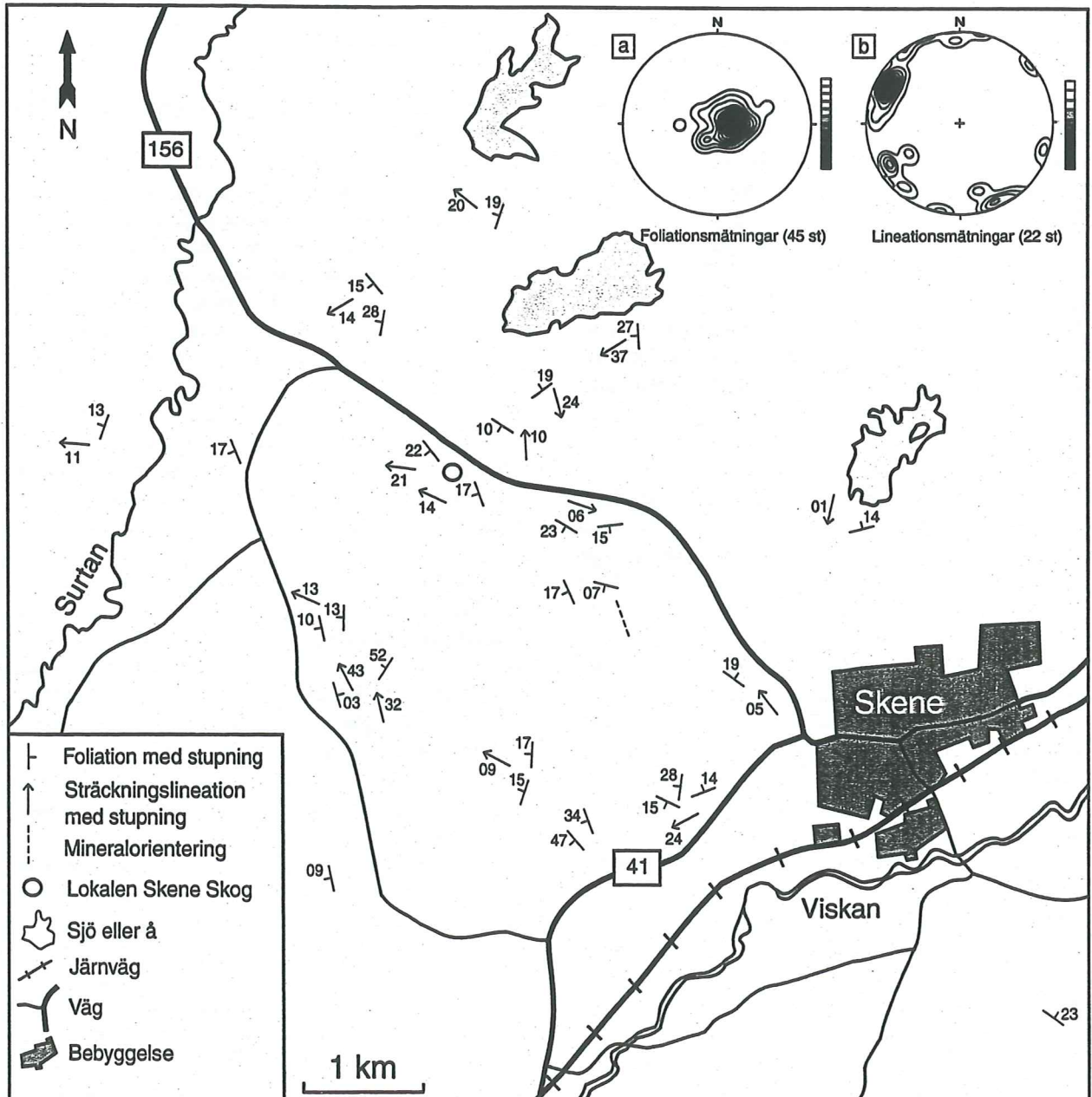
Berglund (1997) har konstaterat tre tektoniska faser med tillhörande foliation och lineation i södra delen av MZ. De två första faserna kan dock vara tidsmässigt närliggande, då de visar en likartad trend med västvergenta extensionsrörelser (Berglund 1997). Uppdelningen i de två första faserna baseras på att en tidigare foliation veckats. Vid den tredje fasen har diskreta, biotitanrikade foliationsplan bildats. Foliationens strykning i södra delen av MZ är enligt Berglund (1997) parallell med zonen, som i närheten av Skene har en nord-sydlig riktning. Lineationens strykning i södra MZ sprider mellan väst och nord-nordväst (Berglund 1997). I området finns smala mylonitzoner i centime-

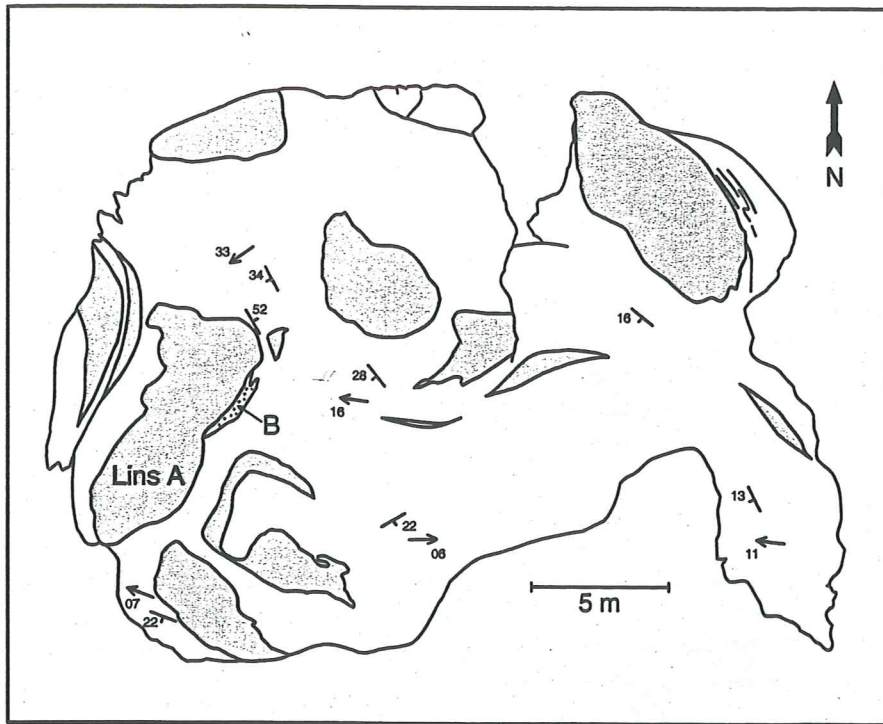
ter- till meterskala. Dessa har enligt Berglund (1997) bildats i samband med en sensvekonorvegisk kollaps och tektonisk avskalning under upplyftning av Östra Segmentet. Berglund (1997) konstaterar att det är sällsynt med bra rörelseindikatorer i södra delen av MZ, vilket anses vara en följd av genomgripande post-kinematisk, statisk rekristallisation.

3.1 Bergarter

Den migmatitiska, grå till rödgrå Skenegnejsen är relativt homogen i fältområdet. Den är granodioritisk, fin till medelkornig, och innehåller lokalt enstaka hornblände- och kalifältspatögon. Deformationsgraden i bergarten varierar från svagt gnejsig till mylonitisk, men det vanligaste är en uttalad gnejsig bandning definierad av parallella ådror. Lin-

Figur 2: Karta över fältområdet. Kartan visar representativa strukturmätningar från samtliga lokaler. I stereogram (a) och (b) är alla mätningar inlagda. Stereogram (a) visar poler till foliationsplan i 2%-intervall. Stereogram (b) visar lineationsmätningar i 2%-intervall. Mineralorienteringen är densamma som visas i figur 3a.





Figur 3: Detaljkarta över västra delen av lokalen Skene Skog. Den mörka metabasiten bildar linser och band inuti Skene-gnejs. De undersökta proven är hämtade från lins A. Prov SK3C är från segregatet (B) i den östra kanten av linsen.

ser och band av metabasit förekommer allmänt i gnejsen. De mindre linserna eller banden har helt retrograderats till granatfri amfibolit. I de större linsernas centrala delar finns dock både granat och pyroxen bevarade. Lokalt är pyroxenkristallerna upp till 10 cm långa och ligger orienterade i samma riktning (Plansch 1, a). Linserna förekommer ofta i samma horisont i de enskilda hällarna. I anslutning till många av de mafiska linserna finns kvarts och / eller hydrerade mineral. Vid lokalen Skene Skog omger halvmeter-måktiga sliror av biotit en av linserna. Pegmatit- och kvartsgångar, som klipper gnejsigheten, förekommer på ett fåtal lokaler.

3.2 Strukturer

Skene-gnejsen har väl utvecklade foliationsplan men det är sällsynt att finna någon tydlig lineation. I gnejsen finns även enstaka veck och "shear pods". Lokalt har även de mafiska linserna deformerats penetrativt och både foliationsplan och sträckningslineation har utvecklats. Dessa strukturer visar samma riktningar som de i sidognejsen. Foliationen undulerar något men stryker allmänt syd-sydost. Foliationsplanen stupar ca 20° mot väster (Fig. 2, stereogram a). I närheten av metabasiterna följer foliationen linsernas form och eftersom linserna är upp till 20 m mäktiga varierar orienteringen av foliationen.

