

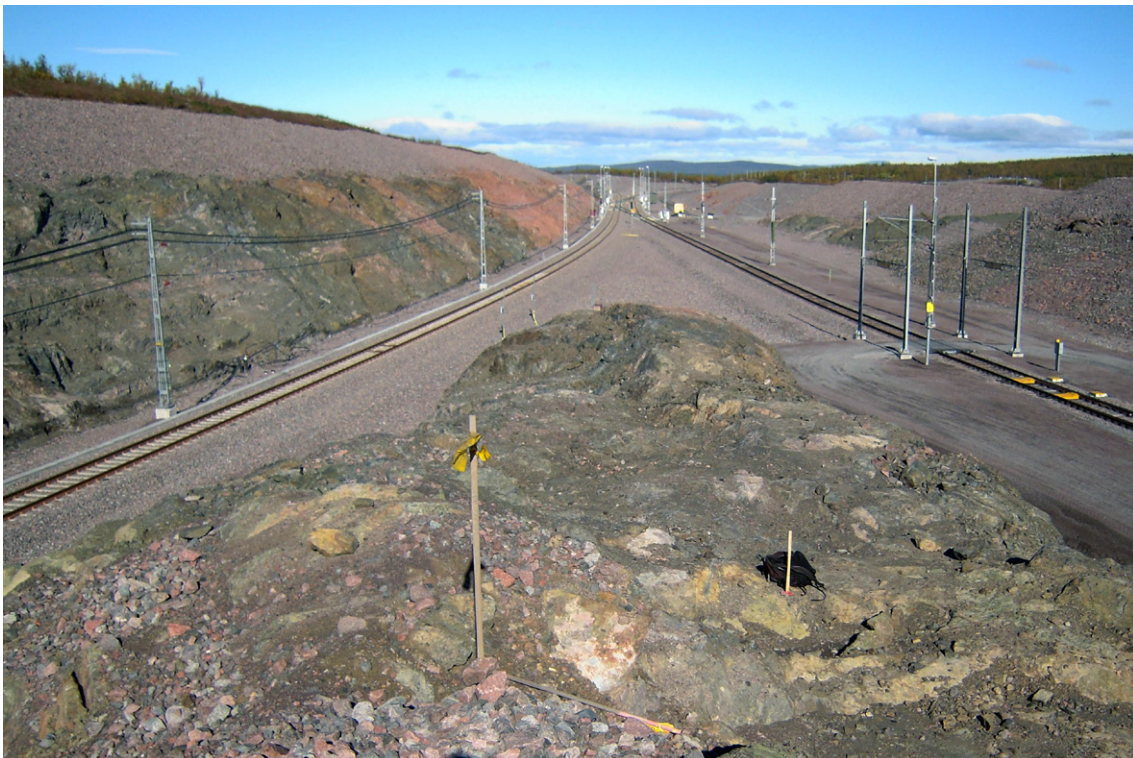
BARENTSPROJEKTET 2013

Geologisk inventering av nya järnvägsskärningar väster om Kiruna

Daniel Larsson

februari 2014

SGU-rapport 2014:06



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Vy mot norr. I förgrunden finns epidot-
omvandlat konglomerat. Till vänster om järnvägen
syns basalt och gångar av granit. Foto: Daniel Larsson.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning	4
Zon 1	4
Fältobservationer	4
Observationer i tunnslip	9
Zon 2	9
Fältobservationer	9
Lagrade bergarter	10
Observationer i tunnslip	11
Zon 3	11
Fältobservationer	11
Granit	11
Hydrotermalt omvandlad granit	11
Basalt	13
Koppar-guldmineralisering	13
Lagrade bergarter	14
Observationer i tunnslip	15
Granit	15
Hydrotermalt omvandlad granit	15
Basalt	15
Koppar-guldmineralisering	15
Zon 4	17
Fältobservationer	17
Konglomerat och lagrade bergarter	17
Porfyr och fragmentförande bergart	17
Observationer i tunnslip	17
Konglomerat	17
Porfyr	18
Fragmentförande bergart	19

INLEDNING

Under september 2012 avsattes fem dagar för en inventering av nya järnvägsskärningar strax väster om sjön Luossajärvi i Kiruna. Sammanlagt 63 observationer gjordes på en sträcka av ca 1,5 km (fig. 1). Observationer gjordes huvudsakligen i skärningarna på järnvägens västra sida och endast enstaka observationer gjordes på motstående sida där skärningar förekommer endast sporadiskt.

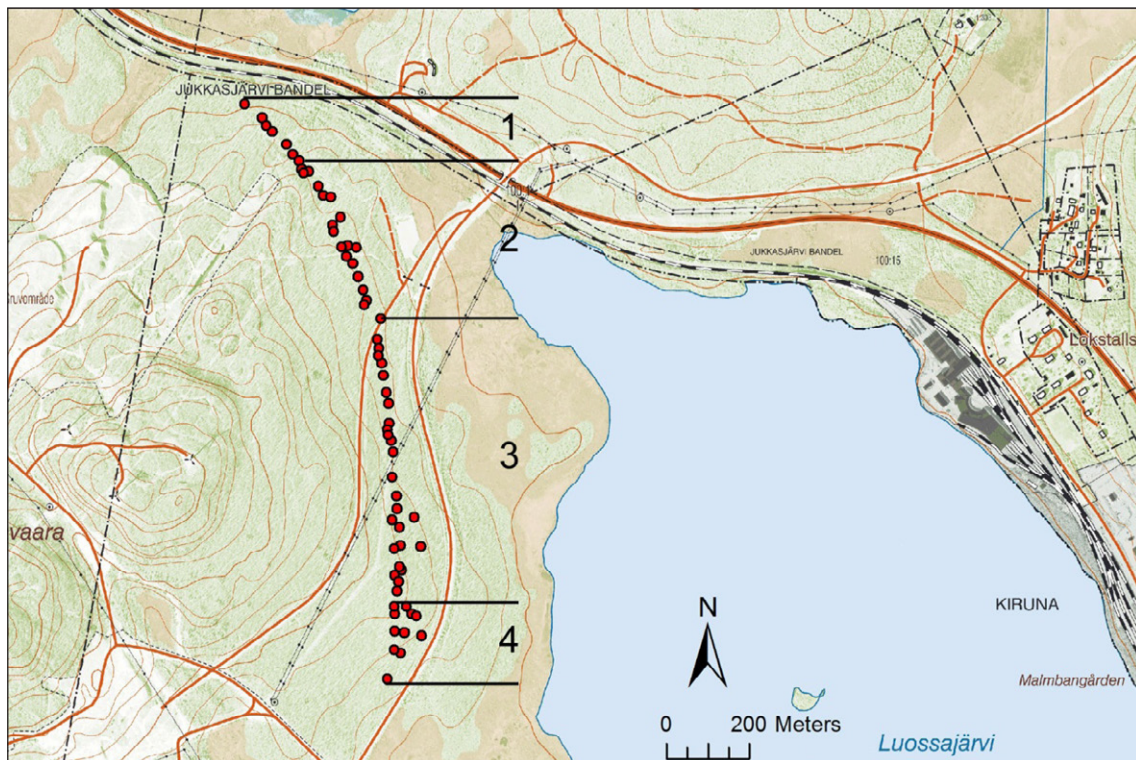
På grund av strömförande ledningar var det ofta omöjligt att göra trovärdiga kompassmätningar av strukturer. Endast i vissa fall kunde mätningar göras på betryggande avstånd från element som stör kompassen. Dessutom är kompassmätningar av strukturer i magnetitrik basalt och konglomerat inte helt tillförlitliga då susceptibiliteten ställvis uppgår till ca $50\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter.

Följande redovisning är begränsad till fältbeskrivning av bergarter, strukturer, hydrotermal-omvandlingar och mineraliseringar samt beskrivningar av tunnslip. Presentation av våtkemiska analyser görs av ett antal bergatsprover som kan betraktas som typiska för det undersökta området (tabell 1 och 2). Då geologin varierar längs hela sträckan har en uppdelning i fyra zoner gjorts (fig. 1). Den följande redogörelsen börjar med beskrivning av geologin i nordvästligaste delen av den nya järnvägssträckans skärningar (zon 1) och slutar med den sydligaste delen av skärningarna (zon 4).