I området runt Skene finns mylonit sporadiskt och det sker övergångar från svag förgnejsning till mylonit inom enstaka hällar. I Skene-gnejsen är sträckningslineationen generellt mycket svag, men det förekommer enstaka lokaler, t ex Skene Skog, där den är väl utvecklad. Anledningen till den svaga lineationen är möjligen statisk rekristallisation. Mätningarna visar en konsekvent trend med nordvästlig strykning och ca 10° stupning (Fig. 2, stereogram b). I berggrunden runt Skene finns få rörelseindikatorer (överstälpta veck, en lokal med asymmetrisk porfyroklast) och de tyder enhetligt på en västvägande rörelse.

4. Metabasiter; ett typexempel från Skene Skog

På lokalen Skene Skog finns avbanade områden med hällar av gnejs och inneslutna metabasiter (Plansch 1, b). De mindre metabasiterna är granatfria amfiboliter, medan de större oftast har en bevarad central granat- och pyroxenförande del. I detta arbete har jag undersökt en av linserna i detalj (Fig. 3, lins A). Den har en relativt välbevarad central del och en amfibolitiserad yttre del (Plansch 1, c). Bevaringen av de centrala högtrycksmineralen har främst styrts av att de skonats från fluider under amfibolitiseringsen. Det finns ett tydligt nätverk i stora delar av linsen där fluiderna omvandlat även centrala partier till amfibolit (Plansch 1, d). De mer välbevarade partierna har inte varit påverkade av fluiderna i lika stor utsträckning och därmed har de kunnat bevaras.

4.1 Metabasitens välbevarade partier

4.1.1 Petrografi

I de mest välbevarade och grovkorniga delarna av lins A dominerar granat och klinopyroxen medan plagioklas, kvarts, amfibol, opaker, titanit, biotit och rutil förekommer i mindre mängder (Plansch 2, a). Den centrala delen studerades i tre tunnslip; SK2B:1, SK2B:2 och SK3C. Det sistnämnda provet är ett ljus segregat från linsens östra del med granat och pyroxen men en i övrigt avvikande mineralogi (B i Fig. 3).

Granatkristallerna i SK2B:1-2 är upp till sju mm stora och deras form varierar från subhedrala till anhedrala. De har många inklusioner vilka är koncentrerade till den centrala delen av kristallerna. Amfibol, kvarts, rutil, glimmer och enstaka pyroxenkorn utgör de huvudsakliga inklusionsfaserna. Granatkanterna har brutits ned och runt kristallerna finns symplektitiska eller oregelbundna domäner av plagioklas, amfibol och opak (Plansch 2, c och d). Plagioklas finns som anhedrala till granoblastiska korn (200 µm).

	SK2B Gt kant	Gt central	SK2B Cpx	Cpx	SK2B Plg kant	Plg central	SK1A Amf Hastingsit	SK3C Plg kant	Plg sympl.	SK3C Bt sympl.	Bt flak
SiO ₂	38,85	39,82	50,07	51,47	58,86	64,86	39,06	61,82	55,97	34,35	34,39
TiO ₂	0,13	0,16	0,17	0,19	0,06	0,01	1,20	0,05	0,04	3,83	4,70
Al ₂ O ₃	21,82	22,18	2,57	2,00	22,65	22,73	14,32	22,52	27,48	17,58	16,46
MgO			3,53	3,07			5,78				
Fe ₂ O ₃	26,75	26,76	9,09	8,70	0,21	0,18	15,22	0,10	0,34	20,18	20,65
FeO	0,28	3,55	0,13	0,09			0,38			9,17	-
MnO	4,49	1,97	10,15	11,25			8,00			10,94	10,72
CaO	10,79	13,22	23,44	23,90	4,90	3,77	12,31	3,74	9,16	0,07	-
Na ₂ O			0,57	0,49	7,38	7,90	1,56	8,29	5,84	0,13	0,25
K ₂ O					0,39	0,50	1,56	0,59	0,14	10,02	9,89
Totalt	103,12	107,67	99,35	100,84	94,44	99,93	98,81	97,10	99,16	97,26	96,91
Si ⁴⁺	2,96	2,96	1,91	1,93	2,76	0,67	5,89	2,81	2,54	2,60	2,62
Ti ⁴⁺	0,01	0,01	-	-	0,02	-	0,14	-	-	0,22	0,27
Fe ³⁺	1,96	1,94	0,12	0,09	1,25	1,18	2,55	1,21	1,47	1,57	1,48
Al ³⁺			0,10	0,09			0,66			1,28	1,31
Fe ²⁺	1,71	1,66	0,29	0,27	0,08	0,01	1,92	-	0,01	0,01	-
Mn ²⁺	0,02	0,22	-	-			0,05			1,23	1,22
Mg ²⁺	0,51	0,22	0,58	0,63			1,80			0,01	-
Ca ²⁺	0,88	1,05	0,96	0,96	0,25	0,18	1,99	0,18	0,45	0,02	0,04
Na ⁺			0,04	0,03	0,67	0,67	0,46	0,73	0,51	0,97	0,96
K ⁺					0,02	0,03	0,30	0,03	0,01		
Totalt	8,05	8,06	4,00	4,00	5,05	4,91	15,61	4,06	4,02	7,89	7,89

Tabell 1: Mikrosond-analyser från prov SK2B, SK1A samt SK3C. Mätningarna på klinopyroxen är gjorda i matrix. Plagioklas i SK2B har en central del som hör till högtrycksparagenesen och en senare, retrograd kant. Analyserna i SK3C är gjorda på nedbrytningstexturen efter phengit.

Förkortningar: Gt=granat, Cpx=klinopyroxen, Plg=plagioklas, Amf=amfibol, Bt=biotit, sympl=symplektitisk.

De centrala delarna av lins A består till två tredjedelar av blekgrön klinopyroxen. De är överallt kraftigt omvandlade och bildar 2-3 cm långa skelettlika nätverk med rikligt av inneslutningar av mycket små amfibol- och plagioklaskorn (Plansch 2, e). Amfibol uppträder både som tunna lameller och som små, enskilda kristaller medan plagioklas främst uppträder som enskilda kristaller.

I prov SK2B:2 finns två stora zonerade prismatiska plagioklaskristaller. De är två till fyra mm långa och har inga reaktionstexturer mot omgivande mineral. Rutil förekommer som inneslutningar i andra mineral. Det är vanligt att mörkbrun rutil bildar en liten kärna inuti ljusbruna titanitkristaller men enstaka rutilkorn förekommer även som inneslutningar i granat. Titanit är upp till två mm och subhedrala. Kvarts finns endast i små mängder. Enstaka stora korn av olivgrön amfibol återfinns också. De opaka faserna är främst järnoxid men enstaka järnsulfidkorn förekommer också.

I linsens östra del finns segregat (B i Fig. 3) som har en avvikande mineralogi men där både klinopyroxen och granat ingår (prov SK3C). Plagioklas, kvarts och biotit dominerar och de underordnade faserna är pyroxen, granat, amfibol, opak och rutil. Klinopyroxen är kraftigt nedbruten till ett nätverk och innesluter både plagioklas och amfibol. Inuti klinopyroxen finns även små välbevarade granatkristaller. Runt kvartskristallerna ligger plagioklas. Plagioklaskristallerna är granoblastiska och har albittvillingar. Biotit bildar stora, hela flak samt symplektitiska nätverk tillsammans med plagioklas (Fig. 4).

4.1.2 Mineralkemi

Analyser av metabasitens mineralogi gjordes med ett Link EDS system, kopplat till ett svepelektronmikroskop av typ

Jeol, JSM6400 (Geologiska institutionen, Lunds Universitet). Halten Fe³⁺ i amfibol och klinopyroxen har beräknats utifrån stökiometri enligt Droop (1987).

Analyser utfördes både på matrix-pyroxener och på pyroxen-inneslutningarna i granaterna. Många inneslutningar visade sig ha en strålig struktur som troligen beror på en mycket finkornig sammanväxning av glimmer. Pyroxen, både i matrix och inuti granat, klassificeras som diopsid (ändled: CaMgSi₂O₆; Morimoto, 1988; för sammansättning se Tabell 1).

I prov SK2B:1 har den största granaten en fint bevarad zoneringsstruktur från centrala delen [Alm₅₃Grs₃₅Prp₇Sps₇] mot kanten [Alm₅₅Grs₂₇Prp₁₆Sps_{0,3}] (granatzoneringsbeskrivning diskuteras i diskussionskapitlet). Pyropkomponenten ökar från mitten mot kanten medan spessartinkomponenten och Fe/(Fe+Mg) minskar (från 0,88 till 0,77) mot kanten (se Fig. 5a), vilket är typiskt för en prograd tillväxtzonering (Spear 1993). För att undersöka om även mindre granater visade en bevarad zoneringsstruktur studerades en profil genom en kristall i prov SK2C, men denna kristall visade sig vara relativt homogen (Alm₅₀Grs₂₉₋₃₂Prp₁₅₋₁₈Sps₁₋₂; Fe/(Fe+Mg)_{0,75-0,78}; se Fig. 5b).

De stora prismatiska plagioklaskornen har en yttre kant som är mer anortit-rik, An₂₅, jämfört med den centrala, homogena delen av kristallen, An₁₈. Plagioklasen har även en liten ortoklaskomponent (3%) genom hela kristallen.

De små sekundära plagioklaskristallerna i domänerna runt granaterna har lägre anortithalt i kontakten mot amfibol, An₂₇₋₄₁, jämfört med granatkontakten, An₃₉₋₅₃. Ca-halten är dock lägst i kristallernas centrala del, An₂₂₋₄₁. Sammansättningen varierar mellan olika områden runt granaterna men det relativa mönstret är det samma.

Amfibolerna i domänerna runt granat räknades om enligt Droop (1987) för Fe³⁺-bestämning och klassifika-

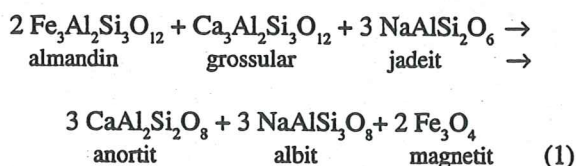
tionen följde Leake et al. (1997). De klassificeras som hastingsit (ändled: $\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) eller ferropargasit (ändled: $\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Al})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), båda ingående i hornblände-gruppen.

Inuti den skelettlika texturen av klinopyroxen i SK2B:1-2 finns små kristaller av plagioklas och amfibol. Plagioklaskornen är homogena och har sammansättningen $\text{An}_{30}\text{Alb}_{70}$. Amfibol har relativt låg Al-halt medan Mg-halten är hög och de klassificeras som magnesiohastingsiter.

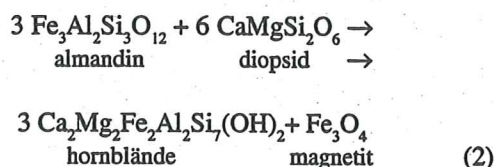
I segregatet (prov SK3C) visar plagioklas stor variation i sammansättning beroende på dess position i texturen. Inuti biotit-symplektiten är anortithalten högre (An_{40}) än utanför där den sjunker till An_{20} . Biotiten har en homogen sammansättning som inte visar någon skillnad mellan symplektitiska kristaller eller hela korn.

4.1.3 Texturtolkning och reaktioner

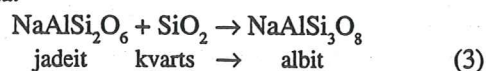
Det är tydligt att granat har reagerat med klinopyroxen och bildat amfibol och plagioklas. Produkterna bildar två typer av koroner runt granat (Plansch 2, c och d). Den mest förekommande, typ 1, utgörs av små (100-200µm) plagioklaskorn närmast granat och amfibol i närheten av pyroxen. Järnoxid ingår som en liten komponent i ett fåtal av koronorna. I de symplektitiska koronorna, typ 2, är kristallerna mindre och bildar ett masklikt mönster som växer vinkelrät från granatkanten. "Maskarna" består av amfibol, (sericitiserad) plagioklas och järnoxid. Koronatexturen kan ha bildats ur följande reaktioner:



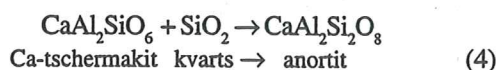
och



Den ursprungliga klinopyroxenen i matrix har sannolikt haft en annan sammansättning, rikare på jadeit- och tschermakit-komponenterna. Nätverk och symplektit av klinopyroxen + plagioklas är en typisk nedbrytningstextur efter omfacitisk klinopyroxen, och bildas vid tryckminskning (Boland & van Roermund, 1983). Produkten från denna nedbrytning, plagioklas, återfinns inuti kristallerna. Omvandlingen har troligtvis skett enligt de förenklade reaktionerna:



och



Båda reaktionerna är tryckberoende (Holland, 1980; Gasparik

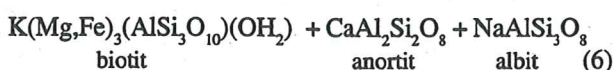
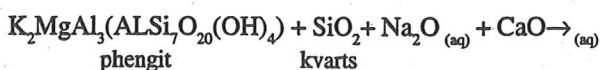
& Lindsley 1980).

Rutil är stabil vid höga tryck. Vid en trycksänkning bryts den ner och på dess bekostnad växer titanit (Carswell 1990). I texturen ingår även ilmenit, som bildar lameller inuti rutilen. Texturen kan ha bildats vid reaktionen:



Den symplektitiska biotit-texturen i prov SK3C kan vara en pseudomorf efter phengit.

Muskovitens Mg-rika ändled, phengit, bryts ned i ett tidigt stadium efter att ha passerat högsta temperaturen enligt reaktionen:



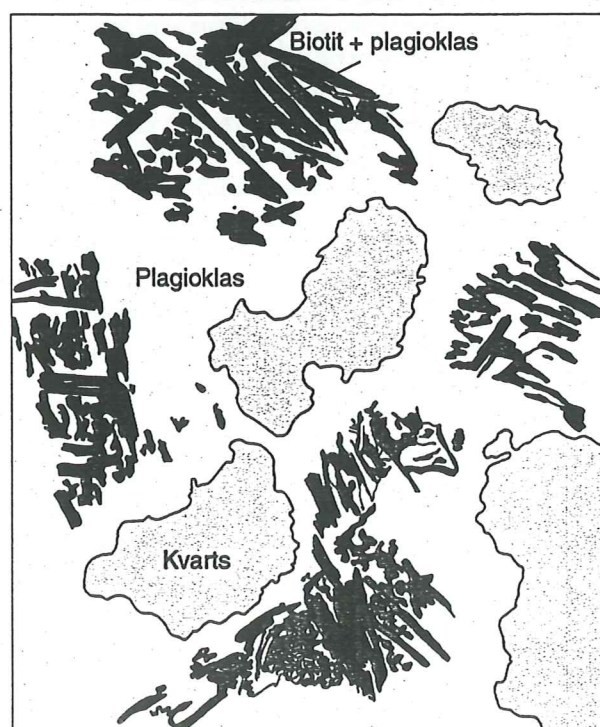
(Franz et al. 1986). Reaktionerna är omöjliga att balansera eftersom mängden fluider är okänd. Det finns inga rester kvar av phengiten, men kvarts som ej medverkat i reaktionen återfinns som öar omgivna av plagioklas (Fig. 4).

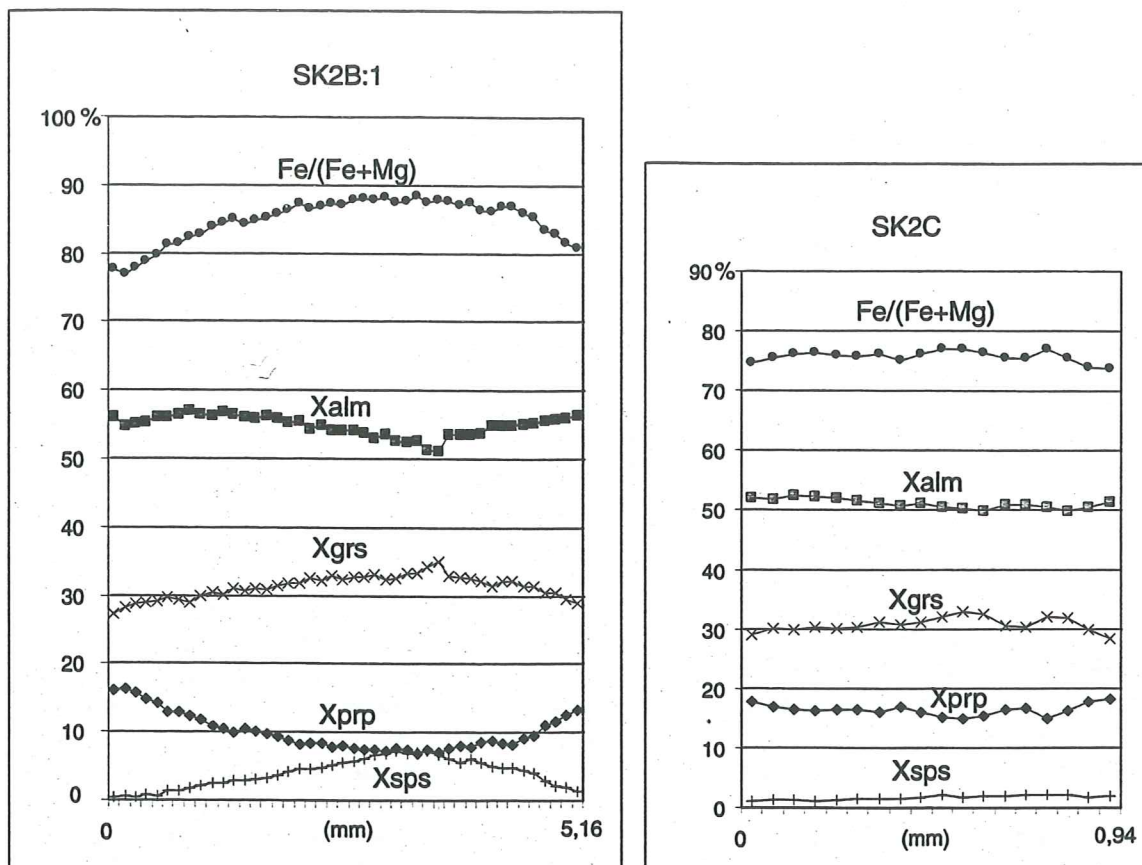
4.2 Metabasitens retrograderade partier

4.2.1 Petrografi

De yttre partierna av basiten är helt retrograderade under amfibolitfacies (Plansch 1, e och Plansch 2, b och f) och både pyroxen och granat har brutits ned. Amfibol,

Figur 4: I slip SK3C bildar kvarts, plagioklas och biotit en nedbrytningstextur. Biotiten har troligtvis ersatt phengit, muskovitens Mg-rika ändled.