ZON 1

Fältobservationer

De första 150 metrarna i den nordvästligaste delen består huvudsakligen av mycket finkorniga, grå till svarta, lagrade bergarter. En lagrad, svart sulfidförande enhet, som är 2–3 m tjock och



Figur 1. Observationer gjorda i järnvägsskärningar (röda symboler) längs den ca 2 km långa sträckan med ny järnväg väster om Kiruna stad (den nya järnvägen finns inte med på kartan). Beskrivningen är uppdelad i fyra delar (zon 1 till zon 4).

Tabell 1. Kemisk sammansättning av bergarter och mineralisering. Huvudelement har analyserats med ICP-AES och spårelement med ACP-MS efter uppslutning i litiummeta-boratsmälta. As, Bi, Hg, Sb, Se och Te har analyserats efter uppslutning i kungsvatten.

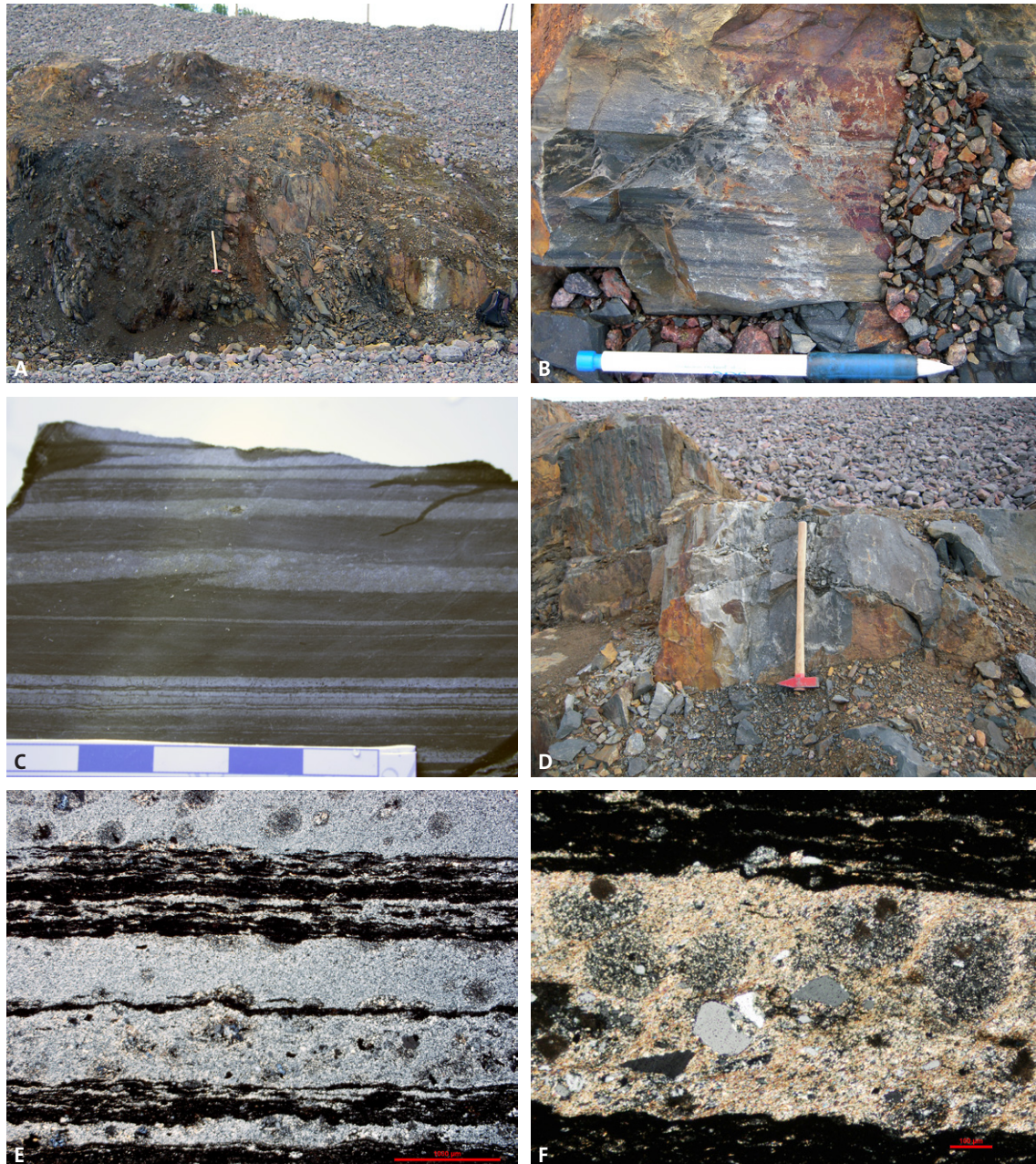
Prov	DLA120085C	DLA120087K	DLA120090K	DLA120098K	DLA120114K	DLA120115K	DLA120120K	DLA120127K
Bergart	Metasediment	Diabas eleir basalt	Diabas eller basalt	Diabas eller basalt	Granit	Kuddlava	Mineralisering	Kuddlava
SiO ₂	% 60,4	49,7	50,9	55,4	76,2	50,7	53	48,2
Al ₂ O ₃	% 14,7	13,85	14,5	11,5	11,2	13,35	6,61	13,85
Fe ₂ O ₃	% 7,84	15,2	12,7	11,3	3,55	13,15	11,1	18,55
CaO	% 2,34	8,07	11	9,37	0,23	10,9	9,2	6,24
MgO	% 3,51	7,39	6,38	6,82	0,1	5,97	2,46	4,54
Na ₂ O	% 1,35	3,22	2,92	3,74	3,61	3,76	4,12	4,85
K ₂ O	% 4,14	1,6	0,27	0,43	4,74	0,38	0,08	1,88
Cr ₂ O ₃	% 0,02	0,03	0,04	0,03	<0,01	0,02	<0,01	0,02
TiO ₂	% 0,7	1,09	1,1	1,42	0,18	1,21	0,43	1,24
MnO	% 0,15	0,29	0,26	0,28	0,01	0,16	0,2	0,16
P ₂ O ₅	% 0,07	0,09	0,08	0,12	0,03	0,09	0,05	0,03
SrO	% 0,01	0,02	0,02	0,01	<0,01	0,05	0,01	0,03
BaO	% 0,11	0,03	0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,07
C	% 3,27	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	3,02	0,04
S	% 0,43	0,04	0,06	0,24	0,07	0,21	1,77	0,01
Ba	ppm 913	247	55,6	94,6	167,5	27,5	30,7	573
Ce	ppm 37,3	7,9	8,5	13,9	64,8	27,1	119	127,5
Cr	ppm 150	270	290	230	30	180	30	200
Cs	ppm 3,61	1,4	0,08	0,08	0,12	0,18	0,08	0,77
Dy	ppm 3,52	3,58	3,51	3,97	6,94	3,77	6,5	4,82
Er	ppm 2,09	2,24	2,2	2,65	4,7	2,43	4,28	3,09
Eu	ppm 1,02	0,75	0,79	0,99	0,63	1,05	1,04	0,97
Ga	ppm 22	18,6	18,6	15,9	24,1	17,5	16	18
Gd	ppm 3,73	2,97	2,89	3,29	6,17	3,13	7,1	4,73
Hf	ppm 4	1,8	1,7	2,4	13,3	2	9,9	1,9
Ho	ppm 0,74	0,8	0,77	0,89	1,52	0,83	1,38	1,02
La	ppm 18,8	3,2	3,2	5,7	27,2	15,8	55,8	79,1
Lu	ppm 0,27	0,33	0,34	0,44	0,8	0,37	0,83	0,56
Nb	ppm 8,3	3,4	3,3	5,1	21,5	4,1	13,5	4,7
Nd	ppm 18,8	7	6,6	9,8	32,2	10,1	52	35,2