Figur 5: Diagram över zonerings samt (Fe/Fe+Mg) hos granat. Komponenterna är angivna i mol%. Mätningarna är utförda från kant till kant i kristallerna. Notera att skalan skiljer sig åt i de båda diagrammen. Förkortningar: alm=almandinkomponent, grs=grossularikomponent, prp=pyropkomponent, sps=spessartinkomponent.

plagioklas, titanit och opak (järnoxid, ilmenit) är de dominerande faserna. Biotit och kvarts förekommer i små mängder. För studier i de retrograderade partierna analyserades tunnslip SK1A.

De yttre partierna av basitlinsen domineras av olivgrön amfibol. Den utgör runt 40% och förekommer huvudsakligen i två former: som stora subhedrala kristaller (1-1,5 cm) och som små avlånga till rombiska kristaller. De små kristallerna ligger i en koronastruktur runt de större amfibolerna, tillsammans med (seriticerad) plagioklas och järnoxid. I Plansch 2 (b) syns vita plagioklasrika domäner som är pseudomorfer efter granat. Förutom plagioklas består dessa också av amfibol, järnoxid och titanit. Rester av granat förekommer ofta i kärnan av dessa domäner. I provet förekommer euhedral titanit (≤ 4 mm) inuti amfibol, medan titanit i kontakt med andra mineral är anhedral. Inuti finkornig titanit bildar ilmenit en kärna. Järnoxidkristallerna är subhedrala och förekommer tillsammans med amfibol och plagioklas (Plansch 2, f). I ett litet område av provet finns bruna biotitkorn (1-2 mm) tillsammans med plagioklas och amfibol. De yttre delarna innehåller även enstaka kvartskristaller. I delar av prov SK1A har kloritvandring skett och amfibol har omvandlats till små, stråliga domäner.

4.2.2 Mineralkemi

Amfibolen klassificeras som hastingsit (ändled:

$\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}_4, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), liksom i de centrala delarna av metabasiten. Det innebär att amfibol sannolikt tillhör den retrograda paragenesen och att mineralet inte varit stabilt vid högtrycksmetamorfosen. De små och stora amfibolkristallerna har mycket likartad sammansättning. Plagioklas har en varierande sammansättning som är beroende av dess position. I koronastrukturen har kornen sammansättningen An_{43} och inuti järnoxid är kristallerna nästan ren albit: An_{02} .

4.2.3 Texturtolkning och reaktioner

Jämfört med de mer välbevarade partierna har reaktionerna gått betydligt längre i de yttre delarna av lins A. Reaktionerna är dock de samma som ovan (1 - 6). De domäner i slipet som domineras av plagioklas är sannolikt områden där granat funnits tidigare. De stora amfibolkornen har ersatt klinopyroxener.

5. P-T-historia

För att illustrera metabasiternas metamorfa historia kan man jämföra med en mycket omfattande undersökning av Green & Ringwood (1967). De utförde experiment på övergången från gabbro till eklogit vid temperaturer mellan 1000°C och solidus för basalt. Övergången mellan de två bergarterna visade sig ske över ett stort tryckintervall, från 7 till 21 kbar. Reaktionerna är dock inte enbart tryckberoende, de påver-

kas även av bergartssammansättning, vattentryck och temperatur. En jämförelse mellan olika sammansättningar visade exempelvis att plagioklas försvann i en olivin-tholeiit vid endast 13,5 kbar, medan de sista resterna av plagioklas i en kvarts-tholeiit försvann först vid 20,5 kbar.

Med gabbro som utgångsmaterial skedde följande händelser vid successivt ökat tryck:

Steg A: Granat bildas i proven och både den modala volymen och pyrop-komponenten ökar successivt (Fig. 6, reaktionslinje A).

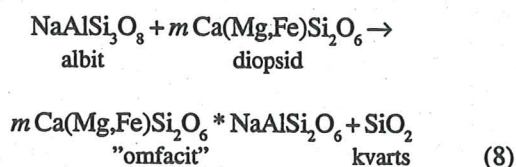
Steg B: Plagioklas bryts ned och anortit-ändledet konsumeras tidigare än albit-ändledet. Vid nedbrytning av anortit frigörs Ca och Al.

Steg C: Ca och Al gynnar bildning av klinopyroxen. Genom reaktionen:



bildas både klinopyroxen och granat (för fullständiga reaktioner se Green & Ringwood 1967).

Steg D: Den resterande plagioklasen får högre Na-halt när anortit-ändledet konsumeras. Detta fortgår till dess att även albit-ledet börjar konsumeras och bildar jadeitkomponent i klinopyroxenen:



(Fig. 6, reaktionslinje D). Efter reaktion (8) är bergarten en eklogit enligt Eskolas definition från 1920 (se inledningen). Green & Ringwood (1967) har däremot en snävare definition och en bergart är inte eklogit enbart för att den består av granat och klinopyroxen samt saknar plagioklas. Klinopyroxen skall dessutom ha ett högt [jadeit/tschermakit] och volymförhållandet mellan granat och klinopyroxen skall vara konstant. Detta inträffar först vid 20 kbar (1100°C) i experimentet (Fig. 6). Då har klinopyroxen konsumerat allt Na från plagioklas samt avgett Al till granat. Green & Ringwood har haft mycket höga temperaturer vid sina experiment för att öka reaktionshastigheten. De höga temperaturerna påverkar klinopyroxen som då tar in en större tschermakitkomponent. I Östra Segmentet har temperaturer från 680 till 800°C uppmätts (Johansson *et al.* 1991; Wang & Lindh 1996; Möller 1998). Vid dessa temperaturer tar klinopyroxen in mindre Al. Det medför att volymförhållandet mellan granat och pyroxen kan bli konstant vid ett lägre tryck.

Green & Ringwood (1967) studerade även granuliter. Granuliterna delades upp i tre tryckregimer: lågtrycks-granuliter, medeltrycks-granuliter och högtrycks-granuliter (Fig. 6).

- Lågtrycks-granuliter karakteriseras av associationen olivin + plagioklas samt i Al-rika bergarter förekomst av kordierit.

- Medeltrycks-granuliter karakteriseras av ortopyroxen + plagioklas. Olivin och plagioklas kan inte förekomma tillsammans.

- Högtrycks-granuliter karakteriseras av granat + klinopyroxen + kvarts ± plagioklas och ortopyroxen. De två sistnämnda kan inte förekomma tillsammans.

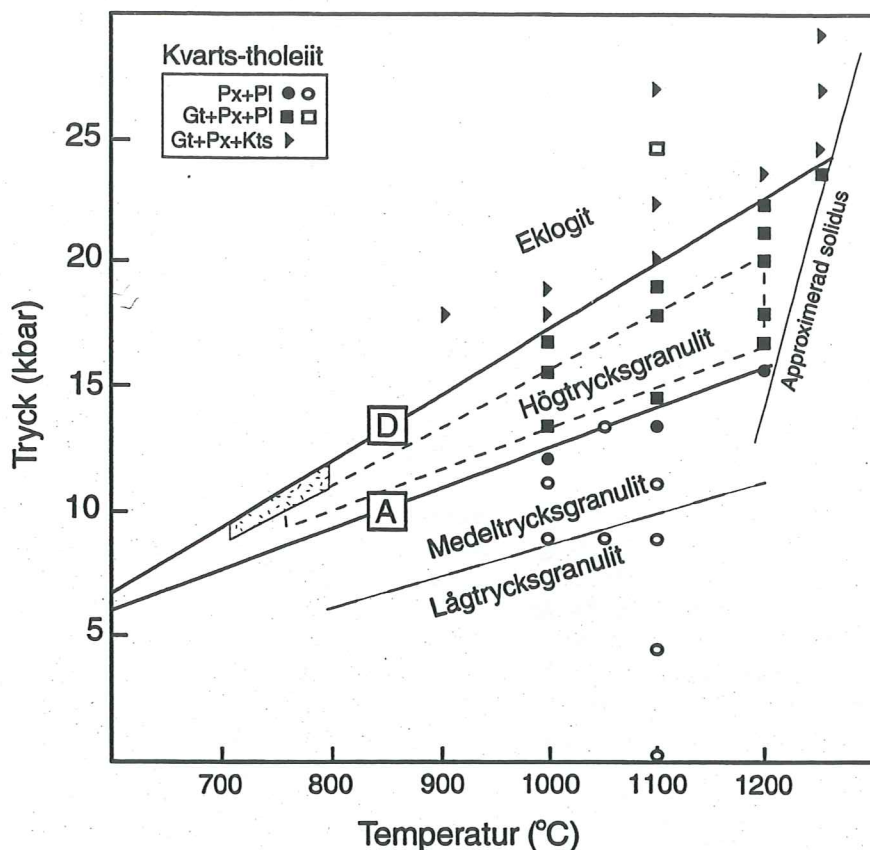
Övergångarna mellan regimerna sker över intervall eftersom reaktionerna är di- eller multivarianta och P-T-förhållandena för gränsreaktionerna varierar med bergartens bulk-sammansättning.

Metabasiterna i Skene har jämförts med den experimentella utvecklingen beskriven av Green & Ringwood (1967). Ursprungligen har metabasiterna sannolikt haft en gabbroisk mineralogi. Under den prograd metamorfosen har granat bildats (Steg A). I granatkärnorna finns inklusioner av amfibol, vilket tyder på att basiterna genomgått metamorfos i amfibolitfacies vid granattillväxten. Amfibol, granat och plagioklas har sannolikt varit de dominerande mineralen under amfibolitfacies.

Tryck och temperatur har ökat och när granaterna fortsätter att växa bildas inga nya amfibolinklusioner. Amfibol är inte längre en stabil fas. Klinopyroxen bildas i basiterna på bekostnad av plagioklas (Steg B och C). Bergarten har därmed nått granulitfacies och granat, klinopyroxen och plagioklas är de dominerande faserna. Efter hand minskar plagioklashalten. Basiterna är uppe i högtrycksgranulitfacies och de dominerande faserna är granat, klinopyroxen och rutil. Det förekommer även plagioklas, kvarts och järnsulfid. Klinopyroxen är den dominerande fasen i högtrycksparagenesen i de undersökta proven från Skene Skog. Sammansättningen på den klinopyroxen som varit stabil vid det största trycket (max-tryck) är okänd men i proven finns typiska reaktionstexturer efter omfacit (Plansch 2, e). Det tyder på att en omfacitisk pyroxen har bildats (Steg D) i bergarten genom reaktion (8). Eftersom plagioklas är närvarande, har metabasiterna inte nått upp i eklogitfacies. Metabasiterna har sannolikt nått jämvikt i gränsövergången mellan högtrycksgranulit- och eklogitfacies (Fig. 6) vid en temperatur mellan 700 och 800°C (se markerat område i Fig. 6).

Under den senare delen av den Svekonorvegiska orogenesisen har metabasiterna förts upp till ytan och omvandlats vid amfibolitfacies-förhållanden. De retrograda processerna har nått jämvikt i sidognejsen och suddat ut alla indikatorer från den höggradiga metamorfosen. I centrala delar av de stora linserna av metabasit har jämvikt däremot inte uppnåtts. Skillnaderna i retrograderingsgrad beror i grunden på att torra, mafiska bergarter är mer kompetenta än felsiska bergarter. Under amfibolitfacies har fluider varit närvarande i systemet. Fluiderna har sannolikt varit allstädes närvarande i sidognejsen medan de har transporterats genom linserna längs svaghetszoner. Fluiderna har transporterat joner och ökat hastigheten hos de retrograda reaktionerna (1) - (6). Metabasiten har omvandlats till amfibolit där fluider funnits. I partierna emellan återfinns de bevarade delarna av högtrycksparagenesen. Nätverkstexturen (Plansch 1, d) illustrerar att fluider är mycket viktiga för metamorfa retrograderingsprocesser. Förutom fluiderna kan även nedbrytningstexturerna ha påverkat reaktionshastigheterna. Symplektitiska texturer i metabasiterna medför större kristallytor, vilket sannolikt lett till ökad reaktionshastighet.

Efter amfibolitseringen har låggradiga, metamorfa



Figur 6: Diagram modifierat efter Green & Ringwood (1967), baserat på deras undersökningar av kvarts-tholeiit under förhöjda tryck och höga temperaturer. De angivna områdena för eklogit och granulit är approximativa, då gränserna för dessa områden varierar med bl a bergartens vatten-tryck och bulk kemi. I övergångszonen mellan det sträckade området för högtrycksgranulit och eklogit (linje D) kan båda bergarterna stabiliseras. Det mönstrade området visar var metabasiterna i Skene sannolikt nått metamorft maximum. Reaktionslinje A: granat stabiliseras. Reaktionslinje D: omfacit bildas ur albit och diopsid.

omvandlingar skett. Plagioklas har brutits ned till sericit och amfibol har omvandlats till klorit.

6. Diskussion

6.1 Metodval

Detta arbete har baserats på mineralstudier i syfte att göra en uppskattning av vilka tryck- och temperaturförhållanden som metabasiterna vid Skene Skog metamorfoserats under. Ett beräknat resultat kan erhållas genom att använda geotermo-barometrar. Vid beräkningar av tryck och temperatur med hjälp av geotermobarometrar krävs det dock att mineralen är i kemisk jämvikt och tillhör samma paragenes. Metabasiterna har tydliga reaktionstexturer som visar att bergarten inte är ekvibrerad. Bevarade mineral från högtrycksparagenesen har dessutom fått en förändrad kemisk sammansättning under retrograderingen genom net-transfer reaktioner och diffusion. Reaktionstexturerna och zoneringsmönstren innebär att bergarten inte är lämplig för beräkning av varken temperatur eller tryck med hjälp av geotermobarometrar. En sådan beräkning skulle resultera i falska eller, i bästa fall, retrograda tryck och temperaturer.

På grund av detta koncentrerades arbetet till paragenes- och textur-studier.

6.2 Vad skiljer en granulit från en eklogit?

I metabasiterna vid Skene Skog tolkas den bevarade högtrycksmineralogin och nedbrytningstexturerna som bildade ur en metamorfos i högtrycksgranulit-facies. Denna facies ligger enligt Green och Ringwood (1967) tryckmässigt under stabilitetsfältet för eklogit (Fig. 6). Stämmer deras resultat överens med naturliga bergarter? Vid en jämförelse med xenoliter, som stabiliserats vid gränsen mellan krusta och mantel (≤ 100 km) under kratoner med normal geotermal-gradient, visar sig granuliter samexistera med eklogiter (Carswell 1990, med referenser däri). I två xenolitsviter var skillnaden mellan granuliter och eklogiter endast närvaro respektive frånvaro av plagioklas. Detta styrdes av mycket små skillnader i bulkemin. Resultaten av geotermobarometri från xenoliterna visade att vid en förhöjd geoterm (orsakad av underplating) är granulit den stabila bergarten, men vid isobarisk avkyllning av berggrunden övergår allt större proportioner av de mafiska bergarterna till eklogit. Om och när denna övergång sker styrs av kinetiska

faktorer. Vid sjunkande temperaturer sker reaktionerna allt mer oregelbundet och tillväxt-koronor omkring de olika reaktanterna förhindrar att jämvikt uppnås i bergarten. Reaktionen når jämvikt endast i domäner som deformerats eller infiltrerats av fluider. Detta leder till att granuliter kan vara metastabila i eklogitfacies.

Jämförelsen visar att den gängse uppfattningen att högtrycksgranuliter och eklogiter bildas vid signifikant skilda tryck inte är korrekt i alla geologiska miljöer. Med den facies-uppdelning som allmänt används (se t ex Carswell 1990, men referenser däri) betecknas Skene-metabasiterna som högtrycksgranuliter, även om förhållandena under vilka de bildats eventuellt också kunnat stabilisera eklogiter, exempelvis i Na-fattigare bulksamman-sättning.

6.3 Granatzonering

Granater är resistent mineral som kan bevaras genom både måttlig metamorfos och deformation utan att den ursprungliga sammansättningen förändras. Mineralen har fasta lösningar mellan de olika komponenterna vilket innebär att om en kristall växer till under föränderliga yttre förhållanden, kommer de olika komponenterna att gynnas olika mycket och därmed får granaten en tillväxtzonering. Zonering i granater kan även bildas eller modifieras genom diffusion. Det sker vid temperaturer över ca 630°C (Spear 1993). Diffusionen drivs av en förändring i de yttre förhållandena och det behöver varken ske under nedbrytning eller tillväxt av granaten (Spear 1993). Vid tillräckligt hög eller långvarig metamorfos kan diffusionen drivas så långt att kristallen homogeniseras och zoneringen försvinner.

En bevarad zonering kan ge information om förändring i tryck- och temperaturförhållanden under mineralets tillväxt. I prov SK2B:1 från Skene Skog har den största granaten en bevarad zonering (se Fig. 5a). Den allra yttersta mätpunkten avviker från mönstret och antyder att diffusion har påverkat granatens yttre delar under retrograderingen. Enligt Spear (1993) är de beskrivna variationerna i figur 5a typiska för en tillväxtzonering som bildats vid ökande temperatur. I prov SK2C är granaterna mindre och har ingen bevarad kemisk zonering (Fig. 5b). De har sannolikt homogeniserats genom diffusion. Detta ger en antydning om att metamorfosen skett med en sådan hastighet att mindre granater homogeniserats medan tillväxtzoneringen kunnat bevaras i större kristaller.

6.4 Strukturtolkning

De uppmätta strukturerna i detta arbete stämmer väl med beskrivningar i Berglunds undersökning (1997), vilket tyder på att strukturerna vid Skene hör samman med Mylonitzonen. Foliations- och lineationsriktningarna tyder på en stor dip-slip komponent i området. Det innebär att rörelsen i södra MZ i huvudsak skett i vertikalled. En mindre dip-slip rörelse kan sannolikt knytas till upplyftningen av Östra Segmentet under amfibolitiseringsen.

Det finns inga tecken på en östvägig rörelse vid Skene, vilket exempelvis dominerar i Ullaredszonen (Möller *et al.* 1997, 1999). I Ullaredszonen har strukturerna sannolikt bildats både i samband med den kompressionella överskjutningsfasen och under den senare extensionen

(Möller *et al.* 2000). Det har diskuterats i tidigare arbeten om eklogiterna i Ullaredszonen utgör en egen tektonisk enhet i Östra Segmentet (mest sannolikt), eller om hela södra delen av Östra Segmentet utgör en sammanhållen enhet som genomgått metamorfos i eklogitfacies men sedan överpräglats av granulit- och amfibolitfacies metamorfos (Möller 1998). Eftersom området vid Skene tillhör samma tektonometamorfa område borde det finnas strukturella likheter mellan områdena. Avsaknaden av östvägiga strukturer vid Skene kan bero på en stark överpräglning av tidiga strukturer under den senorogena extensionen i Mylonitzonen. Fältresultaten som presenterats i detta arbete är dock endast från ett litet område och några säkra slutsatser kan ännu inte dras.

Den skillnad i metamorf grad som finns mellan Skene-metabasiterna och Ullareds-eklogiterna anses inte vara ett bevis för att områdena måste tillhöra olika tektonometamorfa enheter. En framtida kartering och undersökning av bulk kemi hos respektive bergarter skulle kunna ge fler ledtrådar till deras inbördes förhållande.