Prov	DLA120085C	DLA120087K	DLA120090K	DLA120098K	DLA120114K	DLA120115K	DLA120120K	DLA120127K
Pr	4,77 ppm	1,34	1,3	2,07	8,24	2,74	14,25	11,75
Rb	173 ppm	106,5	4,5	14,5	96,3	20,3	2,7	101
Sm	3,92 ppm	2,41	2,28	2,9	6,61	2,42	9,3	5,23
Sn	1 ppm	1	1	<1	2	1	4	4
Sr	45,9 ppm	149,5	189,5	114	15,6	407	71,3	295
Ta	0,5 ppm	0,2	0,2	0,3	2,1	0,3	2	0,4
Tb	0,58 ppm	0,54	0,52	0,59	1,1	0,59	1,11	0,77
Th	3,42 ppm	0,4	0,35	0,84	20	0,41	10,05	1,11
Tl	<0,5 ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tm	0,29 ppm	0,34	0,32	0,4	0,76	0,37	0,67	0,5
U	1,67 ppm	0,14	0,1	0,17	3,76	0,56	2,1	3,46
V	156 ppm	347	362	400	15	347	89	384
W	1 ppm	1	<1	<1	2	1	19	<1
Y	20,6 ppm	21,2	20,4	23,8	43,8	23,9	40,9	32,6
Yb	1,9 ppm	2,21	2,16	2,78	5,07	2,36	4,76	3,37
Zr	149 ppm	60	59	86	469	64	283	63
As	0,5 ppm	4,3	1,5	1,1	0,4	1,1	2	0,7
Bi	0,08 ppm	0,15	0,03	0,02	0,03	0,09	0,06	0,02
Hg	0,005 ppm	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,007	<0,005
Sb	0,19 ppm	0,07	<0,05	0,06	<0,05	0,11	<0,05	<0,05
Se	1,7 ppm	0,5	0,4	0,9	0,7	0,5	4,2	0,9
Te	0,08 ppm	0,02	<0,01	0,01	0,01	0,02	0,93	0,01
LOI	4,97 %	1,35	0,8	0,88	0,52	1,29	7,93	1,16
Total	100,31 %	101,93	100,98	101,31	100,39	101,03	95,19	100,82

Tabell 2. Kemisk sammansättning av bergarter och mineralisering. Uppslutning i kungsvatten. Ädelmetaller är analyserade med "fire assay" och ICP-AES. Litium är analyserat med ICP-AES efter uppslutning i fyra syror.

Prov	DLA120085C	DLA120087K	DLA120090K	DLA120098K	DLA120114K	DLA120115K	DLA120120K	DLA120127K
Bergart	Metasediment	Diabas eller basalt	Diabas eller basalt	Diabas eller basalt	Granit	Kuddlava	Mineralisering	Kuddlava
Ag	ppm <0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cd	ppm <0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Co	ppm 14	50	47	45	5	52	98	25
Cu	ppm 152	69	58	216	27	50	8900	7
Mo	ppm <1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1
Ni	ppm 34	103	97	60	1	68	13	66
Pb	ppm 13	9	6	<2	<2	<2	<2	<2
Sc	ppm 17	42	43	40	1	42	19	44
Zn	ppm 367	327	181	143	6	37	8	86
Au	ppm 0,002	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,552	<0,001
Pt	ppm <0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,006	<0,005	0,007
Pd	ppm 0,006	0,004	0,003	0,003	0,001	0,006	<0,001	0,009
Li	ppm 50	40	10	10	<10	10	<10	40

brunrostig med mycket hög halt av grafit, utgör en distinkt avvikelse i sekvensen (fig. 2a). Lagren är tydligt avgränsade och mestadels någon millimeter upp till en centimeter i tjocklek, men lagertjocklekar på några decimeter förekommer (fig. 2b). De olika lagrens färgnyanser tycks orsakas av mängden grafit och sekundärt av kornstorleksskillnader. Prov av en lagrad sekvens togs för kemisk analys (DLA120085C, tab. 1). I övrigt förekommer finkorniga till fint medelkorniga diabasgångar med xenoliter av sidoberget och med mycket finkorniga kylda kontakter. Diabasgångarna är upp till 3 m tjocka och är parallella med sedimentär lagring (fig. 2d). Ett prov av



Figur 2. Lagrade bergarter och diabaser i zon 1. A. Anomalt grafitrik lagrad sekvens till vänster och lagrad bergart av typiskt utseende till höger. B. Lagrad sekvens. C. Sågad stuff av lagrad sekvens. Mörka lager är grafitrika. D. Kontakt mellan lagrad bergart och diabas (lagergång). E. Mikroskopbild av lagrad sekvens med grafitrika lager varvade med grafitfattiga lager (korsade polarisatorer, skalstrecket är en 1 mm). F. Ljust lager med kantiga korn av kvarts (korsade polarisatorer, skalstrecket är 0,1 mm).

diabas togs för kemisk analys (DLA120087K, tab. 1 och 2). Bergartskontakterna och lagringarna stryker i nordostlig–sydvästlig riktning. Stupningar varierar 20 grader och har en genomsnittlig vertikal stupning. Mindre skjuvzoner som stryker i nord–sydlig riktning förekommer i den lagrade sekvensen. Susceptibilitetsmätningar i de lagrade bergarterna gav resultat mellan 10×10^{-5} och 360×10^{-5} SI-enheter. Då lagren generellt är tunna gjordes enskilda mätningar över flera lager.

Observationer i tunnslip

I tunnslip av en lagrad sekvens, där lagertjockleken varierar från någon millimeter upp till 5 mm, syns en svag antydning till krenulering av en tidigare foliation. Krenuleringen definieras huvudsakligen av grafit i de mörkare lagren.

Ljusa lager består generellt av en mycket finkornig grundmassa av ljust brun biotit och färglösa mineral som har grå interferensfärger men är alltför små för att identifieras korrekt. Sannolikt består de färglösa mineralen av en blandning av kvarts och fältspat. I övrigt varierar mineralsammansättningen i de olika ljusa lagren. I en del förekommer runda ”bollar” bestående av liknande mineralsammansättning som i grundmassan men med en betydligt lägre halt av biotit (fig. 2e). I några lager förekommer finkorniga, kantiga och trasiga såväl som rundade korn av kvarts samt rundade bergartsfragment jämnt fördelade i grundmassan (fig. 2f). Bergartsfragmenten består av kvarts och fältspat. I ett av de ljusa lagren förekommer ilmenit med mycket finkorniga koronor av ett färglöst mineral med hög relief och skarpa interferensfärger. Ställvis förekommer i de ljusa lagren aggregat bestående av finkornig, euhedral till subhedral zoisit och anhedral kvarts, magnetkis och kopparkis. Denna mineralassociation förekommer även i sprickor som klipper lagringen. Mörka lager domineras av grafit och en svagt grönfärgad glimmer i linsformade aggregat. Trasiga, kantiga korn av kvarts liknande de som finns i ljusa lager förekommer sparsamt.