7. Slutsatser

- Metabasiterna på lokalen Skene Skog har metamorfoserats under högtrycksgranulit-facies, i övergångsområdet till eklogitfacies. Enstaka korn av plagioklas (An_{18}) har varit en del av paragenesen, tillsammans med granat, klinopyroxen, kvarts, rutil och järnsulfid. Texturen tyder på att klinopyroxenen har varit omfacitisk och att phengit funnits i kvartsrika segregat.
- Strukturerna vid Skene tyder på att området har deformerats i samband med upplyftning och amfibolitfacies metamorfos av Östra Segmentet. Området saknar de östvägiga rörelseindikatorer som dominerar i vissa delar av södra Östra Segmentet.
- Bevarade granatzoneringar tyder på ett snabbt subduktions- och upplyftningsförlopp.

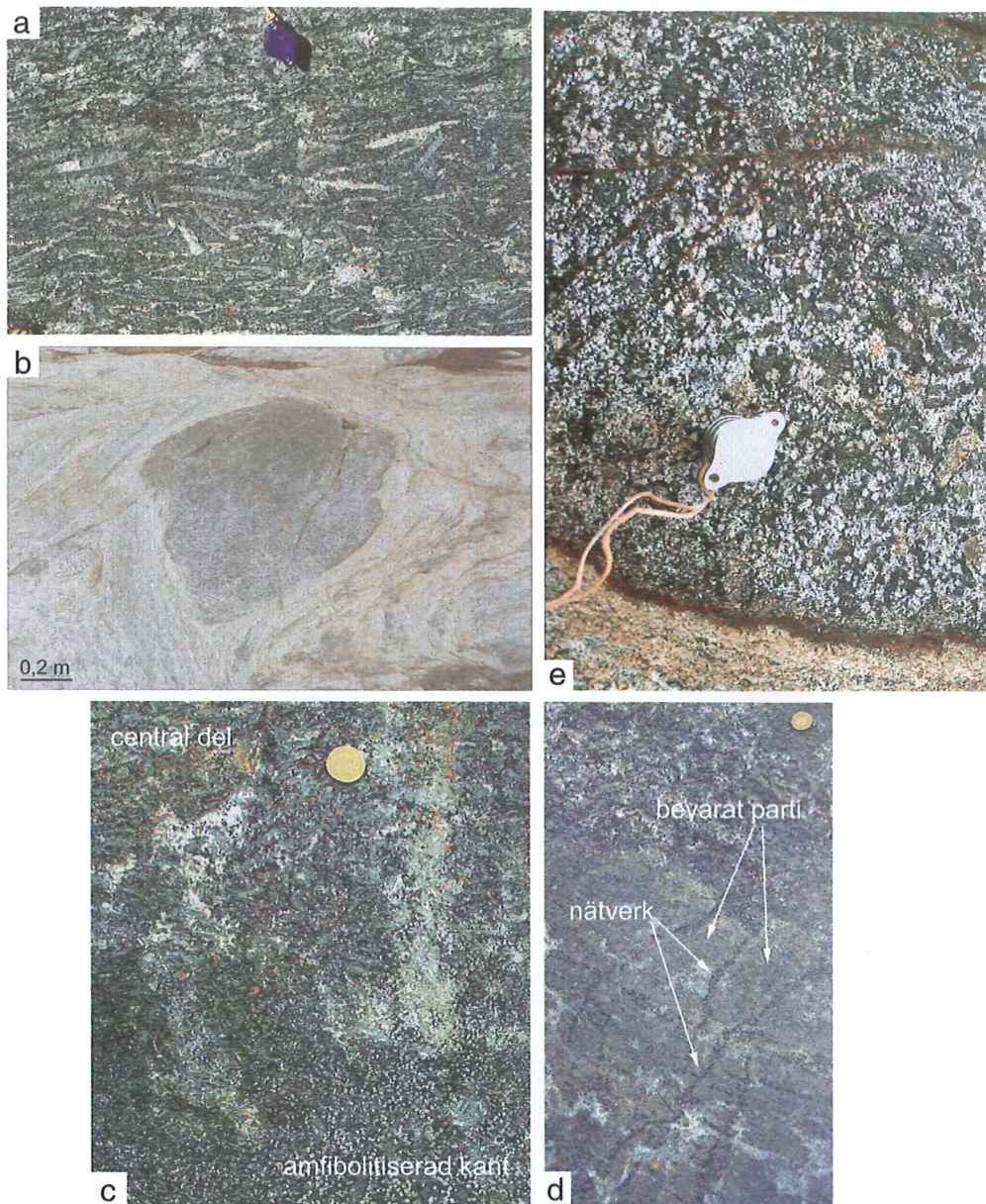
8. Tack

Jag vill tacka min handledare Charlotte "Lotta" Möller som hjälpt mig reda ut allehanda problem under arbetets gång. Jenny Andersson tackar jag för en inspirerande dag i fält och för presentationen av lokalen Skene Skog. Vid otaliga tillfällen har Takeshi Miyazu hjälpt mig vid elektronmikroskopet. Jag vill även tacka alla andra examensarbetare som givit mig flera intressanta geologiska diskussioner. Sist, men absolut inte minst, vill jag tacka Jan Rees som hjälpt mig på allehanda vis, bl a som fältassistent och med textredigering.

9. Referenser

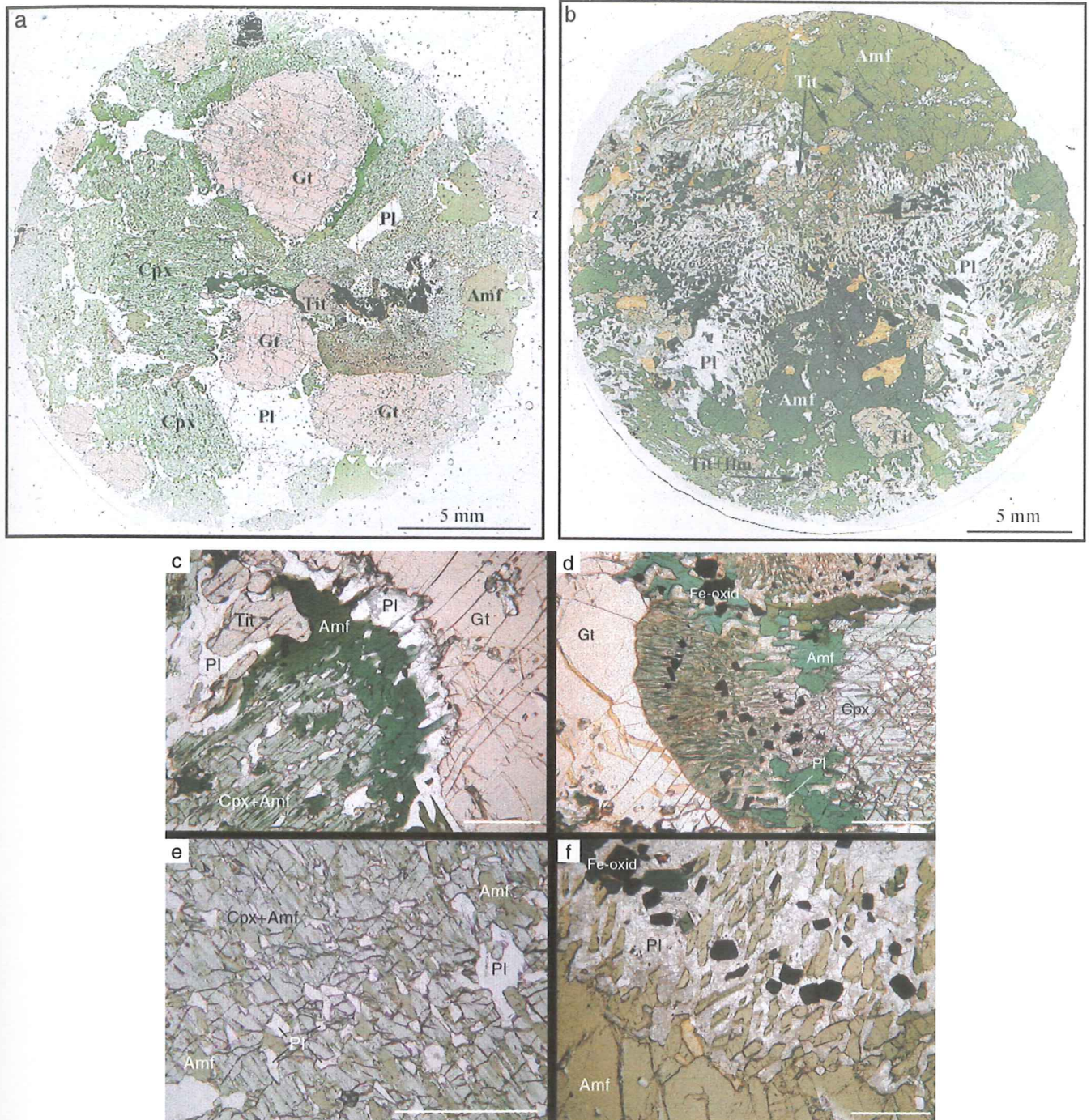
- Andersson, J., 2000. Sveconorwegian orogenesis in the southwestern Baltic Shield; Zircon geochronology and tectonothermal setting of orthogneisses in SW Sweden. Doktorsavhandling vid Lunds Universitet.
- Andersson J., Möller C., Johansson L. Zircon chronology of migmatite gneisses along the southwestern Mylonite Zone: a major Sveconorwegian terrane boundary in the Baltic Shield. Manuskript inskickat till *Precambrian Research* i april 2000.
- Berglund, J. 1997. Compressional and extensional ductile

- shearing along a terrane boundary in south-western Sweden. Ingår i *Mid-proterozoic evolution in South-Western Sweden*, doktorsavhandling vid Göteborgs Universitet, Sverige.
- Boland, J. N. & van Roermund H. L. M., 1983. Mechanisms of exsolution in omphacites from high temperature, type B eclogites. *Physics and chemistry of Minerals*, 9, 30-37
- Carswell, D. A., 1990: *Eclogite Facies Rocks*, Första upplagan, Blackie and Son Ltd, Glasgow, 396 sidor
- Christoffel, C.A., Connelly, J.N., Åhäll, K-I., 1999. Timing and characterization of recurrent pre-Sveconorwegian metamorphism and deformation in the Varberg-Halmstad region of SW Sweden. *Precambrian Research*, 98, 173-195
- Connelly, J.N., Berglund, J., Larson, S.Å., 1996. Thermotectonic evolution of the Eastern Segment of southwestern Sweden; tectonic constraints from U-Pb geochronology. I T.S. Brewer (redaktör), *Precambrian crustal Evolution in the North Atlantic region. Geological Society Special Publications*, 112, 297-313
- Connelly, J.N., Åhäll, K-I., 1996. The Mesoproterozoic cratonization of Baltica - new age constraints from SW Sweden. I T.S. Brewer (redaktör) *Precambrian Crustal Evolution in the North Atlantic region. Geological Society Special Publications*, 112, 261-273
- Droop, G. T. R., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51, 431-435
- Franz, G., Thomas, S., Smith, D. C., 1986. High-pressure phengite decompression in the Weissenstein eclogite, Münchberger Gneiss Massif, Germany. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 71-85
- Gasparik, T., Linsley, D. H., 1982. Phase equilibria at high pressures of pyroxenes containing monovalent and trivalent ions. I: *Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America*, 7, 309-339
- Green, D. H., Ringwood A. E., 1967. An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, 767-833
- Holland, T. J. B., 1989. The reaktion albite = jadeite+quartz determined experimentally in the range 600-1200°C. *American Mineralogist*, 65, 129-134
- Johansson, L., Lindh, A., Möller, C., 1991. Late Sveconorwegian (Grenville) high-pressure granulite facies metamorphism in southwest Sweden. *Journal of Metamorphic Geology*, 9, 283-292
- Leake, B. E., et al. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037
- Lundqvist, I. 1994. Map of solid rocks, 6B Kungsbacka SO. Sveriges Geologiska Undersökning, Af 187.
- Morimoto, N. (chairman), 1988. Nomenclature of pyroxenes. Subcommittee on Pyroxenes. *American Mineralogist*, 73, 1123-1133
- Möller, C., Andersson J., Söderlund U., Johansson L., 1997. A Sveconorwegian deformation zone (system?) within the Eastern Segment, Sveconorwegian orogen of SW Sweden – a first report. *GFF*, 119, 73-78
- Möller, C., 1998. Decompressed eclogites in the Sveconorwegian (-Grenvillian) orogen of SW Sweden: petrology and tectonic implications. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 641-656
- Möller, C., 1999. Sapphirine in SW Sweden: a record of Sveconorwegian (-Grenvillian) late-orogenic tectonic exhumation. *Journal of Metamorphic Geology*, 17, 127-141
- Möller, C., Söderlund, U., Johansson, L., Andersson, J., Söderlund, P., 2000. Eclogite and high-P granulites in the SE Sveconorwegian province – a structural–tectonic perspective. Abstract vid 24:e Nordiske Geologiske Vintermøte, 2000.
- Spear, F. S., 1993. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure- Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, Monograph, Washington, USA
- Stephens, M.B., Wahlgren C-H., Weijermars R., Cruden A. R., 1996. Left-lateral transpressive deformation and its tectonic implications, Sveconorwegian orogen, Baltic Shield, Southwestern Sweden. *Precambrian Research*, 79, 261-279
- Söderlund, U., Jarl, L-G., Persson, P-O., Stephens, M.B., Wahlgren, C-H., 1999. Protolith ages and timing of deformation in the eastern marginal part of the Sveconorwegian orogen, southwestern Sweden. *Precambrian Research*, 94, 29-48
- Söderlund, U., Möller C., Andersson J., Johansson L., 1999. Zircon in polymetamorphic and veined gneisses, SW Sweden: ion probe dating of 1.46-1.42 Ga and Sveconorwegian (Grenvillian) reworking. Ingår i Söderlund U. 1999, *Geochronology of Tectonothermal Events in the Parautochthonous Eastern Segment of the Sveconorwegian (Grenvillian) Orogen, Southwestern Sweden*, doktorsavhandling vid Lunds Universitet, Sverige.
- Wang, X., Lindh, A., 1996. Temperature-pressure investigation of the southern part of the Southwest Swedish Granulite Region. *European Journal of Mineralogy*, 8, 51-67
- Wahlgren, C.H., Cruden, A.R., Stephens, M.B., 1994. Kinematics of a major fan-like structure in the eastern part of the Sveconorwegian orogen, Baltic Shield, south-central Sweden. *Precambrian Research*, 70, 67-91
- Åhäll, K-I., Larson, S-Å., 2000. Growth-related 1.85-1.55 Ga magmatism in the Baltic Shield; a review addressing the tectonic characteristics of Svecofennian, TIB 1-related, and Gothian events. *GFF*, 122, 193-206
- Åhäll, K-I., 1995. Crustal units and role of the Mylonite Zone system in the Varberg-Horred region, SW Sweden. *GFF*, 117, 185-198



Plansch 1

- a) En nordvästlig-sydostlig mineralorientering, definierad av grön klinopyroxen och vit kvarts+ plagioklas, i en mafisk lins (lokala Asfaltverket). Luppen är 3 cm bred.
- b) Lins av metabasit innesluten i Skenegnejs. Det något mörkare partiet i övre delen av linsen är delvis bevarad högtrycksparagenes. Övriga delar av linsen har helt retrograderats under den sena amfibolitiseringen.
- c) Fotografi över den norra kanten av lins A. Den centrala delen med bevarad högtrycksparagenes övergår till granatfri amfibolit. De ljusa partierna är segregat som domineras av plagioklas, kvarts och biotit. Myntet har en diameter på 2 cm.
- d) Nätverkstextur i centrala delen av lins A. Skalngivelsen är samma som ovan.
- e) Kanten av lins A är helt amfibolitiserad. De ljusa områdena (plagioklas, hornblände, järnoxid och titanit) är pseudomorfer efter granat. De mörkare områdena domineras av hornblände, som ersatt klinopyroxen. Luppen är 3 cm bred.



Plansch 2

- a) Prov SK2B:1 visar en välbevarad del av högtrycksparagenesen i metabasiten. Provet domineras av granat (Gt) och klinopyroxen (Cpx). Det innehåller även plagioklas (Pl), titanit (Tit) och amfibol (Amf). Strax nedanför mitten av provet, till höger, finns opak järnsulfid. Den största granatkristallen har bevarad zonerings, vilken beskrivs i figur 5a. Runt densamma finns en textur, beskriven som koronatyp 1. Mellan granatkristallen nere till höger och järnsulfid syns den symplektitiska koronatyp 2.
- b) Granatfri amfibolit i prov SK1A domineras av amfibol (Amf), plagioklas (Pl), titanit (Tit) och järnoxid. De ljusa partierna där plagioklas dominerar är områden där granat funnits tidigare. De stora amfibolkristallerna har ersatt klinopyroxen. De gulaktiga områdena består av mycket finkornig klorit.
- c) I koronatyp 1 utgörs texturen av plagioklas närmast granat och amfibol mot klinopyroxen.
- d) Koronatyp 2 är en symplektitisk textur av amfibol, plagioklas och järnoxid (Fe-oxid).
- e) Nätverk av klinopyroxen där plagioklas och amfibol bildats vid nedbrytningen. Texturen är en typisk nedbrytningstextur efter omfacit.
- f) I de yttre delarna av lins A har de nedbrytande reaktionerna gått betydligt längre. Texturen är en långt gången koronatextur där både granat och klinopyroxen försvunnit. Övre delen av bilden är en pseudomorf efter granat. Samtliga skalstreck i bilderna c-f motsvarar 1 mm.