ZON 2

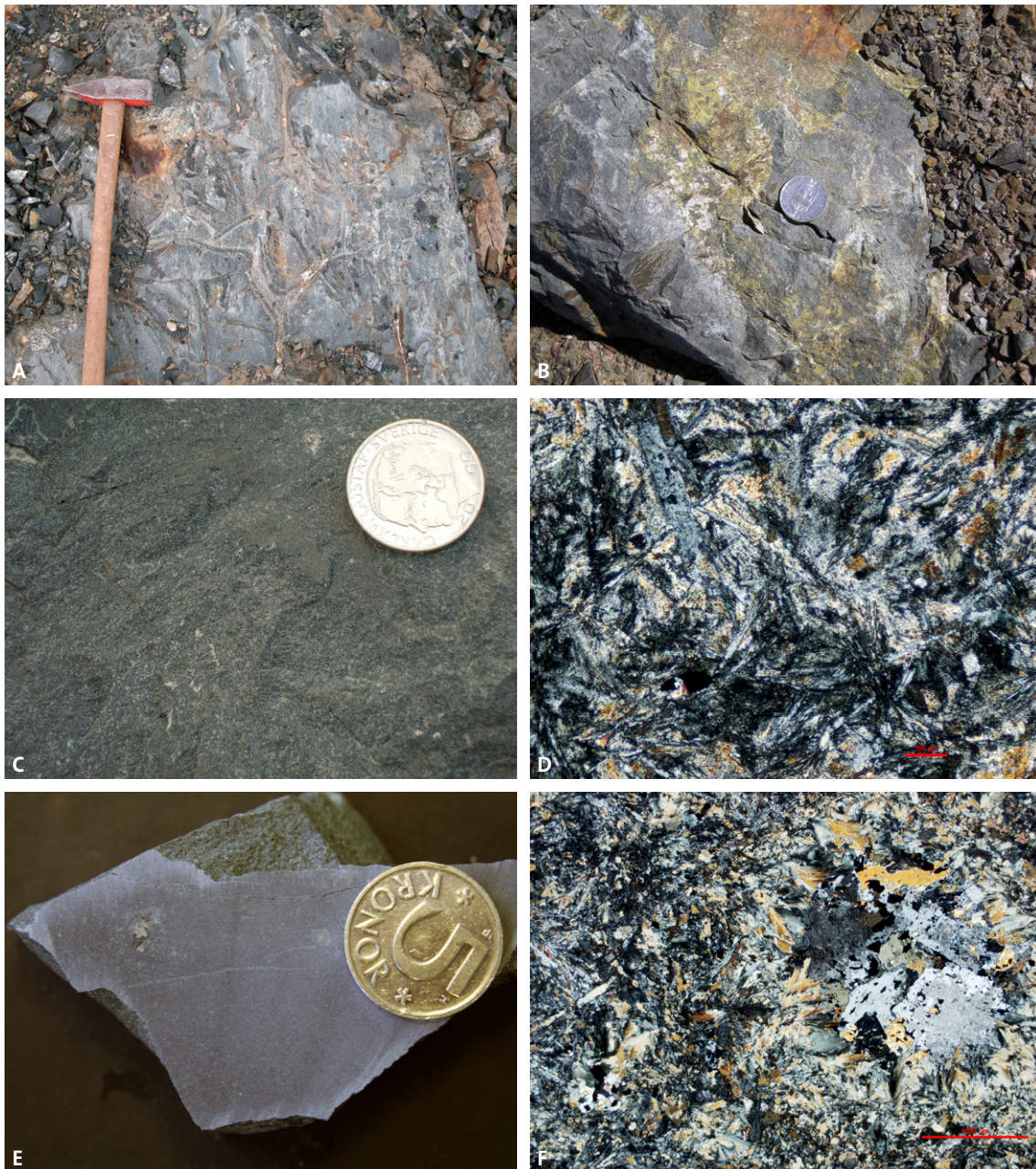
Fältobservationer

Efter zon 1 följer en sträcka på ca 400 m (fig. 1) som domineras av basalt och diabas. Kuddlava förekommer sporadiskt längs hela zonen (fig. 3a). Frånvaro av kuddlava utesluter inte ett extrusivt ursprung. Ett säkert särskiljande mellan diabas och basalt är därför svårt. Några kontakter mellan dessa bergarter har inte noterats. En del av bergarterna bedömdes i fält som andesitiska. Samtliga bergarter är mer eller mindre omvandlade. De svagt omvandlade innehåller sekundär amfibol och saussuritiserad fältspat och de mer intensivt omvandlade innehåller avsevärda mängder epidot, sulfider och magnetit. I kuddlava är det framför allt hyaloklastit mellan kuddarna som är intensivt omvandlad. Lokalt ser basalten ut som omkristalliserad hyaloklastit med fläckvis förekomst av epidot, sulfider och magnetit utan att några kuddstrukturer syns. Basalten är ställvis även breccierad med epidotrikt matrix eller epidotrika fragment (fig. 3b).

Amygduler är vanligt förekommande. Dessa innehåller normalt amfibol, karbonat, epidot, magnetit och kvarts. Eventuellt utgörs en del av de amygdulliknande förekomsterna snarare av rundade bergartsfragment.

Epidotläkta sprickor förekommer längs hela zonen. Observerbara mängder av sulfidmineral och amfibol förekommer ställvis tillsammans med epidot. På ett par ställen observerades epidot tillsammans med molybdenglans. Lokalt förekommer karbonatläkta sprickor med mindre mängd kopparsulfider. Ett vitt, prismatiskt mineral som ställvis utgör sprickfyllnad provtogs för vidare analys. Det har enligt XRF-analys en sammansättning som liknar skapolit.

Två prov av relativt välbevarad diabas togs för våtkemisk analys (DLA120090K, fig. 3c–d och DLA120098K, fig. 3e–f, tab. 1 och 2). I norra delen av zonen är susceptibiliteten i basalt el-



Figur 3. Bergarter i zon 2. A. Kuddlava. B. Fragmenterad basalt. C. Svagt omvandlad finkornig basalt eller diabas (DLA120090A). D. Mikroskopbild av DLA120090A. Korsade polarisatorer. Det röda skalstrecket är 0,1 mm. E. Finkornig basalt eller diabas med amygduler (DLA120098A). F. Mikroskopbild av DLA120098A. Amygdulen i högra halvan av bilden består av amfibol, fältspat, klorozoisit, magnetkis och kopparkis. Det röda skalstrecket är 1 mm.

ler diabas lägre än 200×10^{-5} SI-enheter och i mellersta och södra delen når den ställvis upp till ca $10\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter.

Lagrade bergarter

Även i zon 2 förekommer sedimentärt lagrade sekvenser liknande de i zon 1, men underordnat. De är en halv meter till ca 10 m tjocka och finns utspridda längs hela zonen. Halten av grafit är

generellt lägre än i zon 1. Nyansskillnaderna mellan olika lager tycks till stor del bero på mängd-förhållandet mellan glimmer och kvarts. Lagring och bergartskontakter stryker och stupar gene-rellt på samma sätt som i zon 1. Susceptibiliteten är lägre än 200×10^{-5} SI-enheter.

Observationer i tunnslip

Samtliga prov av magmatiskt ursprung som studerats från zon 2 har bevarade relikta magma-tiska texturer. Tre prover har studerats i tunnslip.

En medelkornig diabas har tydlig ofitisk till subofitisk textur där pyroxen har omvandlats till amfibol och klorit. Plagioklasen är starkt saussuritiserad. Biotit och identifierbar klinozoisit och zoisit förekommer sparsamt (DLA120093A).

Ett prov består av en mycket finkornig till finkornig basalt med tunna lister av euhedral pla-gioklas och en svagt grön anhedral amfibol med interferensfärg upp till första ordningens rött. Millimeterbreda sprickor är läkta med kvarts, zoisit, magnetkis, svavelkis och kopparkis. Plagio-klasen har en anortithalt som motsvarar andesin enligt Michel Levy's metod (DLA120090A, fig. 3 c–d, tab. 1 och 2).

En finkornig basalt med amygduler består av tre typer av amfibol: bladig eller prismatisk aktinolit förekommande i kvastformiga aggregat och subhedral amfibol som enskilda, ibland liksidiga korn omgivna av saussuritiserad, anhedral plagioklas. Mindre amygduler är fyllda med aktinolit i kvastformiga aggregat och de större, som är upp till 3 mm stora, har även en kärna som består av klinozoisit, kvarts, fältspat, biotit, magnetkis, kopparkis och en svagt blågrön am-fibol som är optiskt negativ (DLA120098A, fig. 3 e–f, tab. 1 och 2).

De opaka mineral som förekommer i de tre olika bergarterna som beskrivits är dissemine-rad magnetkis och kopparkis samt ilmenit med koronor av ett mycket finkornigt mineral med starka interferensfärger.

ZON 3

I zon 3, som sträcker sig ca 700 m (fig. 1), finns utöver samma bergarter som i zon 1 och 2 även gångar av granitoid. Dessutom finns hydrotermal omvandling och mineraliseringar vid kontak-ter mellan basalt och granit.

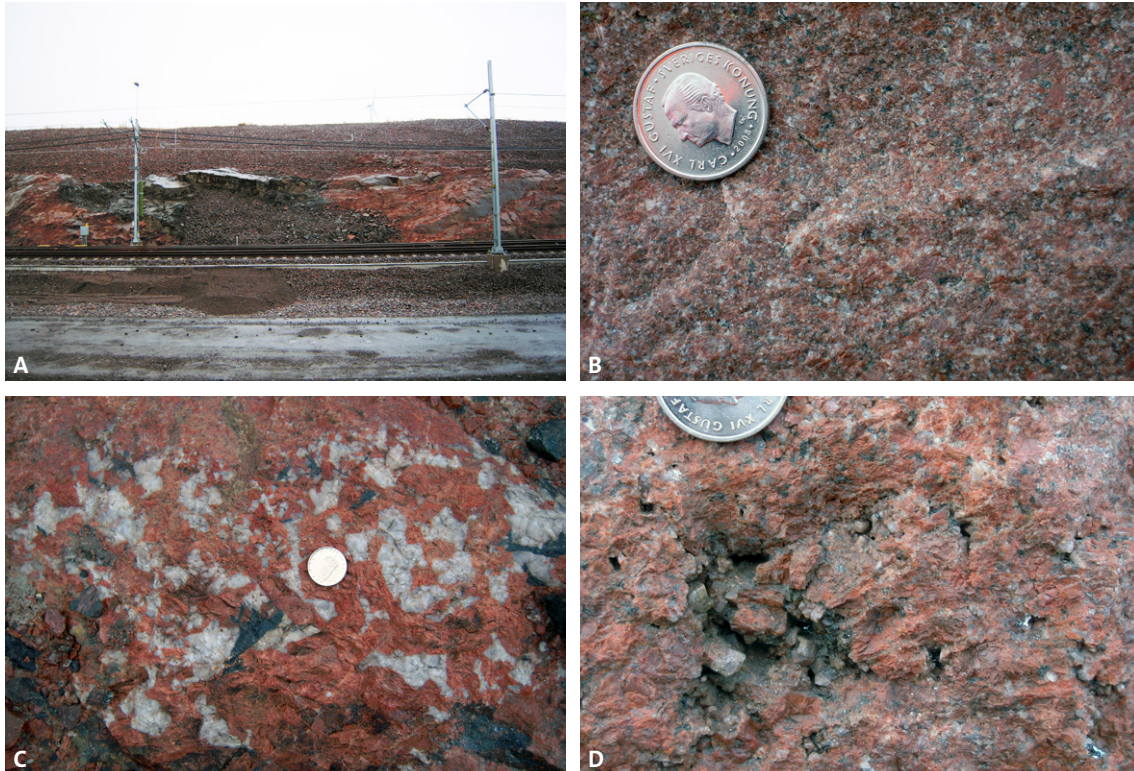
Fältobservationer

Granit

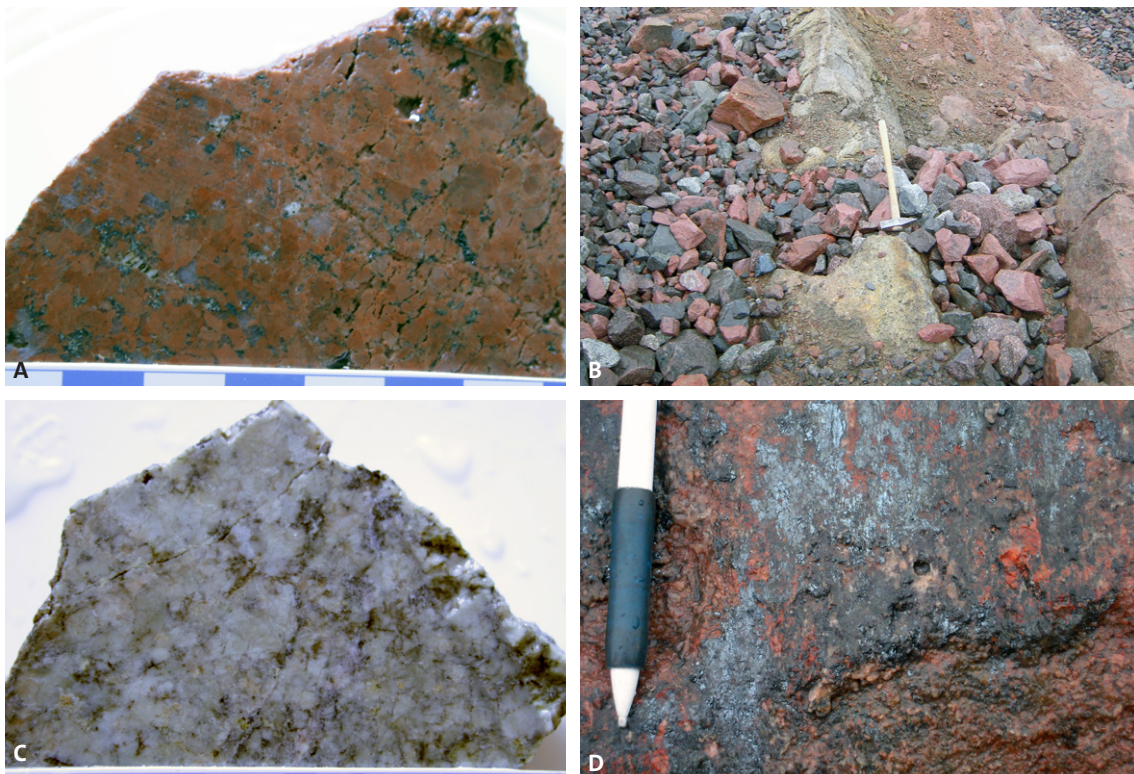
Gångar av granitoid är mellan ca 1 dm och upp till omkring 5 m tjocka. De är huvudsakligen pa-rallella med lagring i de metasedimentära bergarterna och övriga bergartskontakter vilka stryker i nordostlig–sydvästlig riktning och stupar brant. Två breda sektioner granit längs skärningen är åtskilda av 30 m basalt, och de är eventuellt granitgångar med en bredd upp till 80 m. Kontak-terna har nordostlig–sydvästlig strykning och vertikal stupning (fig. 4a). De tunnare gångarna är röda och fältspatporfyrisk med finkornig grundmassa. Bredare gångar är röda, jämnkorniga och medelkorniga. Ställvis är graniten småporfyrisk och har finkornig till medelkornig grundmassa (fig. 4b). Kvantshalten varierar avsevärt. I en av de längre granitsektionerna finns pegmatitkörtlar (fig. 4c). I graniten förekommer lokalt vad som liknar miarolitiska kaviteter med euhedral fält-spä, bergkristall och spektularit (hematit, fig. 4d). Granitens susceptibilitet når ställvis upp till ca $4\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter men ligger vanligen i intervallet 500×10^{-5} till $3\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter. Ett prov av graniten togs för våtkemisk analys (DLA120114K, fig. 4b, tab. 1 och 2).

Hydrotermalt omvandlad granit

Lokalt observerades röd granit med hålrum som antagligen uppkommit genom att primär kvarts blivit urlakad (fig. 5a). Kvantläkta sprickor förekommer ställvis och på ett par ställen ob-



Figur 4. Granit i zon 3. **A.** Parti av basalt mellan två breda sektioner av granit. Kontakterna har i stort sett samma riktning som övriga primära strukturer i skärningarna. **B.** Porfyrisk granit. **C.** Pegmatitkörtel. **D.** Miarolitiska kaviteter med kristaller av fältspat och kvarts.



Figur 5. Hydrotermal omvandling av granit. **A.** Granit. Högra delen är kvartsfattig och har hålrum som antyder att kvarts blivit urlakat. **B.** Grå omvandlingszon i röd granit. **C.** Hydrotermalt omvandlad granit med bevarad textur. **D.** Glidrepor i speksularit (hematit).

serverades sprickor med klorit och amfibol. Karbonatläkta sprickor förekommer nära kontakter till basalt. Lokalt övergår graniten till en grå, kvartsfattig, hydrotermalt omvandlad bergart med ådror av vit karbonat, sulfider och magnetit (fig. 5 b–c). En uppskattning av kaliumhalten har gjorts utgående från XRF-analyser. Kaliumhalten är något lägre i den till synes kvartsurlakade röda graniten, och i den grå, hydrotermalt omvandlade granitoiden med bevarad textur är kaliumhalten ännu lägre. I omvandlade zoner där den ursprungliga granittexturen försvunnit är kalium nästan helt urlakat.

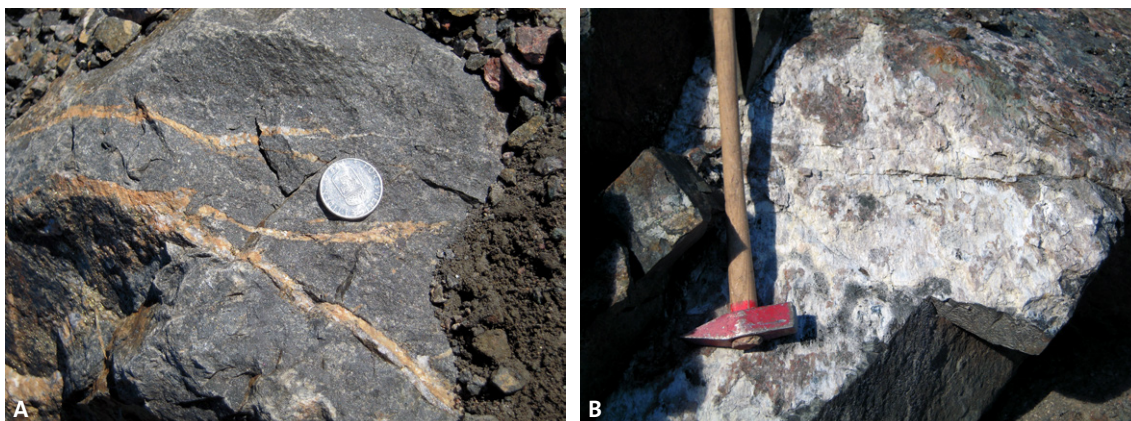
På sprickytor som stryker i nordostlig riktning i graniten förekommer vanligen glidrepor i spekularit med en lineation som stupar 50 till 60 grader åt sydost (fig. 5d).

Basalt

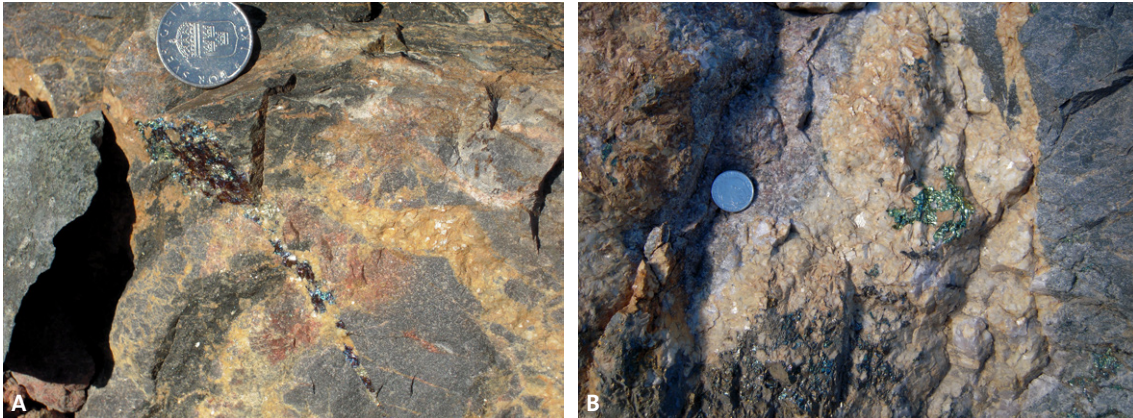
Basalten tycks vara genomgående hydrotermalt omvandlad. Mest iögonenfallande är epidot-omvandling. Epidot och sulfidmineral är till stor del begränsade till sprickor, hyaloklastit mellan kuddar och breccierad basalt. Denna typ av omvandling är av samma typ som i zon 2. Finkornig, gråfärgad basalt, som för blotta ögat ser frisk ut, har genomgående en mycket hög susceptibilitet, mellan $10\,000$ och $50\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter. Dessa magnetitrika partier är oftast fattiga på epidot och andra gröna mineral och ser ut att representera en annan typ av omvandling. Basalt med hög magnetithalt ser ut att vara associerad med kvarts- och karbonatläkta sprickor (fig. 6a). Karbonaten, som vittrar till brunt, har enligt analys med handhållen XRF procenthalter av järn, magnesium och mangan. Sannolikt är det ankerit. Lokalt förekommer amygduler och sprickor fyllda med både epidot och magnetit. Skapolitlänkta sprickor har observerats på flera ställen längs hela sträckan (fig. 6b). Två prov av kuddlava togs för våtkemisk analys (DLA120115K och DLA120127K, tab. 1).

Koppar-guldmineralisering

En kopparmineralisering förekommer i kontakten mellan hydrotermalt omvandlad grå granit och basalt. Kopparsulfider och magnetit ligger i karbonat och kvartsläkta sprickor. I graniten dominerar kvarts i sprickorna och i basalten dominerar karbonat. Den hydrotermala omvandlingen i graniten motsvarar det som beskrivits ovan. Basalten har mycket hög magnetithalt men är också till viss del oxiderad och har en röd färg. Rödoxiderade stråk och fläckar liknar det som i andra delar av Kirunaområdet är albitiserad basalt (fig. 7 a–b). Ett prov av mineraliseringen togs för våtkemisk analys. Provet innehåller $8\,630$ ppm koppar och $0,552$ ppm guld (DLA120120K, tab. 1 och 2).



Figur 6. A. Magnetitrik basalt med brunvitträd karbonat och kvartsläkta sprickor. B. Skapolit på sprickyta i basalt.



Figur 7. Koppar-guldmineralisering. A. Kvarts- och karbonatläckta sprickor och kopparsulfid i spricka. Röda oxiderade fläckar i basalten. B. Karbonat och kvarts med kopparkis. Basalt till höger och omvandlad granit till vänster.



Figur 8. Magnetitlager i lagrad sekvens.

Lagrade bergarter

Två sekvenser av lagrade bergarter förekommer i zon 3. De har samma utseende som i zon 2. Susceptibiliteten är däremot betydligt högre och ligger i intervallet $10\,000 \times 10^{-5}$ till $90\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter. Den högsta mätningen gjordes på ett omkring en decimeter tjockt lager som huvudsakligen består av magnetit (fig. 8). I övrigt ligger susceptibiliteten mellan $10\,000 \times 10^{-5}$ och $30\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter.

Observationer i tunnslip

Granit

I den av hydrotermal omvandling relativt sett opåverkade röda graniten (fig. 9a) har fältspaterna en grov, pertitliknande textur där stråk av kalifältspat är disseminerade av vad som ser ut som mycket finkornig hematit. Accessoriskt förekommer zirkon, vit glimmer och spår av karbonat. Mycket finkorniga, kantiga aggregat, som bland annat innehåller ett mineral med starka interferensfärger, ser ut som pseudomorfer efter titanit. Opaka mineral består av magnetit, hematit, svavelkis och götit. Magnetiten har inga synliga avblandningar och en stor andel av magnetitkornen har ställvis tunna kanter eller ofullständiga koronor av hematit. Götit förekommer som en omvandlingsprodukt av svavelkis.

Hydrotermalt omvandlad granit

Den del av graniten som ligger nära det parti som ser ut att vara partiellt eller helt urlakat på kvarts (fig. 5a) har förutom en något lägre kvartshalt en del karbonat i korngränserna. Fältspaten liknar huvudsakligen den fältspat som finns i den mindre omvandlade delen av graniten. Opaka mineral är magnetit, hematit och svavelkis på samma sätt som i frisk granit.

Den intensivt omvandlade, grå granitoiden är normalt textuellt avvikande från mindre omvandlade delar. Ett prov från en smal, grå omvandlingszon i röd granit har emellertid kvar en del av den ursprungliga texturen. Fältspaten har till viss del en primär, grov, pertitliknande textur precis som i den friskare graniten. Kvartshalten är emellertid låg och karbonathalten är hög (fig. 9b). Fältspaten är till stor del plagioklas med albit eller periklintvillingar med en sekundär, schackrutig textur (albitiserad mikroklin, fig. 9c). Opaka mineral består av magnetit, rutil, svavelkis och kopparkis.

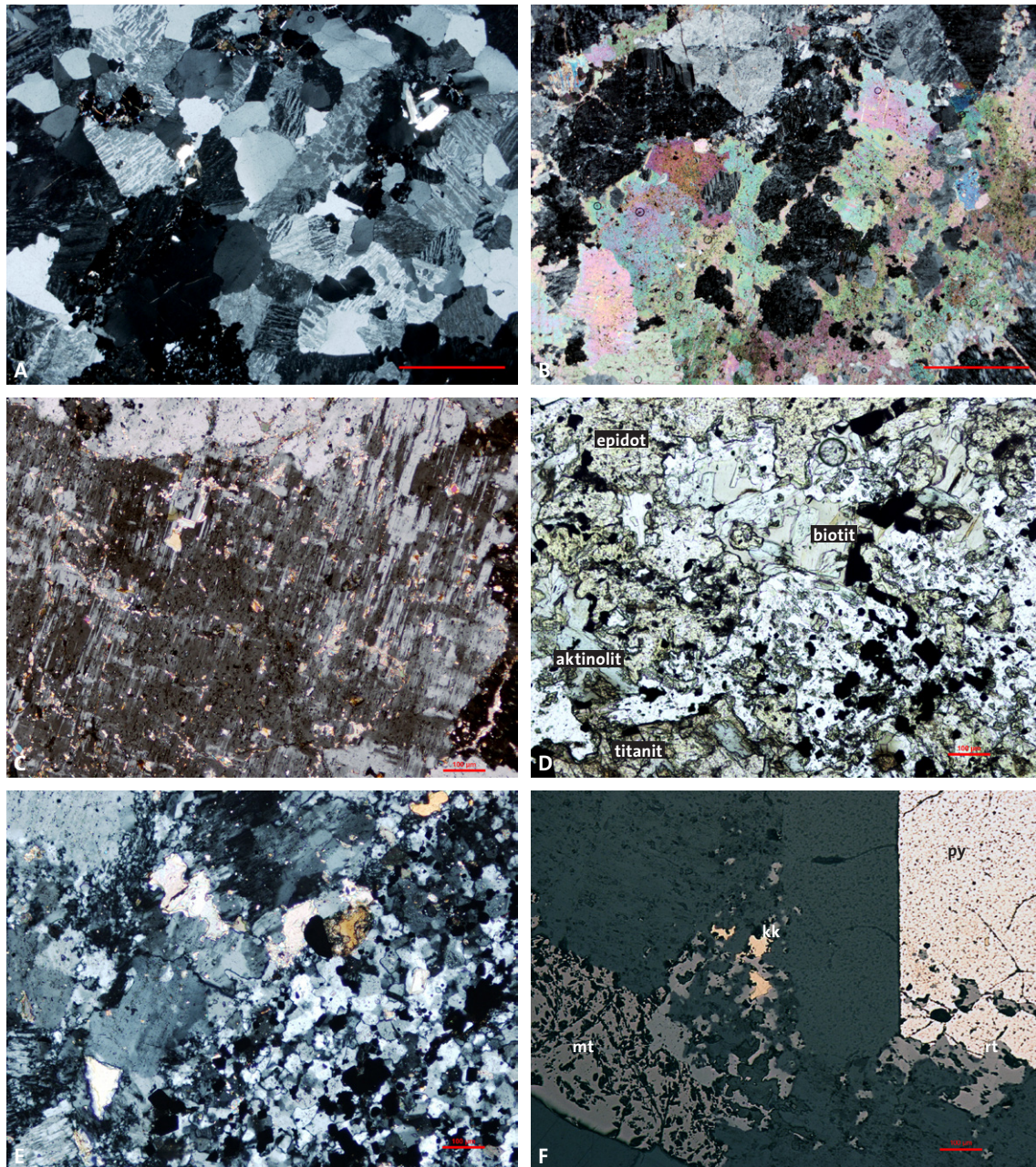
Basalt

Ett prov av finkornig, mörkt grå basalt (inga kuddar) är textuellt och mineralogiskt likt samma typ av bergart i zon 2. Den största skillnaden är magnetiten som förekommer rikligt samt förekomst av karbonat. Inga avblandningstexturer är synliga i magnetiten vid 400 gångers förstoring.

Ett prov av kuddlava är ojämnt omvandlat med varierande epidot och magnetithalt. Epidotrika partier innehåller magnetit men betydligt mindre än i övriga delar. Förutom epidot förekommer aktinolit och underordnat grön biotit och titanit (fig. 9d). Spår av hematit, pyrit och apatit. Hematiten ser ut att vara en oxidationsprodukt av magnetit längs dess ytor och spaltning (martitisering). Provet (DLA120127K) har analyserats och resultaten presenteras i tab. 1 och 2.

Koppar-guldmineralisering

Den ovan beskrivna koppar-guldmineraliseringen, som till stor del är en hydrotermal breccia med karbonat- och kvartsådror i kontakten mellan granit och basalt, kan knytas till den typ av hydrotermal omvandling i granit som beskrivits ovan. I basalten förekommer rikligt med magnetit. Uppskattningsvis 10–20 % av basalten utgörs av magnetit. I övrigt förekommer plagioklas, amfibol, biotit, apatit, karbonat och pyrit. Aggregat av magnetit åtföljs av karbonat och pyrit. Ett fåtal helt friska plagioklaskorn har tydliga albittvillingar. I vissa fältspatkorn syns inga tvillingar. Opaka mineral som identifierats i tunnslip är magnetit, kopparkis och svavelkis. I den omvandlade graniten förekommer magnetit men i betydligt mindre mängd (fig. 9e). Karbonaten förekommer huvudsakligen som sprickfyllnad i den albitiserade graniten tillsammans med kvarts. En tunn zon av brun biotit och klorit förekommer ofta mellan kvarts-karbonatådror och graniten. I graniten förekommer också magnetit och pyrit men i mindre mängd och med betydligt högre andel pyrit. Till skillnad från andra observationer av intensivt omvandlad granit som



Figur 9. Mikroskopbilder. **A.** Röd granit. Korsade polarisatorer. Skalstrecket är 1 mm. **B.** Grå, hydrotermalt omvandlad granit. Karbonat förekommer i korngränser och sprickor. Mycket låg kvartshalt. Korsade polarisatorer. Skalstrecket är 1 mm. **C.** Albitomvandlad mikroklin i grå, hydrotermalt omvandlad granit. Schackrutig textur. Korsade polarisatorer. Skalstrecket är 0,1 mm. **D.** Kuddlava. Planpolariserat ljus. Skalstrecket är 0,1 mm. **E.** Gräns mellan magnetitrik, hydrotermalt omvandlad basalt och hydrotermalt omvandlad granit vid kopparguldmineralseringen. Korsade polarisatorer. Skalstrecket är 0,1 mm. **F.** Opaka faser i kopparguldmineralseringen, mt=magnetit, rt=rutil, py=svavelkis, kk=kopparkis. Planpolariserat ljus. Skalstrecket är 0,1 mm.

är kvartsfattig så förekommer primär kvarts i en myrmekitliknande textur i albitiserad plagioklas. Karbonatläta sprickor går även in i basalten och är magnetitfattiga. Områden i basalten som är magnetitrika är amfibol- och kloritfattiga och omvänt. Identifierade opaka mineral i tunnslip är svavelkis, magnetit, kopparkis och rutil (fig. 9f).

ZON 4

Fältobservationer

I zon 4, som är den sydligaste delen (fig. 1), förekommer konglomerat, basalt, granitgångar, porfyr, polymikt breccia och mindre inslag av lagrade bergarter i konglomerat.

Konglomerat och lagrade bergarter

Konglomeratet i zon 4 är huvudsakligen matrixstött och innehåller både bollar och kantiga fragment som är i storleksordningen mindre än en centimeter till någon decimeter och vanligen finkorniga. Endast lokalt överväger kantiga fragment. Bollar och fragment består vanligen av en blandning av ett flertal olika bergarter och omvandlingstyper (fig. 10 a–b), och de är ofta epidotomvandlade till skillnad från matrix. Ställvis ser konglomeratet friskt ut och opåverkat av omvandling (fig. 10a). Matrix är finkornigt och varierar i färg mellan grått och rött. Det är mestadels magnetitrikt och endast lokalt epidotomvandlat. Konglomeratets susceptibilitet ligger mellan $5\,000 \times 10^{-5}$ och $28\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter. På ett ställe förekommer i konglomerat flera lagrade sekvenser på upp till omkring en halv meter som liknar de magnetitrika, lagrade bergarterna i zon 2 (fig. 10c).

Porfyr och fragmentförande bergart

I sydöstra delen av zon 4 förekommer en liten blottning av porfyr med finkornig, mörkt grå grundmassa och kantiga fältspatfenokristaller (fig. 10d). Bergarten innehåller även mycket finkorniga, centimeterstora, kantiga bergartsfragment. Intill finns en röd bergart med olika typer av kantiga och finkorniga bergartsfragment som är från några millimeter till ett par centimeter i storlek.

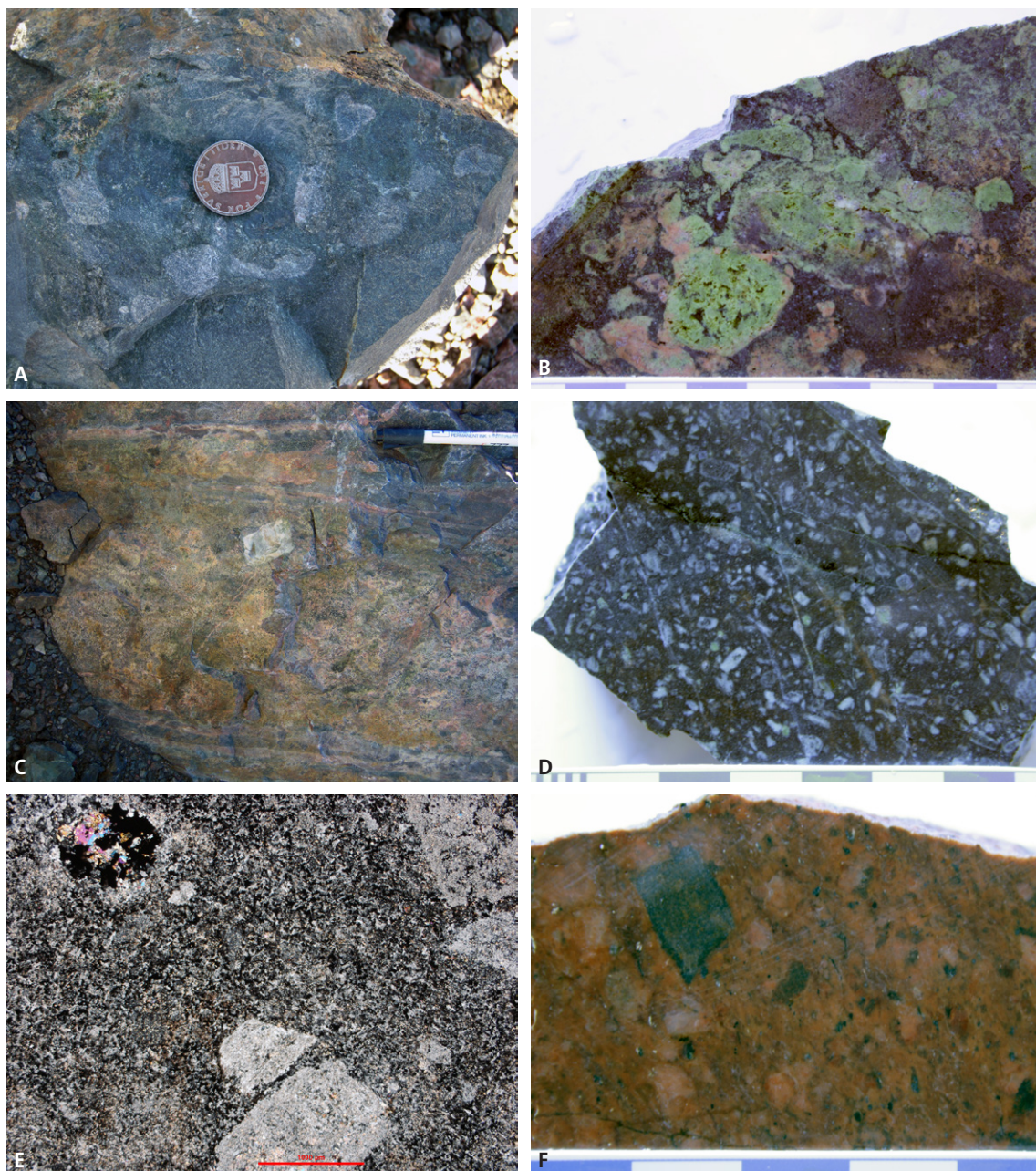
Observationer i tunnslip

Konglomerat

En förhållandevis frisk del av konglomeratet (fig. 10) består av ett finkornigt matrix med en mycket svagt grön, subhedral amfibol eller klinopyroxen med ca 20 graders utsläckning och interferensfärg upp till första ordningens gult, plagioklas utan tvillingar, epidot, karbonat, magnetit och spår av kalifältspat och kopparkis. Endast ett fåtal plagioklaskristaller har synliga albit- eller periklintvillingar. En typ av boll består av finkornig, subhedral, saussuritiserad plagioklas med ojämna kanter. I övrigt förekommer epidot, karbonat och biotit. Opaka mineral är ren magnetit och spår av kopparkis.

En annan typ av boll består av ett grovkornigt fältspatsliknande mineral med inneslutningar av glimmer och epidot. Även mindre plagioklaskorn med albittvillingar och utan inneslutningar förekommer. Dessa mindre korn har högre relief än de stora fältspatskornen som är antingen kalifältspat eller plagioklas. I samma typ av boll förekommer även med skarp kontakt en finkornig bergart som huvudsakligen består av omvandlad plagioklas, grön biotit, titanit, epidot och karbonat. En tredje typ av boll består av mycket svagt grön, subhedral klinopyroxen, en svårbestämd anhedral fältspat och spår av mikroklin. Klinopyroxenen har ca 45 graders utsläckning. Opaka mineral är magnetit, kopparkis och magnetkis.

Ett intensivt omvandlat prov av konglomerat (fig. 10b) består av matrix som domineras helt av svagt blågrön aktinolit i strålformiga aggregat. Underordnat förekommer plagioklas samt epidot. Opaka mineral utgörs av magnetit och de förekommer rikligt. Spår av hematit finns i magnetiten. En boll består av fältspat, epidot, biotit, titanit, magnetit, hematit, pyrit och kopparkis. Hematit förekommer i magnetiten och då oftast i kanterna. Endast spår finns av pyrit och kopparkis. En annan boll består huvudsakligen av svagt grön, bladig aktinolit. Det finns även rikligt med epidot och titanit, men sparsamt med fältspat. En del magnetit och spår av hematit, pyrit och kopparkis har observerats, och något som ser ut som blyglans förekommer i aggregat.



Figur 10. Bergarter i zon 4. **A.** Matrixstött, monomikt konglomerat. **B.** Klaststött, polymikt konglomerat eller breccia. **C.** Konglomerat varvat med lagrade sekvenser. **D.** Porfyr. **E.** Mikroskopbild av porfyr. Korsade polarisatorer. Skalstreet är 1 mm. **F.** Fragmentförande bergart.

Porfyr

Såväl porfyrens grundmassa som fenokristerna är starkt sericitiserade. I grundmassan förekommer dessutom rikligt med magnetit. Fenokristerna har ljusgrå interferensfärger och liknar plagioklas snarare än kalifältspat. Runda, millimeterstora amygduler förekommer med magnetit, fältspat, epidot, klorit och kvarts (fig. 10e–f).

Fragmentförande bergart

En fragmentförande bergart har mycket finkornig till finkornig, sericitiserad grundmassa. Flera olika typer av kantiga bergartsfragment finns. Kvartsläkta sprickor med spår av karbonat och fältspat uppträder och foliation och en kvartsläkt spricka har observerats i grundmassan mellan fragmenten. Eventuellt är bergarten en kataklasit (tektonisk breccia). Två fragment har studerats närmare:

En typ av bergartsfragment är finkornig, fältspatsdominerad och hematitmineraliserad. Albit- eller periklintvillingar är synliga i ett fåtal fältspatkorn. Plagioklas har en sammansättning som motsvaras av oligoklas. Endast spår av mikroklin förekommer. Sannolikt är bergarten en albitiserad syenit. Bergarten innehåller rikligt med anhedral hematit och spår av magnetit och magnetkis.

En annan typ av bergartsfragment består av albitiserad granit. Schackbrädeliknande texturer antyder albitisering av mikroklin. I större fältspatkorn syns ställvis albit- eller periklintvillingar. I fältspat förekommer små korn av sericit och karbonat. Opaka mineral utgörs av lite hematit och spår av magnetit.