Tidigare skrifter i serien "Examensarbeten i Geologi vid Lunds Universitet":

63. Pålsson, Christian, 1995: Middle-Upper Ordovician trilobites and stratigraphy along the Kyrkbäcken rivulet in the Röstånga area, southern Sweden.
64. Gustafson, Lars, 1995: Senkvartär stratigrafi och utveckling i Örseryd, mellersta Blekinge.
65. Gichina, Boniface M., 1995: Early Holocene water level changes as recorded on the island of Senoren, eastern Blekinge, southeastern Sweden.
66. Nilson, Tomas, 1996: Process- och miljötolkning av sedimentationen i en subglacial läsideskavititet, Järnavik, S. Blekinge.
67. Andersson, Jenny, 1996: Sveconorwegian influence on the ca. 1.36 Ga old Tjärnesjö granite, and associated pyroxene bearing quartz-monzonites in southwestern Sweden.
68. Olsson, Ingela, 1996: Sedimentology of the Bajocian Fuglunda Member at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
69. Calner, Hanna, 1996: Trace fossils from the Paleocene-Middle Eocene Monte Sporno flysch complex, Northern Apennines, Italy.
70. Calner, Mikael, 1996: Sedimentary structures and facies of fine grained deep-water carbonate turbidites in a Paleocene-Middle Eocene flysch complex, Monte Sporno, Northern Apennines, Italy.
71. Hesbøl, Ros-Mari, 1996: Retrograded eclogites of the Richarddalen Complex, NW Svalbard - Petrology and P/T-conditions.
72. Eriksson, Mats, 1996: Lower Silurian polychaetaspid and ramphoprioid polychaetes from Gotland: aspects on taxonomy and palaeoecology.
73. Larsson, Daniel, 1996: Proterozoic hydrothermal alteration and mineralization along the Protogine Zone in southern Sweden.
74. Rees, Jan, 1996: A new hybodont shark fauna from the Upper Jurassic Vitabäck Clays at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
75. Bengtsson, Fredrik, 1996: Paleomagnetisk undersökning av senpaleozoiska gångbergarter i Skåne; Kongadiabas, melafyr och kullait.
76. Björngreen, Maria, 1996: Kontrollprogram vid avfallsupplag - en utvärdering.
77. Hansson, Anders, 1996: Adaptations and evolution in terrestrial carnivores.
78. Book, Jenny, 1996: A Light Microscopy and Scanning Electron Microscopy study of coccoliths from two bore holes along the City Tunnel Line in Malmö, Sweden.
79. Broström, Anna, 1996: The openness of the present-day landscape reflected in pollen assemblages from surface sediments in lakes - a first step towards a quantitative approach for the reconstruction of ancient cultural landscapes in south Sweden.
80. Paulsson, Oskar, 1996: Sevekomplexets utbredning i norra Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
81. Sandelin, Stefan, 1997: Tektonostratigrafi och protoliter i Mårma-Vistasområdet, Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
82. Meyerson, Jacob, 1997: Uppermost Lower Cambrian - Middle Cambrian stratigraphy and sedimentary petrography of the Almbacken drill-core, Scania, southern Sweden.
83. Åkesson, Mats, 1997: Moränsedimentologisk undersökning och bestämning av postglacialt bildade järn- och manganminerall i en drumlinformad rygg.
84. Ahlgren, Charlotte, 1997: Late Ordovician communities from North America.
85. Strömberg, Caroline, 1997: The conodont genus *Ctenognathodus* in the Silurian of Gotland, Sweden.
86. Borgenlöv, Camilla, 1997: Vätskeinklusioner som ledtrådar till bildningsmiljön för Bølets manganmalm, Västergötland, södra Sverige.
87. Mårtensson, Thomas, 1997: En petrografisk och geokemisk undersökning av inneslutningar i Nordingrågraniten.
88. Gunnemyr, Lisa, 1997: Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten - en geologisk och hydrogeologisk studie av Strömsholmsåsen, Hallstahammar, Västmanland.
89. Antonsson, Christina, 1997: Inventering, hydrogeologisk klassificering samt bedömning av hydrogeologisk påverkan av våtmarksområden i samband med järnvägstunnelbyggnation genom Hallandsåsen, NV Skåne.
90. Nordborg, Fredrik, 1997: Granens markpåverkan - en studie av markkemi, jordmånsbildning och lermineralogi i gran- och lövskogsbestånd i södra Småland.
91. Dobos, Felicia, 1997: Pollen-stratigraphic position of the last Baltic Ice Lake drainage.
92. Nilsson, Johan, 1997: The Brennvinnsfjorden Group of southern Botniahalvøya, Nordaustlandet, Svalbard - structure, stratigraphy and depositional environment.
93. Tagesson, Esbjörn, 1998: Hydrogeologisk studie av grundvattnets kloridhalter på östra Listerlandet, Blekinge.
94. Eriksson, Saskia, 1998: Morängenetiska undersökningar i klintar vid Greifswalder Boddens södra kust, NÖ Tyskland.
95. Lindgren, Johan, 1998: Early Campanian mosasaurs (Reptilia; Mosasauridae) from the Kristianstad Basin, southern Sweden.
96. Ahnesjö, Jonas, B., 1998: Lower Ordovician conodonts from Köpings klint, central

- Öland, and the feeding apparatuses of *Oistodus lanceolatus* Pander and *Acodus deltatus* Lindström.
97. Rehnström, Emma, 1998: Tectonic stratigraphy and structural geology of the Ålkatj-Tielma massif, northern Swedish Caledonides.
 98. Modin, Anna-Karin, 1998: Distributionen av kadmium i moränmark kring St. Olof, SÖ Skåne.
 99. Stockfors, Martin, 1998: High-resolution methods for study of carbonate rock: a tool for correlating the sedimentary record.
 100. Zillén, Lovisa, 1998: Late Holocene dune activity at Sandhammaren, southern Sweden-chronology and the role of climate, vegetation, and human impact.
 101. Bernhard, Maria, 1998: En paleoekologisk-paleohydrologisk undersökning av våtmarkskomplexet Rolands hav, Blekinge.
 102. Carlemalm, Gunnar, 1999: En glacialgeologisk studie av morän och moränfyllda sprickor i underliggande sandersediment, Örsjö, Skåne.
 103. Blomstrand, Malou, 1999: 1992-1998 Seismicity and Deformation at Mt. Eyjafjallajökull volcano, South Iceland.
 104. Dahlqvist, Peter, 1999: A Lower Silurian (Llandoveryan) halysitid fauna from the Berge Limestone Formation, Norderön, Jämtland, central Sweden.
 105. Svensson, Magnus A., 1999: Phosphatized echinoderm remains from upper Lower Ordovician strata of northern Öland, Sweden - preservation, taxonomy and evolution.
 106. Bengtsson, Anders, 1999: Trilobites and bradoriid arthropods from the Middle and Upper Cambrian at Gudhem in Västergötland, Sweden.
 107. Persson, Christian, 1999: Silurian graptolites from Bohemia, Czech Republic.
 108. Jacobson, Mattias, 1999: Five new cephalopod species from the Silurian of Gotland.
 109. Augustsson, Carita, 1999: Lapillituff som bevis för underjurassisk vulkanism av strombolikaraktär i Skåne.
 110. Jensen, Sigfinn J., 1999: En silurisk transgressiv karbonatlagerföljd vid S:t Olofsholms stenbrott, Gotland.
 111. Lund, Mats G., 1999: En strukturgeologisk modell för berggrunden i Sarvesvage-Luotatalako-området, Sareks Nationalpark, Lappland.
 112. Magnusson, Jakob, 1999: Exploration of submarine fans along the Coffee Soil Fault in the Danish Central Graben.
 113. Wickström, Jenny, 1999: Conodont biostratigraphy in Volkhovian sediments from the Mäekalda section, north-central Estonia.
 114. Sjögren, Per, 1999: Utmarkens vegetationsutveckling vid Ire i Blekinge, från forntid till nutid - en pollenanalytisk studie.
 115. Sälgeback, Jenny, 1999: Trace fossils from the Permian of western Dronning Maud Land, Antarctica.
 116. Söderlund, Pia, 1999: Från gabbro till granatamfibolit. En studie av metamorfos i Åkermetabasiten väster om Protoginzonen, Småland.
 117. Jönsson, Karl-Magnus, 2000: Sedimentologiska och litostratigrafiska undersökningar i södra Malmös kvartära avlagringar, södra Sverige.
 118. Romberg, Ewa, 2000: En sediment- och biostratigrafisk undersökning av den tidigare Littorina-lagunen vid Barsebäck, SV Skåne, med beskrivning av en Preboreal klimatoscillation.
 119. Bergman, Jonas, 2000: Skogshistoria i Söderåsens nationalpark. En pollenanalytisk studie i Söderåsens nationalpark, Skåne.
 120. Lindahl, Anna, 2000: En paleoekologisk och paleohydrologisk studie av fuktängar i Bräkneåns dalgång, Bräkne-Hoby, Blekinge.
 121. Eneroth, Erik, 2000: En paleomagnetisk detaljstudie av Sarekgångsvärmen.
 122. Terfelt, Fredrik, 2000: Upper Cambrian trilobite faunas and biostratigraphy at Kakeled on Kinnekulle, Västergötland, Sweden.
 123. Sundberg, Sven Birger, 2000: Vattenrening genom komplexbildning mellan järn och humusämnen - en litteraturstudie med försök
 124. Sundberg, Sven Birger, 2000: Sedimentationsprocesser och avlagringsmiljö för en kantrygg kring platåleran vid Rydsgårds gods i backlandskapet söder om Romeleåsen, Skåne
 125. Kjällerström, Anders, 2000: En geokemisk studie av bergartsvariationen på Bullberget i västra Dalarna.
 126. Cinthio, Kajsa, 2000: Senglacial och tidigholocen etablering och expansion av lövträd på en lokal i nordvästra Rumänien.
 127. Lamme, Sara, 2000: Klimat- och miljöförändringar under holocen i Sylarnaområdet, södra svenska Skanderna, baserat på analys av makrofossil och klyvöppningar.
 128. Jönsson, Charlotte, 2000: Geologisk och hydrogeologisk modellering av området mellan Bjuv och Söderåsen, nordvästra Skåne.
 129. Kleman, Johan, 2001: Utvärdering av den underkambriska litostratigrafin på Österlen, södra Sverige.
 130. Sundler, Malin, 2001: En jämförande studie mellan uppmätt och MACRO-simulerad pesticidutlakning på ett odlingsfält i Skåne.
 131. Grönholm, Anna, 2001: Högtrycksmetabasiter i den södra delen av Mylonitzonen: fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling.