

Ursprunget till en kyanitbärande kvartsrik bergart i Hålsjöberg, Sverige

Carola Lindström



Stockholm 2015

Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i>	<i>3</i>
<i>Abstract</i>	<i>5</i>
<i>Bakgrund och syfte</i>	<i>7</i>
<i>Hålsjöberg</i>	<i>8</i>
<i>Metod.....</i>	<i>9</i>
<i>Fältarbete och provtagning</i>	<i>9</i>
<i>Tillverkning av tunnslip.....</i>	<i>10</i>
<i>Petrografisk analys.....</i>	<i>11</i>
<i>Punkträkning.....</i>	<i>11</i>
<i>XRF</i>	<i>11</i>
<i>Resultat.....</i>	<i>11</i>
<i>Fältarbete och provtagning</i>	<i>11</i>
<i>Litologisk beskrivning</i>	<i>12</i>
<i>Petrografisk beskrivning.....</i>	<i>17</i>
<i>Strykning och stupning</i>	<i>27</i>
<i>Punkträkning och XRF.....</i>	<i>27</i>
<i>Diskussion</i>	<i>30</i>
<i>Felkällor</i>	<i>33</i>
<i>Slutsats.....</i>	<i>33</i>
<i>Tack till:.....</i>	<i>33</i>
<i>Referenser</i>	<i>34</i>
<i>Appendix 1</i>	
<i>Appendix 2</i>	

Sammanfattning

Längs protoginzonen i Sverige hittas vid fyra platser aluminiumrika fyndigheter med karaktäristisk och liknande mineralsammansättning bestående av kvarts, kyanit, sällsynta aluminiumfosfatmineral och rutil. Ursprunget till dessa förekomster har varit ämne för olika tolkningar och klassificerats antingen som sedimentärt eller magmatiskt och/eller metasomatiskt.

I den här studien från Hålsjöberg, Värmland som gjorts inom ett kandidatarbete i geologi, har prover tagits från en övergång från en gnejsgranit till den kvartsrika kyanitbärande bergarten. Därefter har en petrologisk analys gjorts för att hitta strukturer och reaktionstexturer som kan ge insikt i vilket ursprung den har. Visuella, fysiska och petrografiska undersökningsmetoder indikerar en juxtapositionering av den kyanitbärande bergarten och granitisk gnejs längs med skjuvzonen. Den kyanitbärande bergarten har inte bara bevarat sedimentära strukturer utan visar också reaktionstexturer som tyder på fluidpåverkan och metasomatos.

Abstract

Along the Protogine zone in Sweden four localities with alumina rich deposits are found, showing a common and characteristic mineral assemblage of quartz, kyanite, rare alumina phosphates and rutile. The origin of these deposits has been interpreted differently and classified as either sedimentary or magmatic but also as metasomatic.

In this study from Hålsjöberg, Sweden which has been done within a bachelor degree project in geology, a transition from gneiss granite to the quartz rich kyanite bearing rock was sampled. A petrologic analysis has been made to find structures and textures which could give insight about the origin of these rocks. Visual, physical and petrographic methods indicate that the kyanite- quartz rock is juxtaposed against granitic gneiss and other rocks along the shear zone. The kyanite-bearing rock not only preserves apparent sedimentary structures but also displays reaction textures implying fluid-rock interaction and metasomatism.

Bakgrund och syfte

Protoginzonen (*fig.1*) kan beskrivas som ett system av deformationszoner som i väster begränsas av 1200-900 Ma unga bergarter från den Svekonorvegiska orogenesen, och i öster av Transskandinaviska magmatiska bältets graniter och metavulkaniter (1800- 1650 Ma), samt Svekofenniska bergarter av åldrar mellan 1900- 1750 miljoner år (Andreasson & Dallmeyer 1995).

Hålsjöberg, Hökensås, Dicksberg och Västanå är fyra unika lokaler i Sverige (*fig. 1*) med omvandlade ytbergarter som har gett upphov till nästan identisk och karaktäristisk mineralkomposition, bestående av rutil, aluminiumsilikater (främst kyanit) och sällsynta aluminiumfosfater (Ek & Nysten 1990). Dessa lokaler har geografiskt korrelerats till protoginzonen (Ek & Nysten 1990) och därför eventuellt bildats i samband med deformation längs zonen.

Lokalerna har jämförts med liknande mineralförekomster i bland annat South Dakota och Kalifornien, vilka tolkas ha uppkommit genom hydrotermala processer (Wise & Loh 1976). Det finns olika teorier om huruvida ursprunget till den kvartsrika kyanitbärande bergarten är sedimentärt eller magmatiskt, och den har både beskrivits ha sedimentära strukturer (Ek & Nysten 1990, Geijer 1963) och som en produkt av urlakning från en bergart med magmatiska strukturer (Larsson 2001).

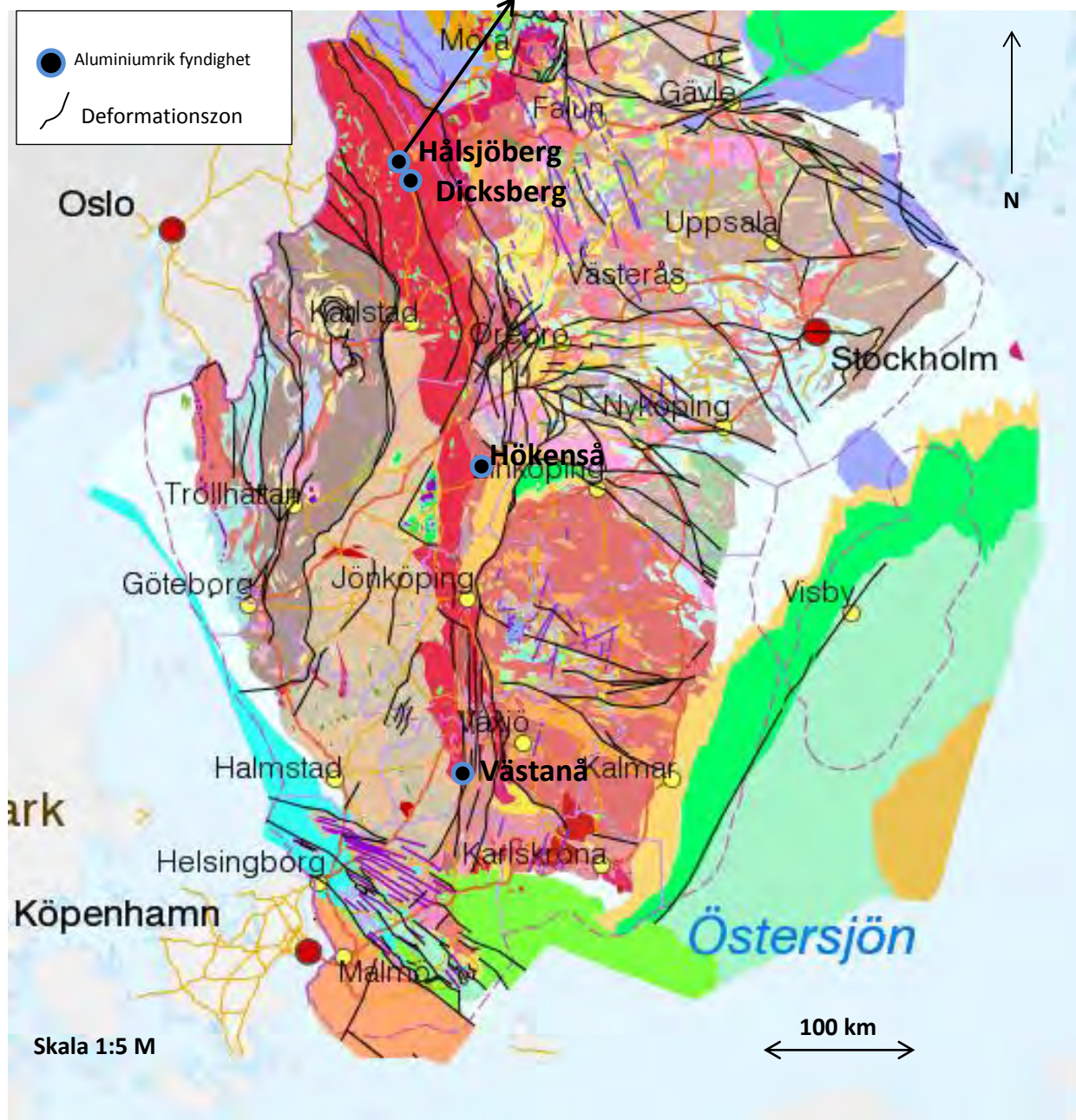
Larsson (2011) har i en gjort provtagningar i Hålsjöberg och beskriver en gradvis övergång mellan opåverkad granit till en kvartsrik kyanitbärande bergart. Efter bland annat Andreasson och Dallmeyers rapport (1995) i vilken de presenterar en modell där hydrolys av kalifältspat i en skjuvzon med kalifältspatrik moderbergart bidrar till urlakning av kalium och formation av kvartsit och muskovitskiffer och rapporter som diskuterar förekomst och stabilitet av aluminiumfosfater (Wise & Loh 1976; Ek & Nysten 1990), föreslår Larsson en epitermal urlakningsmiljö med bl. a fosforhaltiga fluider som omvandlar graniten till en aluminiumrik bergart med andalusit, kaolinit eller pyrofyllit och aluminiumfosfater. En senare metamorf händelse med högre tryck skulle därefter ha omvandlat andalusiten till kyanit medan fosfatmineralen var fortfarande stabila, och utifrån samexistens av olika aluminiumsilikater och aluminiumfosfater föreslår Ek & Nysten (1990) en metamorf historia som omfattar minst två händelser och ett tryck på >2kbar, och temperaturer mellan 520 °C och 575 °C respektive <475 °C.

Syftet med det här projektet har varit att, om möjligt, identifiera, kartera och provta den av Larsson (2001) beskrivna successiva övergången och genom en petrografisk studie försöka hitta reaktionstexturer som skulle kunna ge svaret på frågan om detta är resultatet av metasomatos eller en normal förändring av mineralkompositionen från en sedimentär protolit. Övriga uppgifter har varit att efter provtagning tillverka tunnslip för att genomföra den petrografiska studien samt att utföra kemisk analys av bulkkompositionen med en bärbar XRF.

Då kvartsit associeras till en sedimentär protolit har den kyanitbärande bergarten ibland kallats kvartsgranofels (Andreasson & Dallmeyer 1995) istället. I den här rapporten kommer dock, för enkelhetens skull, termen (kyanit)kvartsit användas.

Hålsjöberg

Hålsjöberg är beläget i Värmlands län, 10 mil NV om Karlstad och 2 mil NÖ om Torsby och har prospekterats vid ett flertal tillfällen varav den senaste 1983 (LKAB). Mineraliseringen räknas som en malmtillgång av riksintresse (SGU) och olika företag har brutit den aluminiumhaltiga bergarten i dagbrott för anrikning både som prydnadssten och för metallutvinning. De senaste åren har dock ingen aktiv verksamhet bedrivits i området.



Figur 1: Modifierad berggrundskarta från SGU över södra Sverige. Deformationszoner och aluminiumrika mineraliseringar markerade. Lilla bilden: Hålsjöbergs kyanitbrott.

Metod

Fältarbete och provtagning

Den av Larsson (2001) beskrivna hällen gick inte att hitta, något som inte var helt oväntat i ett nyligen aktivt brott. Möjligheten finns att den brutits och inte längre existerar. Istället lokaliserades ett område (fig. 1) i det nordligaste brottet, där en övergång från gnejsgranit till kyanitkvartsit var synlig (fig. 2) och prover togs till en profil.



Figur 2: Foto visande hela profilens bredd och där övergången från gnejsgranit till kyanitkvartsit är markerad med en klammer.

Provtagning och studier av övergången mellan gnejsgranit och kyanitkvartsit var möjlig och underlättades på grund av tidigare prospektering och brytning av den kyanitbärande bergarten, som frilagt rena bergytter, då platsen annars till stor del hade varit täckt av kvartära sediment och vegetation. Då verksamheten inte varit i drift de senaste åren har dock vissa ytor återtagits av vegetationen. En del lager i övergången har också på grund av komposition och exponering vittrat kraftigt vilket i vissa fall gjorde provtagningen svårare. En annan försvårande faktor var dessutom att viss snö låg kvar i området och eventuellt dölde lämpliga provtagningsplatser.

Geologhammare (finsk modell) och kil användes och proverna lades i zip-påsar märkta med provID och datum, eller märktes med textiltjyp i de fall stofferna var för stora. En grov tolkning av provernas komposition gjordes med lupp i fält och en mer grundlig visuell undersökning utfördes senare med renare, torrare prover och bättre ljus inomhus. Strykning och stupning (fig. 3) av olika lager fastställdes med hjälp av en klinometerkompass, medan GPS koordinater till de olika provtagningsställena mättes upp med en Garmin 12. RT90 användes som datum och antecknades i form av ggg° mm.mmm' (Appendix 1). Dessa positioner bör endast ses som grova riktlinjer då GPSen ibland inte stabiliserade sig helt, flera mätningar på exakt samma ställe aldrig gav samma resultat och

vissa prover togs på ett så pass litet avstånd som $\leq 0,5$ m ifrån varandra. Då den önskade profilen inte gick att sampla efter en rak linje delades den upp i tre huvudenheter (1,2 och 3) (fig. 4,5 och 6) för att lättare kunna mäta ungefärlig total mäktighet. Måtten togs med ett 30-meters måttband där enhet två mättes tvärsöver längs marken medan enhet ett och tre mättes i ca 56 respektive 38° vinkel och bredden räknades ut med trigonometri [ekv. 1].

$\cos \theta = \text{motstående kateter} / \text{hypotenusan}$

[ekv. 1]

Motstående kateter = bredd(m)

Hypotenusan = uppmätt(m)

Bredd(m) = $\cos \theta \cdot \text{uppmätt(m)}$

Kompletterande prover togs av övergången på motsatt sida av brottet, och en mindre håll ca 300 m från brottet identifierades med kyanitkvartsit som exponerade tydlig kvartsdominerad/kyanitdominerad lagring. Den provtogs som komplement till övriga prover av kyanitkvartsit. På grund av tidsbrist analyserades endast vissa av de kompletterande proverna.

Exakta mått på övergångsbergarternas (provID HBCL5-HBCL9) tjocklek saknas då kontakterna inte var speciellt skarpa just på grund av vittring och vegetation. Prover togs vid en punkt där bergartens textur verkade skilja sig från föregående prov och distansen mellan proverna antecknades.

Tillverkning av tunnslip

Tunnslip för petrografisk analys tillverkades av Dan Zetterberg och Carola Lindström vid Stockholms Universitet. Ur stofferna sågades, med diamantsåg, ca 15 mm tjocka skivor, och för att ta fram den yta (B-ytan) som ger mest representativa texturer och interferensfärger gjordes detta längs med lineationsriktningen och vinkelrätt mot foliationsriktningen.

Av dessa skivor tillverkades klossar på ca 20x35x15 mm från valda delar som slipades på ena B-ytan, först manuellt med kiselkarbid (SiC) kornstorlek 220 (66 μm) och avjonat vatten, därefter halvautomatiskt med en Logitech LP50 auto och SiC kornstorlek 600 (14 μm), uppslammad i avjonat vatten. Prov HBCL5 bestod till största delen av skiktssilikater och var så poröst att det fick gjutas in helt i epoxy före slipning. Detta gjordes i vakuum för att ersätta så många luftfickor med epoxy som möjligt. Prov HBCL10, HBCL11 och HBCL13 misstänktes innehålla aluminiumfosfater, som kan reagera med vatten, varför de slipades manuellt i vattenfri miljö med SiC 600 uppslammad i enbart 2-propanol, för att få så små volymförändringar i mineralkornen som möjligt. Efter slipning torkades klossarna i torkskåp på 40° C över natten.

Klossarna limmades med epoxylim på 28x48x13 mm slipade objektglas och fick härda i ungefär 30° C under ca 24 timmar. Objektglas med kloss fästes med vakuum på en Buhler Petro-Thin och provet sågades, också nu med kranvattenkyld diamantbelagd klinga, till ca 1 mm tjocklek, varpå det i samma maskin frästes ner stegvis (≈ 15 μm /steg) till $\approx 0,450$ mm. Proverna fästes med vacuum på en hållare (jigg) till Logitechmaskinen och slipades "automatiskt" med SiC 600 och vatten mot en järnskiva tills tjockleken motsvarade ungefär 30 μm . De prover som slipats i vattenfri miljö i tidigare steg sågades, frästes och slipades också nu med 2-propanol som kyl/uppslammningsvätska. Därefter polerades alla prover med 6 μm diamantpulver uppslammad i glykol, mot en skiva som var klädd med yllefilt för att bättre hålla kvar polermedlet.

Petrografisk analys

Tillverkade tunnslip analyserades med ett Leica mikroskop. Beskrivningar av iakttagelser noterades i tabellform (Appendix 1).

Punkträkning

Punkträkning för att bestämma modal mineralkomposition utfördes på samtliga tunnslip med mikroskop Leica DMLSP och mjukvaran Pelcon Point Counter. Punktavståndet var 1x1 mm varav avståndet i sidled justerades automatiskt medan det i höjddled sköttes manuellt. Olika opaka mineral räknades tillsammans som en grupp eftersom identifikationen i vissa fall var osäker. Detsamma gäller för de olika Al-fosfatmineralen. Standardavvikelsen (σ) räknades ut [ekv.2] enligt:

$$\sigma = \sqrt{\left(x * \frac{(100-x)}{n}\right)} \quad [\text{ekv.2}]$$

där x = modal representation av ett visst mineral och n = antalet räknade punkter i provet

XRF

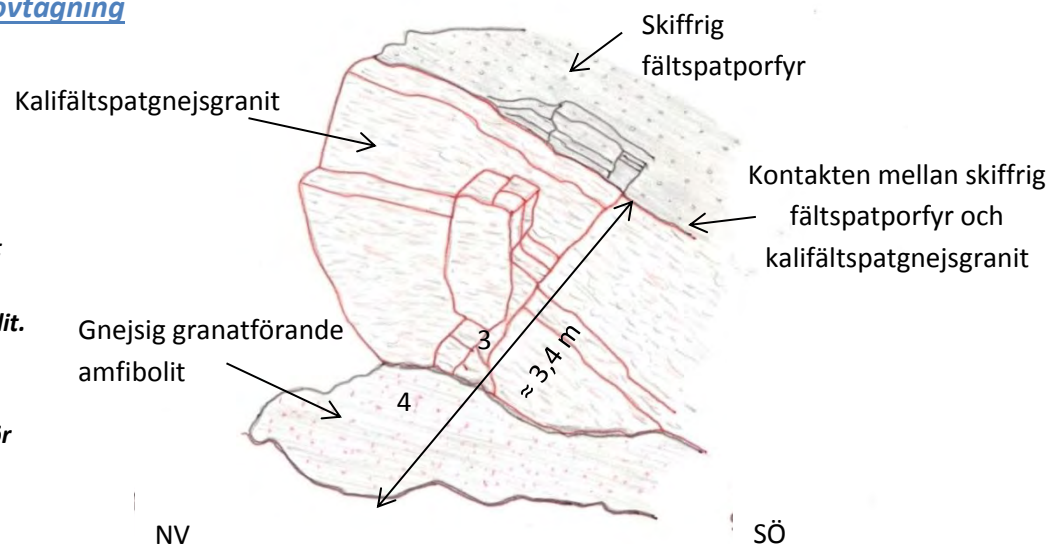
En portabel XRF av modellen Delta Family Handheld XRF Analyzer DP6000 användes för kemisk analys av kvarvarande klossar efter tunnslipstillverkningen. Kapaciteten för den inställda typen av mätning är grundämnen tyngre än Mg. 10 mätningar per prov gjordes där varje mätning tog 60 sekunder, varav 30 sekunder med 35 kV och 30 sekunder med 15 kV. Ett medelvärde ($\bar{x}$) av mätningarna räknades ut och resultatet redovisas i vikt %. Standardavvikelsen (σ) räknades ut enligt ekvation 3, där x = vikt % ämne i aktuellt prov och n = antalet mätningar gjorda för det aktuella provet.

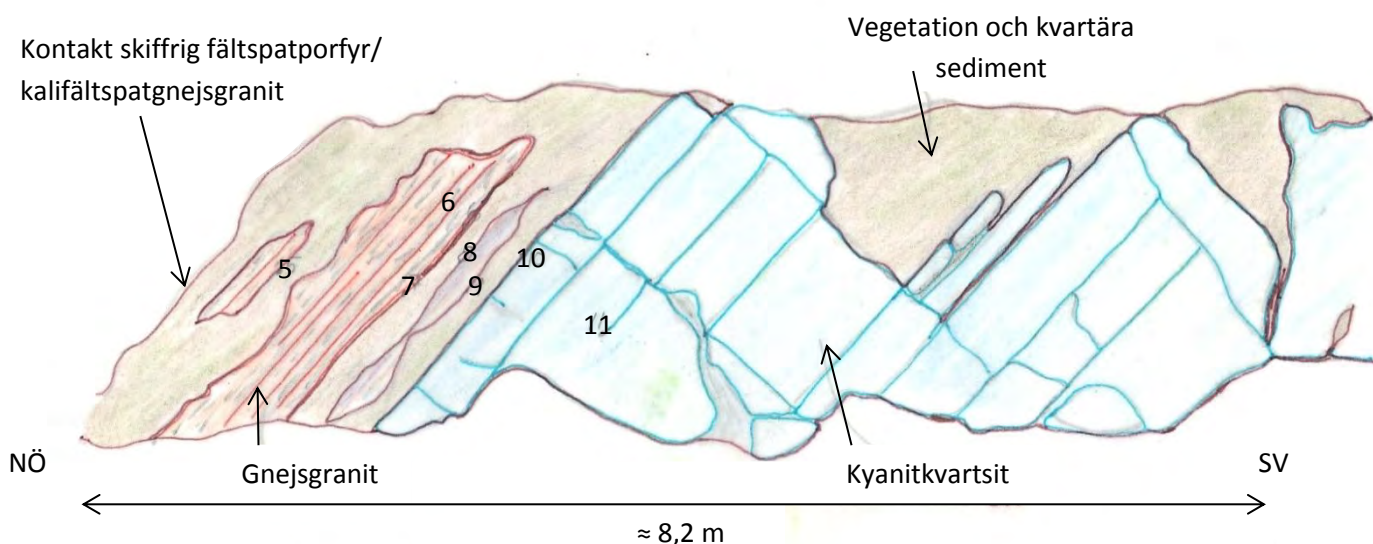
$$\sigma = \sqrt{\sum \frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [\text{ekv.3}]$$

Resultat

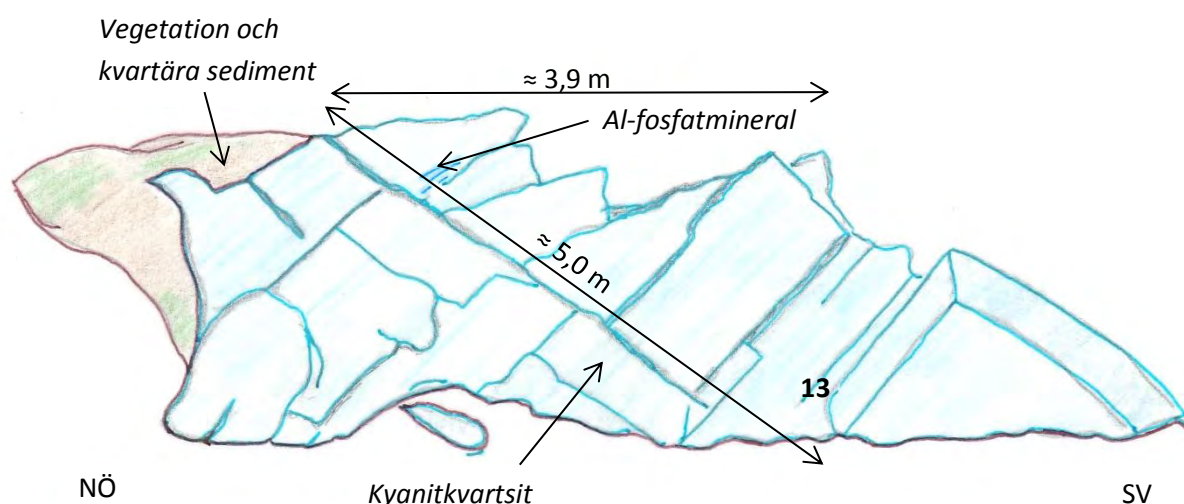
Fältarbete och provtagning

Figur 3: Fältskiss av Hålsjöberg enhet 1 visande skiffrig fältspatporfyr, kalifältspatgnejsgranit och gnejsig granatförande amfibolit. Nordvästlig-sydöstlig riktning och provtagningsplatser för HBCL3 och HBCL4 är markerat.





Figur 4: Fältskiss av Hålsjöberg enhet 2 som motsvarar en bredd av $\approx 8,2$ m i profilen. Enheten är avbildad i riktning NÖ-SV.



Figur 5: Fältskiss av Hålsjöberg enhet 3. Avbildad i nordöstlig- sydvästlig riktning. Kyanitkvartsit delvis täckt av vegetation och kvartära sediment. En lins med Al-fosfatmineral är utmärkt samt provtagningspunkt för HBCL13. Bredd i profil $\approx 3,9$ m.

Litologisk beskrivning

Hela området upptar en yta av ungefär $0,4 \times 1$ km och består av fyra mindre dagbrott (fig. 1) där utvinning skett samt ett antal i princip orörda hållar som barlagts, antagligen i samband med prospekteringen. I ett av brotten hittas en övergång från gnejsgranit till kyanitkvartsit, i samband med en skjuvzon.

Hela profilen består av mer eller mindre omvandlade ytbergarter med en strykning på mellan $300-325^\circ$ NV och en stupning av $52-56^\circ$ NE (fig. 14).

Beskrivningar baseras dels på observationer gjorda i fält och dels på eftergranskning av stuffer.

HBCL1- Porfyritisk bergart (Skiffrig fältspatporfyr), HBCL14- kontakten mellan den porfyritiska bergarten och HBCL3 (kalifältspatgnejsgranit) (fig. 6)



Figur 6: Kontakten mellan den skiffriga fältspatporfyren och kalifältspatgnejsgraniten.

Det östligaste provet i profilen består av en mörk porfyritisk bergart med upp till 10 mm stora odeformerade kalifältspatporfyroblaster/klaster, relativt jämnt fördelade i en grundmassa av kvarts och biotit. Biotiten gör att bergarten är rätt porös och delar sig med skiffrig brottyta. Kontakten mot gnejsgraniten är skarp.

HBCL3- Kalifältspatgnejsgranit (fig. 7)

Vid provtagningsplatsen representeras denna bergart av ett ungefär 1,2 m mäktigt lager med tydlig foliering där tunna glimmerrika skikt omger skikt av kvarts och deformerade rosa kalifältspatporfyroblaster/klaster. Foliationen blir tätare och mer glimmerrik närmre kontakten med den granatförande amfiboliten.



Figur 7: Kalifältspatgnejsgranit med deformerade kalifältspatporfyroblaster/ klaster. Bilden är tagen mot norr och blomman är 6 cm.

HBCL4- Gnejsig granatförande amfibolit (fig. 8)

En ungefär 2,1 m tjock sekvens av en mörk folierad bergart innehållande amfiboler och rikligt med granater i storlekar upp till ca 3 mm, kan ses gränsa till gnejsgraniten. Granaterna hittas i olika nyanser, en mörkare röd och en mer rosa variant. Porfyroblaster av plagioklas/kalifältspat är också framträdande. Denna bergart kunde identifieras endast i enhet 1 och inte kan följas i övergången till kyanitkvartsit i enhet 3.

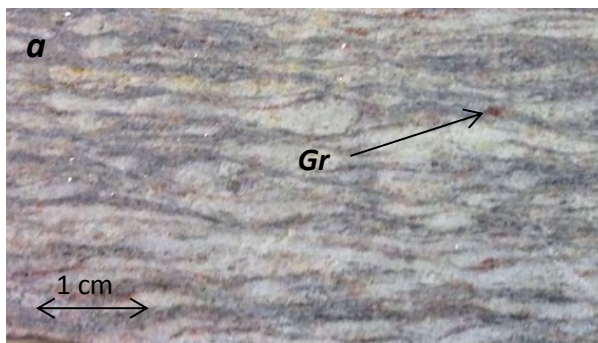
HBCL5 t o m HBCL9- Övergångsbergarter

HBCL5- Glimmerskiffer

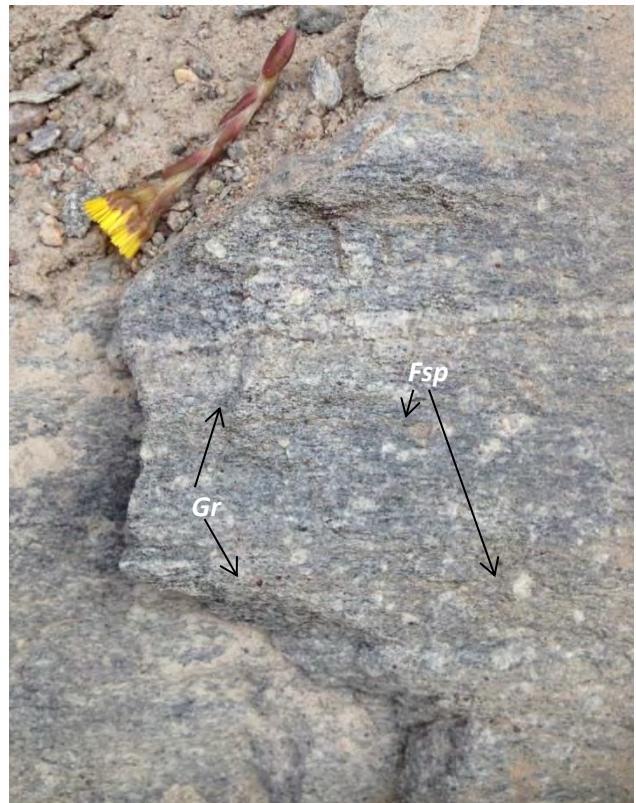
Det första provet i enhet 2 har klassificerats som glimmerskiffer och representeras av ett kraftigt vittrat, glimmerrikt, poröst och uppskattningsvis relativt tunt lager (ca 20 cm) med skiffrig brottyta och hittas endast i denna enhet.

HBCL6- Granatförande mylonit (fig. 9)

Provet är taget på gränsen till östra sidan av förkastningen och har liknande struktur men är ljusare jämfört med HBCL3. Förgrenad foliation där tunna mörka, ljusa eller röda glimmerrika lager omger vad som vid första anblicken är deformerade porfyroklaster av fältspat men som egentligen består av finkornig kvarts och fältspat. Ett visst innehåll av granater observeras men inte så mycket som i den gnejsiga granatbärande amfiboliten.

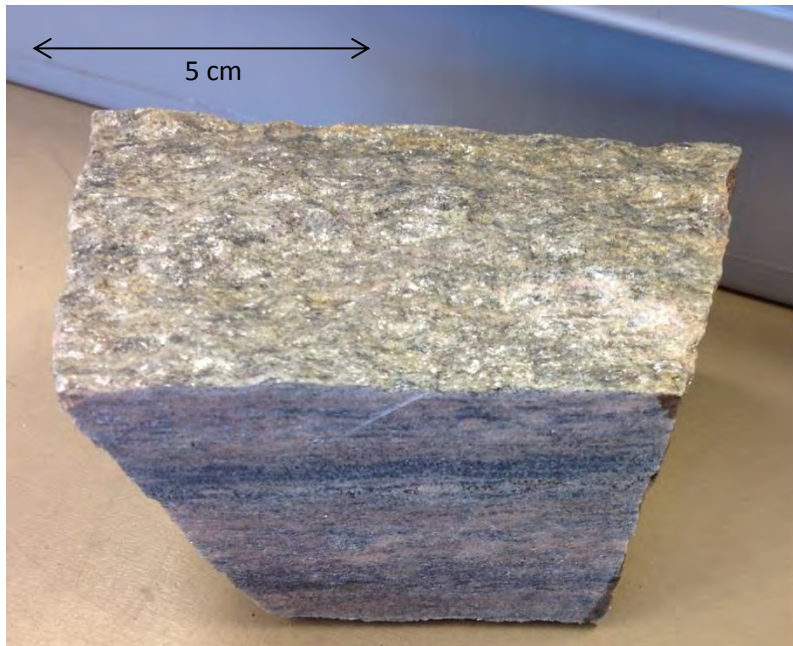


Figur 9a och b: Granatförande mylonit. B: Bilden tagen mot SÖ.



Figur 8: Gnejsig granatförande amfibolit sedd i NÖ riktning. Blomman i bild är 6 cm.





HBCL7- Gnejsgranit (fig. 10)

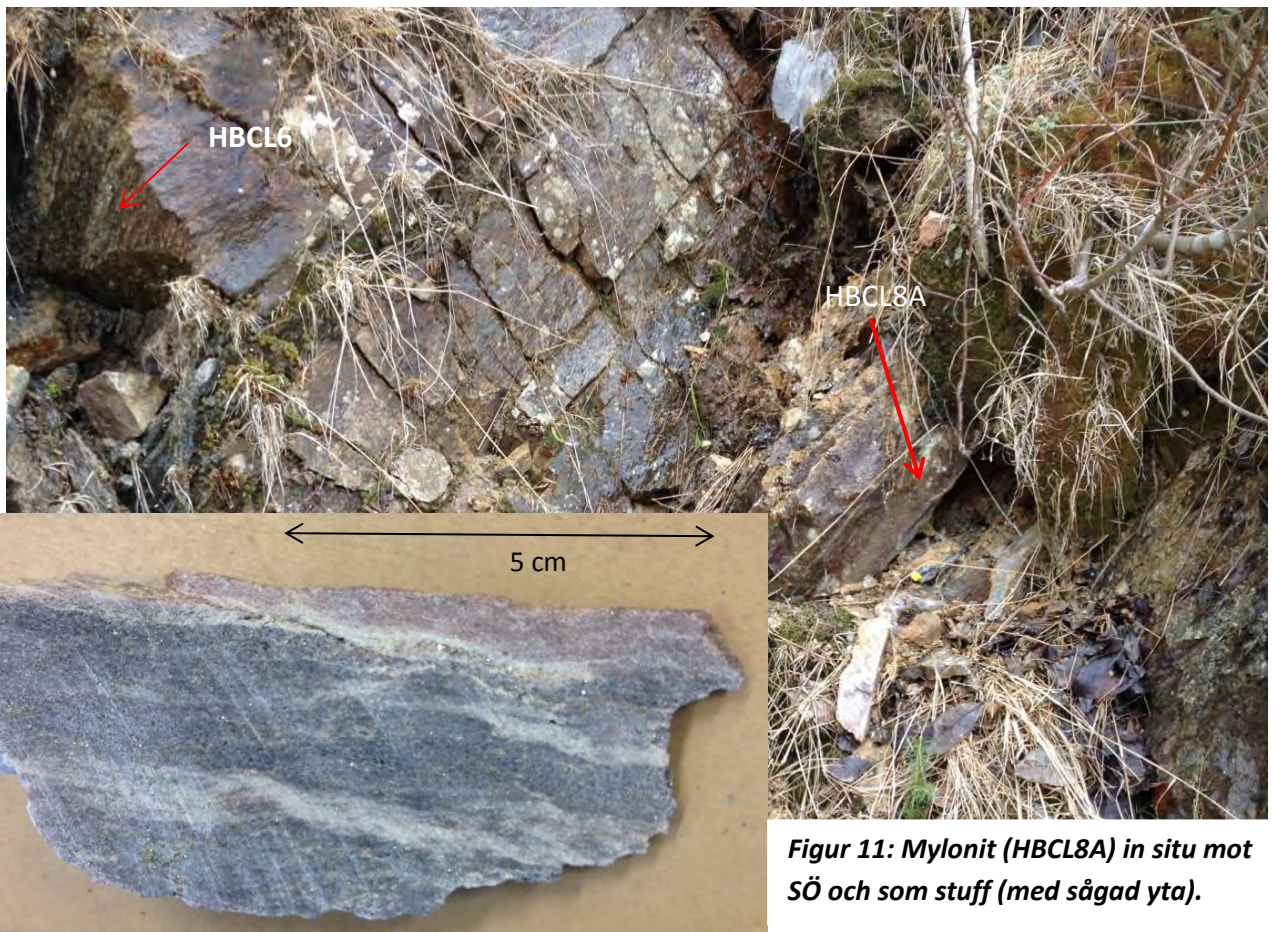
Bergarten är hård och kompakt med bandat utseende där glimmerrika lager ses varvade med lager dominerade av kraftigt deformerade rosa kalifältspatporfyroklastar, vilka är omgivna av tunna glimmerrika skikt.

HBCL8A- Mylonit (fig. 11)

Provet togs på västra sidan av förkastningen och var omgivet av tjock ljus glänsande lera av vittrade glimmermineral. På vissa ställen är stuffen så mjuk att den kan repas med nageln.

Figur 10: Gnejsgranit

Bergarten är finkornig, innehåller en hel del pyrit och en diffus foliation ses genom tunna oregelbundna stråk av ett mjukt ljus mineral i lite tjockare mörkare lager som också visar en mer skarp gräns mot hårdare, rödlila lager. Tydlig lineation orsakad av sträckning kan ses i de hårdare, bättre bevarade lagren, vilket tyvärr inte upptäcktes förrän proverna var rengjorda, så inga mätningar av riktningen gjordes.



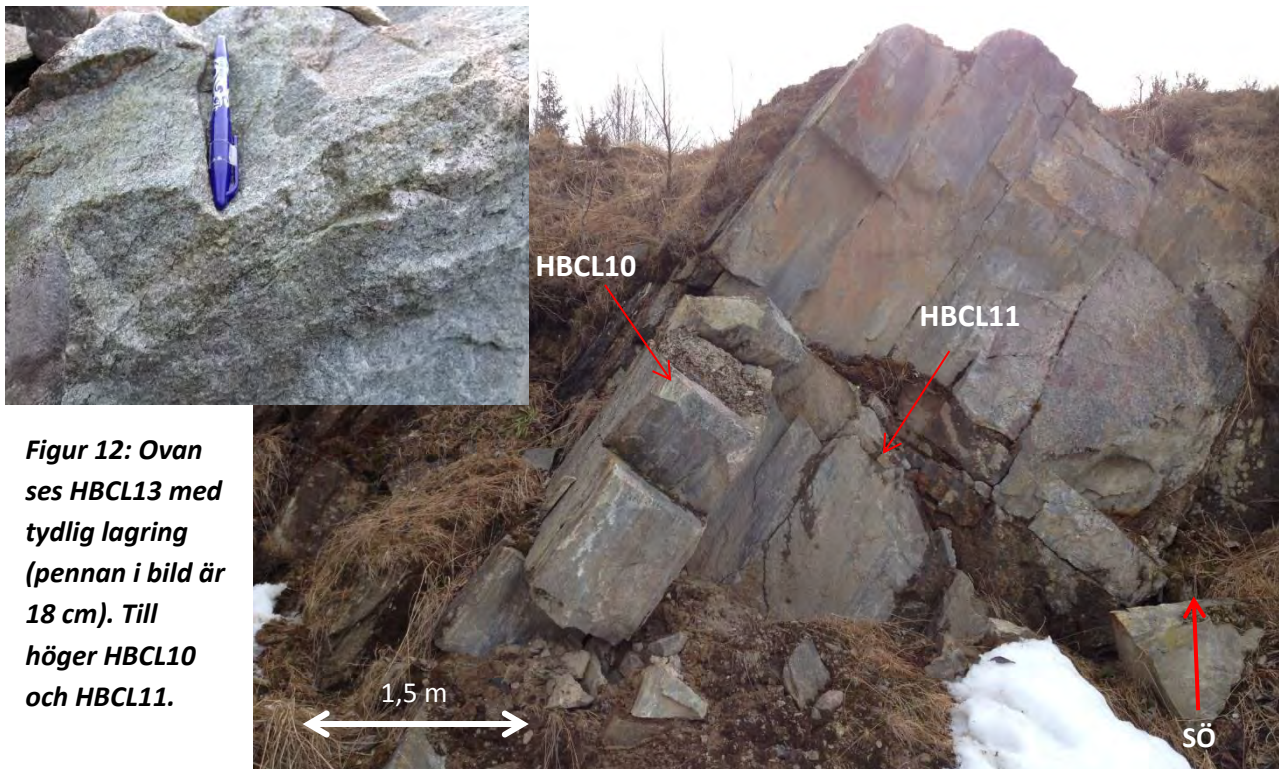
Figur 11: Mylonit (HBCL8A) in situ mot SÖ och som stuff (med sågad yta).

HBCL9- Mylonit

Även detta prov kan repas med nagel på vissa partier. Viss foliation kan ses (ljusa, mörka, rödbruna lager) som påminner om HBCL8A men är tunnare/tätare. En svagt grönblå ton anas där små linser av prismatiska kyanitkristaller är synliga för blotta ögat.

HBCL10, HBCL11, HBCL13, HBCL16, HBCL17- Kyanitkvarst

HBCL10, HBCL11, HBCL13 (fig. 12)



Figur 12: Ovan ses HBCL13 med tydlig lagring (pennan i bild är 18 cm). Till höger HBCL10 och HBCL11.

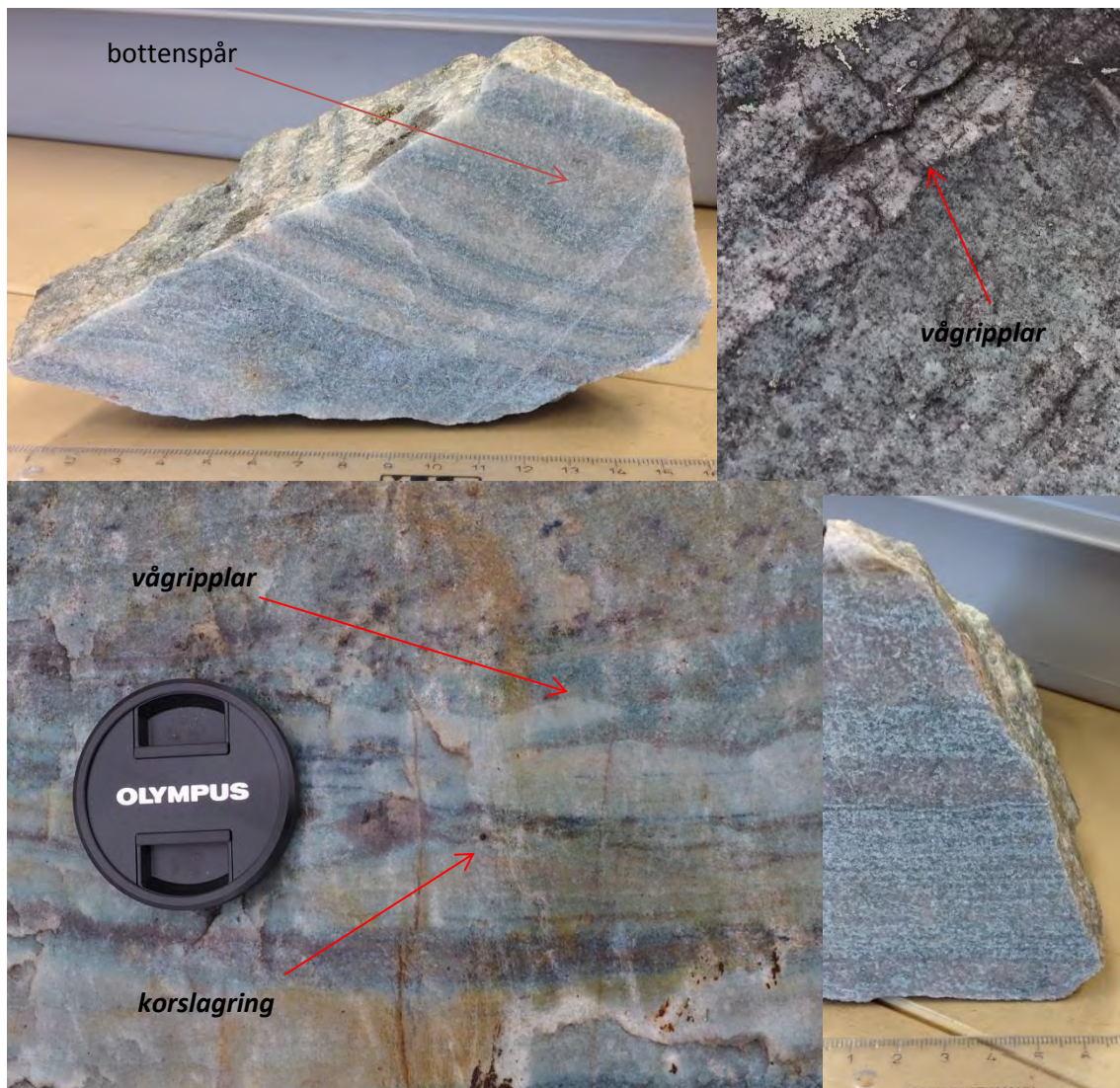
Totalt 7,8 m kvartsrik, kyanitbärande sekvens som också innehåller muskovit, rutil och klarblå aluminiumfosfater. Bergarten är hård och diffust bandad med lager av alternerande dominerande kornig kvarts eller små prismatiska svagt blå/turkosblå kyanitkristaller.

HBCL13 är något mer grovkristallin än HBCL10 och HBCL11 och har en tydligare lagring.

HBCL16, HBCL17 (fig. 13)

Kyanitkvarstiten uppvisar tydlig lagring i kvartsrika (vita)/kyanitrika (ljus turkosblå lager). De kyanitrika lagren är mer grov- kristallina än de kvartsrika som har kornig "sockerstruktur". Lagren uppvisar varierande tjocklek, från några mm till decimeter, och påminner väldigt mycket om normal sedimentär gradering. Båda har dessutom strukturer som kan tolkas som vågripplor, bottenspår och korslagring.

In situ ger HBCL17 intrycket av att de kvartsdominerade lagren har en gråblå ton, något som inte är lika uppenbart i ett mindre prov.

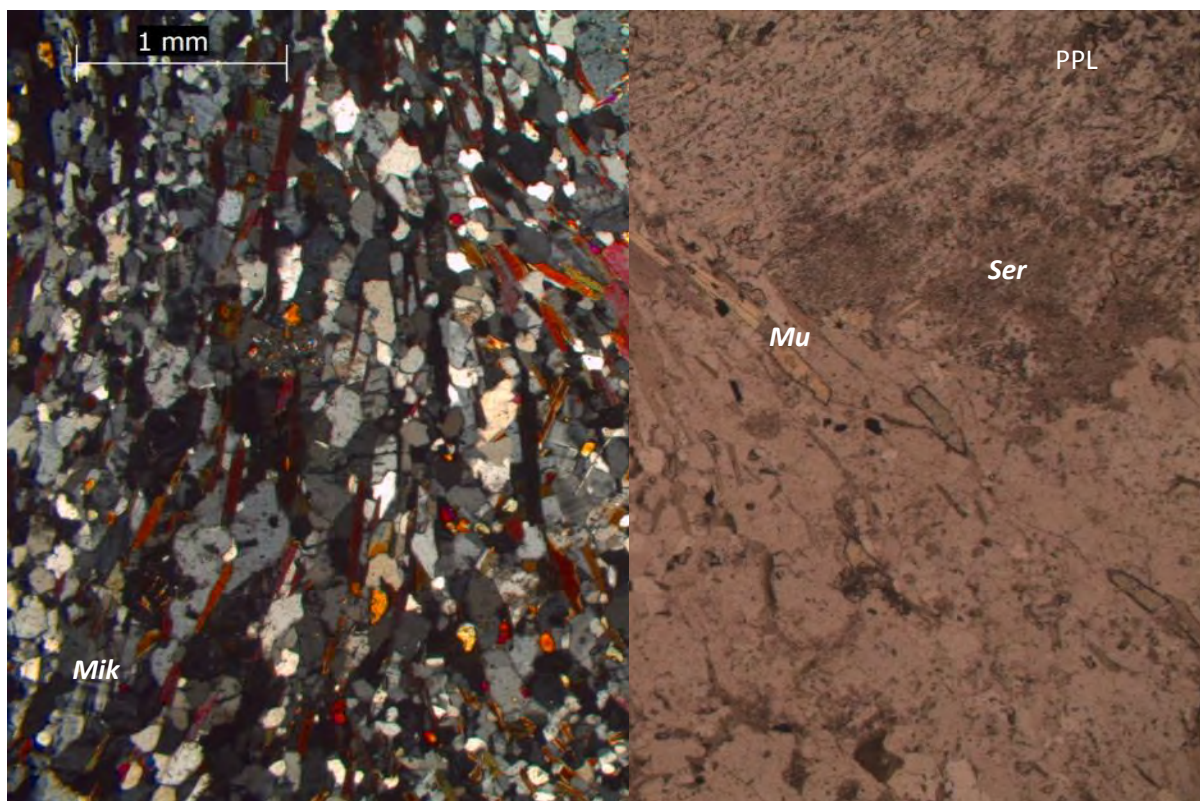


HBCL16 till vänster med strukturer liknande graderad lagring och bottenspår. Stora bilden med korslagring och vågripplar(foto: Alasdair Skelton). Linsskyddet motsvarar 7 cm. Till höger HBCL17 i stuff.

Petrografisk beskrivning

Detta är en sammanfattning av tunnslipsanalysen och punkträkningen. Fullständig beskrivning finns i tabellform (Appendix 1) och scannade bilder av alla tunnslip i Appendix 2. Förkortningar av minera och texturer: **Al-fos**- aluminiumfosfatmineral, **Amf** - amfibol, **Bt**-biotit, **Ep**-epidot, **Fsp**-fältspat, **Gr**- granat, **Kfs**-kalifältspat, **Kl**-klorit, **Kv**- kvarts, **Ky**- kyanit, **Mik**-mikroklin, **Mu**-muskovit, **Myr**- myrmekitisk textur, **Rut**-rutil, **Op**- opakt mineral, **Plg**-plagioklas, **Ser**- sericit

HBCL1- Kalifältspat: $42,0 \pm 1,9$ % Kvarts: $34,3 \pm 1,9$ % Biotit: $13,3 \pm 1,3$ % Klorit: $3,0 \pm 0,7$ % Epidot: $2,8 \pm 0,7$ % Muskovit: $1,9 \pm 0,5$ % Sericit: $2,0 \pm 0,6$ % Opakmineral: $0,8 \pm 0,4$ %



HBCL1: I bilden ses muskovit med prefererad orientering, sericitpåverkad fältspat och opåverkad mikroklin.

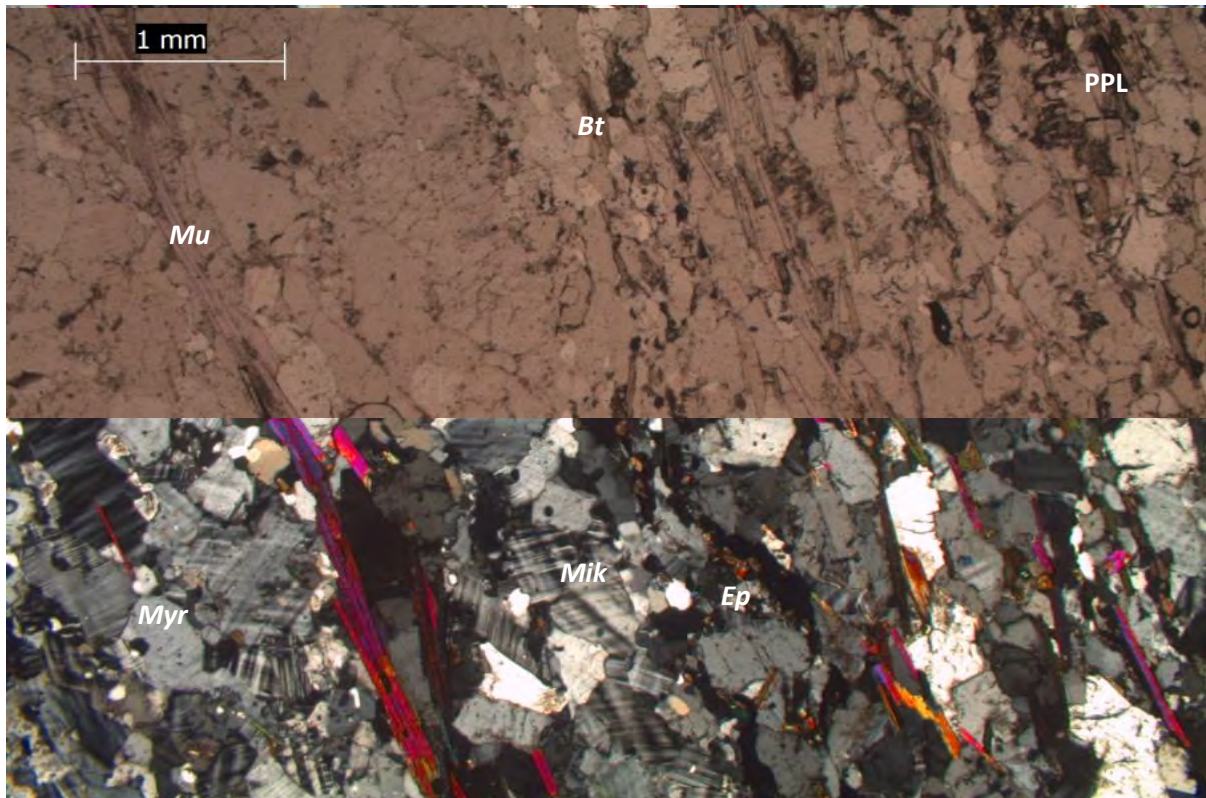
Relativt finkornigt prov dominerat av kalifältspat varav en del mikroklin med karaktäristisk flätad tvillingbildning, och som till lägre grad är drabbad av sericitering än övrig fältspat. Porfyroblaster av poikiloblastisk fältspat ses med en hel del inneslutningar av bl.a. muskovit medan mindre kristaller kan uppvisa enkel tvillingbildning. Grundmassa av kvarts som är omkristalliserade med ojämna till polygonala korngränser och så att de tillsammans med övriga mineral uppvisar prefererad orientering och foliation. Klorit med anomala interferensfärger verkar ersätta biotit och ge den en svagt grön ton i planpolariserat ljus medan muskoviten är opåverkad. Kluster eller enstaka korn av ett mineral med hög relief, fläckigt utseende och anomal, andra eller till och med tredje gradens interferensfärger, har tolkats till epidot och är vanligt förekommande. Plagioklas med polysyntetisk tvillingbildning ses vid optisk genomgång av tunnslipen men träffas inte vid räkningen. Aggregat av opaka mineral har tolkats till rutil på grund av vit-ljusblå färg i reflekterat ljus, och kemisk information från XRF analys.

HBCL3- Kalifältspat: $65,0 \pm 1,9$ % Kvarts: $15,9 \pm 1,5$ % Biotit: $6,4 \pm 1,0$ % Muskovit: $3,8 \pm 0,8$ % Epidot: $2,5 \pm 0,6$ % Sericit: $2,5 \pm 0,6$ % Plagioklas: $2,0 \pm 0,6$ % Opakmineral: $2,0 \pm 0,6$ %

I HBCL3 identifieras inga tydliga porfyroblaster utan provet har mer allmänt ojämnkornig textur där mikroklin är den övervägande kalifältspaten. Sericitpåverkan och myrmekitisk textur ses hos fältspat och var det som, förutom karaktäristisk tvillingbildning, användes till att skilja kvarts och fältspat åt vid räkningen. Ojämnkornig kvarts uppvisar undulös utsläckning eller tecken på omkristallisering med

ojämna till polygonala korngränser. Foliation åstadkoms av muskovit, biotit, epidot och opakmineral genom prefererad orientering, men även kvarts och fältspater har utdragna kristaller.

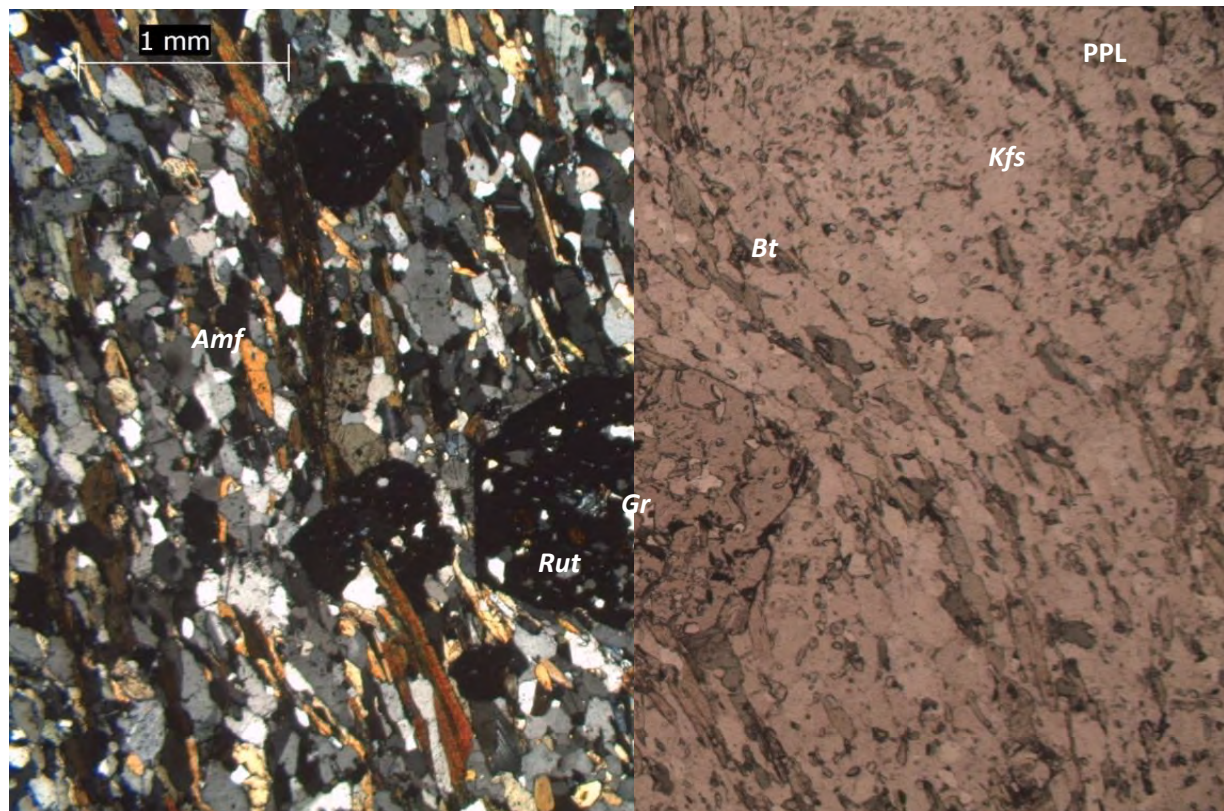
I detta prov har inte opaka mineraler med säkerhet klassificerats men uppvisar svagt gul färg i reflekterat ljus och ses i association med epidot och glimmermineral. Ett mineral som var färglöst i planpolariserat ljus och hade första gradens interferensfärger, samt måttlig relief och två klyvplan i 90° vinkel, kunde inte klassificeras.



HBCL3: Muskovit, biotit, epidot och opakt mineral ses med prefererad orientering och fältspat visar myrmekitisk textur.

HBCL4- Kvarts $54,5 \pm 2,0$ % Amfibol: $21,9 \pm 1,7$ % Plagioklas: $8,6 \pm 1,1$ % Biotit: $5,4 \pm 0,9$ % Granat: $5,1 \pm 0,9$ % Epidot: $3,3 \pm 0,7$ % Opakmineral: $0,8 \pm 0,4$ %

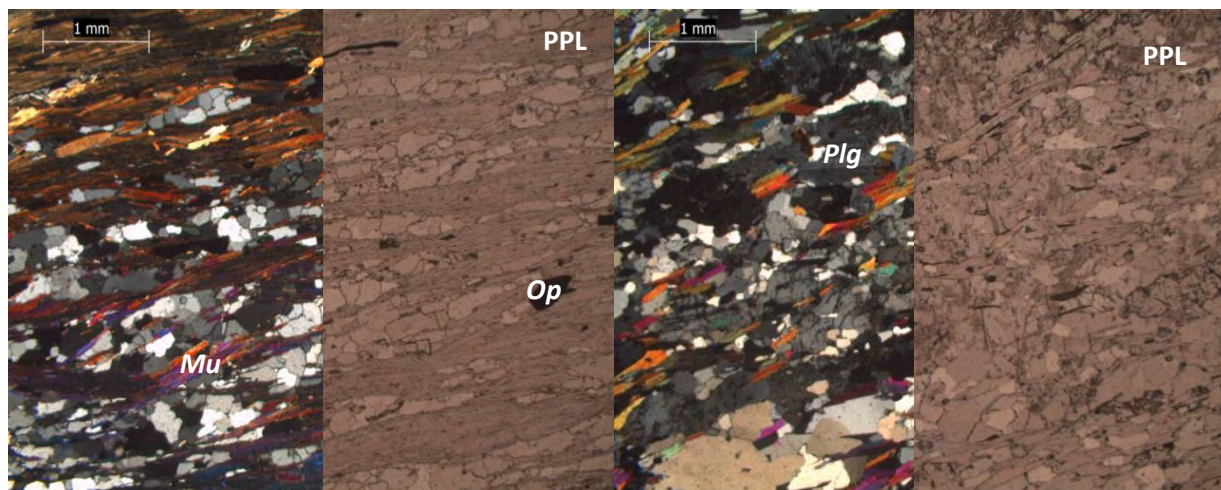
Provet är generellt finkornig med porfyroblaster av euhedra till subhedra poikiloblastiska granater med inneslutningar av bl.a. rutil. Den ojämnkorniga kvartsen i grundmassan visar i vissa fall undulös utsläckning men förekommer också med ojämn till polygonal omkristallisation av korngränser. Tunna lager där amfiboler och biotit dominerar över kvarts ger foliation men amfibol återfinns också relativt jämnt fördelat i övriga delar av provet. Porfyroblaster av plagioklas? och kalifältspat ses i vissa fall med prismatiska inneslutningar av ett oidentifierat mineral. Korn eller kluster av epidot med fläckig anomal första eller andra gradens interferensfärger är relativt vanligt.



HBCL4: I mitten ses en poikiloblastisk granat med inneslutningar av bl a rutil. Amfibol och biotit bildar foliation genom prefererad orientering. I övre högra hörnet hittas en porfyroklast av fältspat.

HBCL5- Kvarts: $45,5 \pm 2,5$ % Muskovit $35,5 \pm 2,4$ % Kalifältspat: $10,5 \pm 1,5$ % Plagioklas: $4,2 \pm 1,0$ % Sericit: $2,8 \pm 0,8$ % Biotit: $0,8 \pm 0,4$ % Opakmineral: $0,8 \pm 0,4$ %

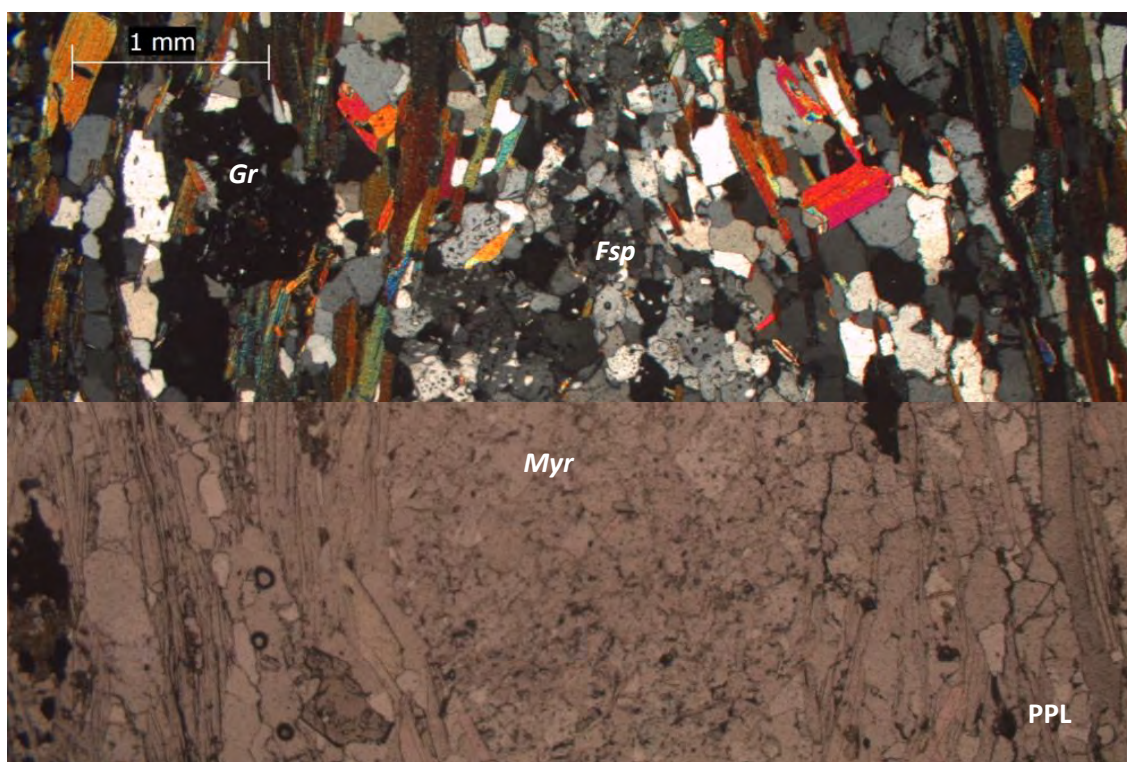
HBCL5 består i två kompositionsmässigt olika delar varav den ena är mer finkristallin och har större andel muskovit och opakmineral, medan den andra har större mineralkorn och mer plagioklas och fältspat. Kvarts med oregelbundna korngränser, ojämnkornig omkristallisering och undulös utsläckning förekommer. Den höga andelen muskovit en tydlig foliationsriktning. Fältspaten är sericitpåverkad och har prismatisa inneslutningar medan plagioklasen uppvisar både enkel och polysyntetisk tvillingbildning. De opaka mineralen representeras av pyrit som i reflekterat ljus är ljust gul till färgen och återfinns främst i den halvan av provet som har lägre andel fältspat.



HBCL5: Den vänstra bilden visar provets finkristallina del med opakmineral och tätare foliering av muskovit. Till höger ses större korn och högre andel fältspat.

HBCL6- Kvarts: $46,3 \pm 2,0$ % Muskovit: $29,0 \pm 1,8$ % Kalifältspat: $21,6 \pm 1,6$ % Plagioklas: $1,8 \pm 0,5$ % Sericit: $0,6 \pm 0,3$ % Opakmineral: $0,3 \pm 0,2$ % Epidot: $0,2 \pm 0,2$ % Granat: $0,2 \pm 0,2$ %

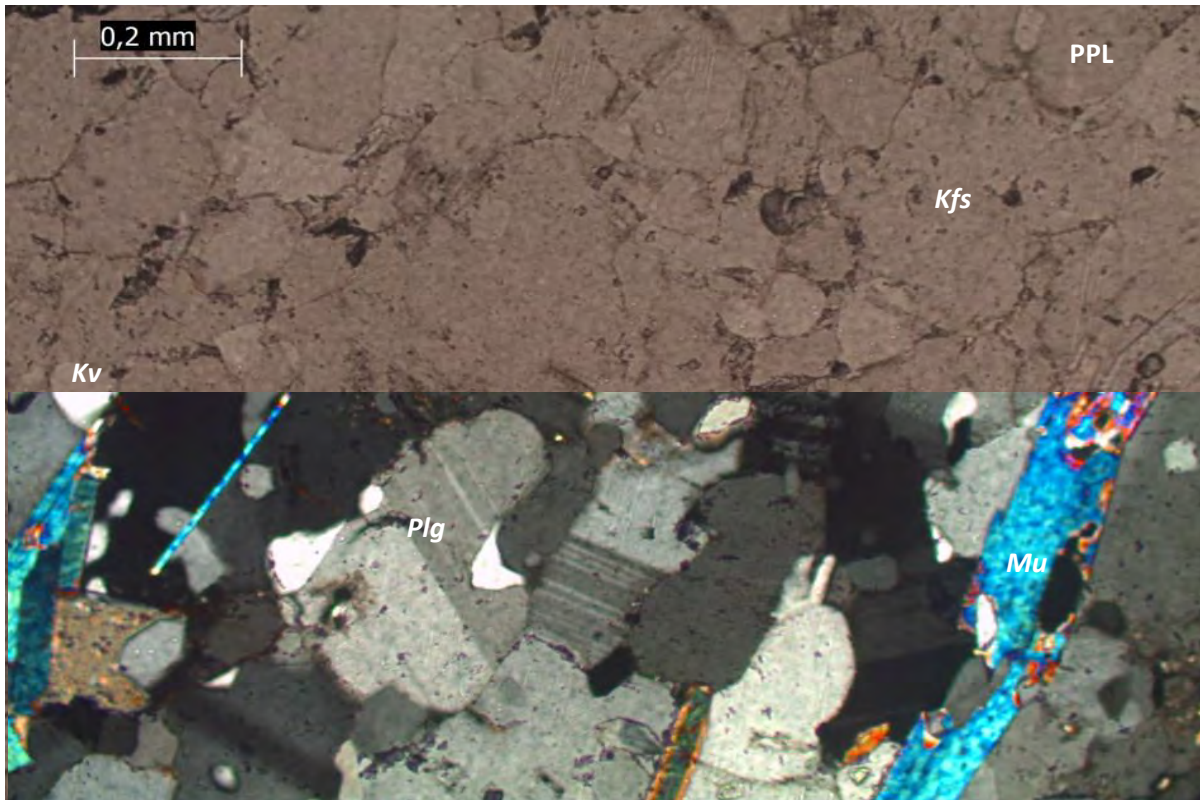
Provet karakteriseras av kvarts och fältspatlager med olika kornstorlekar vilka är separerade av muskovitkristaller med minst två olika prefererade orienteringar, vilket ger ett intryck av vågig foliation. Kvartsen hittas med uppskattat bimodal kornstorlek och förekommande undulös utsläckning eller mestadels omkristalliserad med ojämna korngränser. omkristallisering Fältspaten har regionalt förekommande myrmeakitisk textur och är sericitpåverkad medan de subhedrala till anhedrala granaterna har sprickor och oregelbundna inneslutningar. Tre mineral med hög relief och liknande kornigt utseende men med olika interferensfärger (från anomal första till fjärde ordningen) har antagits vara olika typer av epidot då de ofta hittas tillsammans. Opaka mineral har tolkats till rutil på grund av vit- ljusblå ton i reflekterat ljus.



HBCL6: Foliation av muskovit runt relativt finkorniga aggregat med kvarts och fältspat. Lägg märke till den omfattande myrmeakitiska texturen hos fältspaten. En subhedral poikiloblastisk granat syns också i övre vänstra hörnet.

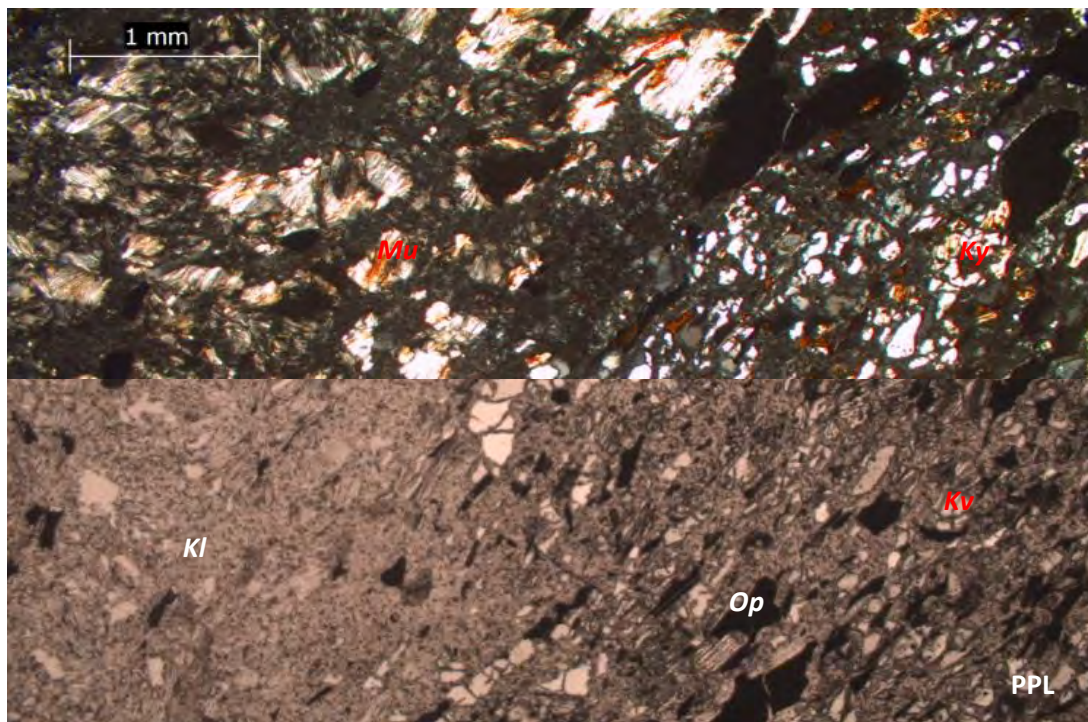
HBCL7- Kvarts: $39,9 \pm 2,5$ % Kalifältspat: $29,9 \pm 2,3$ % Muskovit: $13,5 \pm 1,7$ % Plagioklas: $10,4 \pm 1,6$ % Biotit: $3,6 \pm 0,9$ % Sericit: $1,6 \pm 0,6$ % Opakmineral: $1,3 \pm 0,6$ %

Ojämnkornig kvarts ses dominera över kalifältspat och plagioklas. Kvartsen förekommer med undulös utsläckning eller roterad och omkristalliserad med mestadels ojämna korngränser, vilken också lokalt gäller för fältspaterna som för övrigt visar sericitomvandling och myrmeakitisk textur. Plagioklasen hittas med polysyntetisk och deformerad tvillingbildning medan mikroklin identifieras med karaktäristisk flätad tvillingbildning. Det var ibland svårt att skilja kvarts och fältspat åt i detta prov. Muskovit syns koncentrerad i lager och skapar foliation med visst vågigt intryck.



HBCL7: I bilden ses plagioklas med polysyntetisk tvillingbildning, kalifältspat och muskovit.

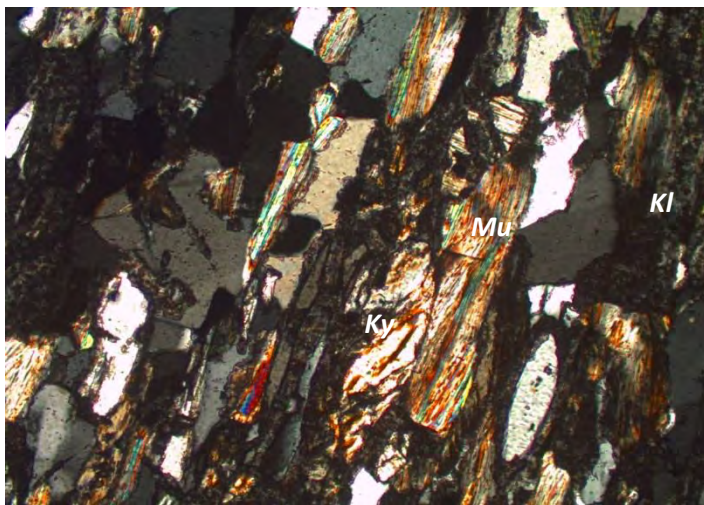
HBCL8A- Klorit: $57,9 \pm 2,1$ % Kvarts: $14,4 \pm 1,5$ % Opakmineral: $12,4 \pm 1,4$ % Kyanit: $10,1 \pm 1,3$ %
Muskovit: $5,1 \pm 1,0$ % Epidot: $0,2 \pm 0,2$ %



HBCL8A: Ett nätmönster av kloritiserad muskovit och kyanit. Kvarts är mindre påverkad men hittas med klorit längs korngränserna.

Omfattande kloritpåverkan bildar ett nätmönster där ursprungsmineralet är helt eller delvis ersatt. Kvarts ses påverkat längs korngränser eller sprickor. Finkornig eller fibrös klorit med anomal interferensfärg ersätter främst kyanit och muskovit i något som verkar ha varit bandning, där kvartsrika lager är till synes mindre påverkade och alla mineral ger intrycket av att ha samma orientering. Opakmineral är opåverkade, frekvent förekommande och representeras av anhedral pyrit och rutil varav pyriten är opak medan rutilen är brun och associerad med en orange oidentifierad mineralfas.

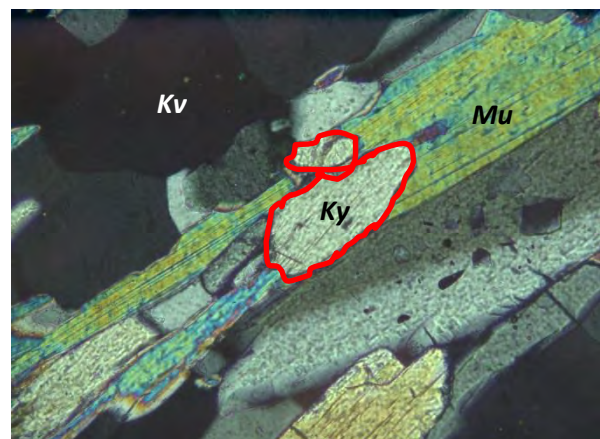
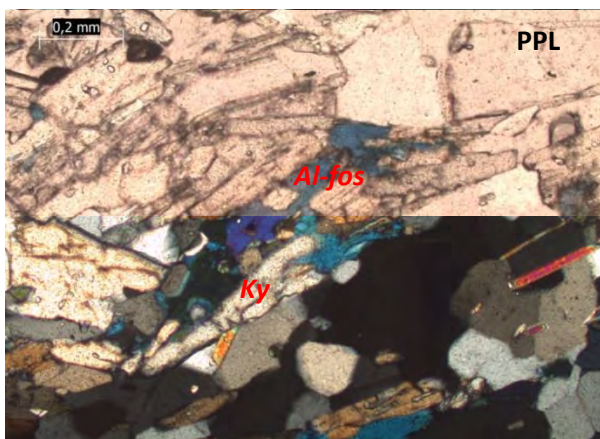
HBCL9- Kvarts: $67,2 \pm 2,1$ % Klorit: $20,4 \pm 1,8$ % Muskovit: $6,9 \pm 1,2$ % Kyanit: $3,1 \pm 0,8$ %
Opakmineral: $1,9 \pm 0,6$ % Epidot: $0,4 \pm 0,3$ %



HBCL9: Bilden visar kloritpåverkad muskovit och kyanit.

Lagring ses i form av ojämnkornig omkristalliserad kvarts med ojämna till polygonala korngränser och klorit-påverkad muskovit och kyanit-dominerade lager. De kvartsdominerade lagren uppvisar generellt större kornstorlek än de kyanit och muskovitdominerade. Alla mineral ger intryck av att ha samma orientering. Muskovit kan ses ersätta kyanit. Pyrit hittas relativt jämnt fördelad i provet och har inga reaktionstexturer. En mindre mängd epidot med kornigt uttryck och fläckig andra ordningens interferensfärger påträffas.

HBCL10- Kvarts: $63,0 \pm 1,9$ % Kyanit: $29,7 \pm 1,8$ % Muskovit: $5,2 \pm 0,9$ % Al-fosfatmineral: $1,2 \pm 0,4$ %
Opakmineral: $0,6 \pm 0,3$ % Epidot: $0,3 \pm 0,2$ %

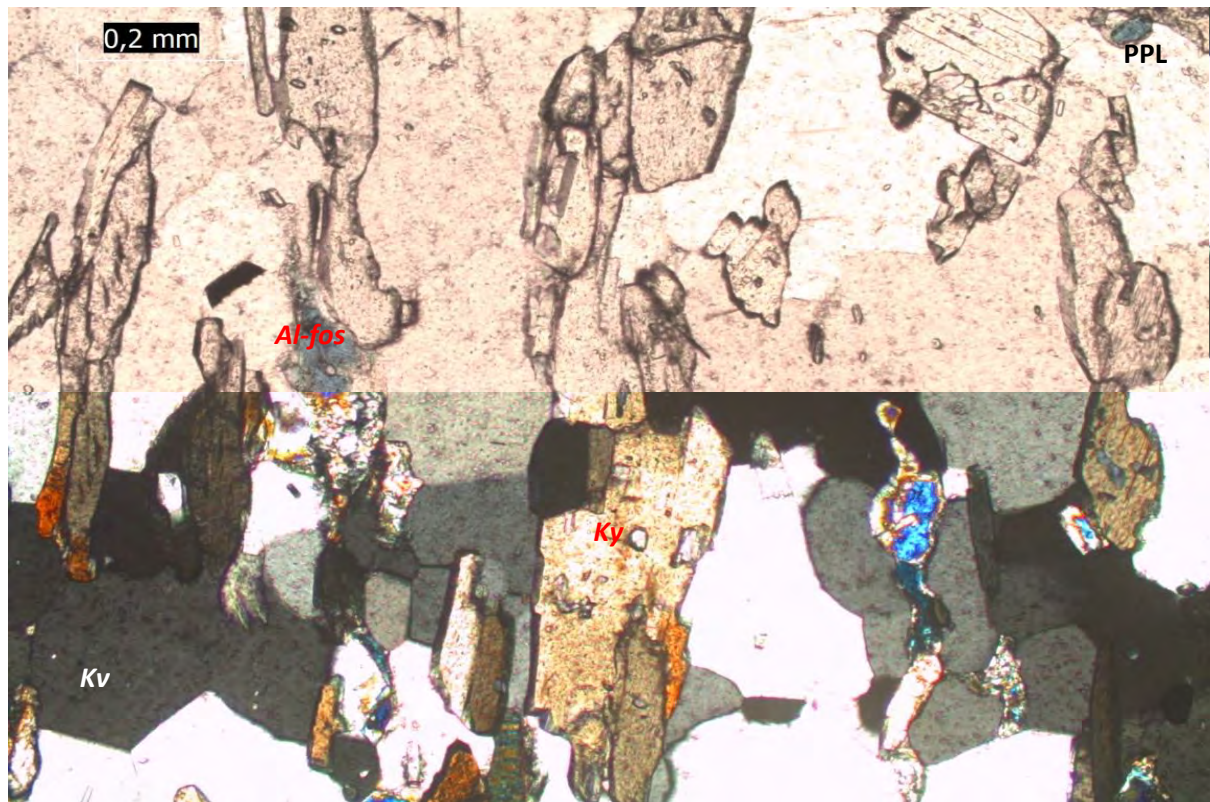


HBCL10: Till vänster: Al-fosfatmineral ses ersätta kyanit. Högra bilden: Muskovit ersätter kyanit (markerad med rött).

Kvarts är dominerande och omkristalliserad med ojämna till polygonala korngränser samt uppskattat bimodal kornstorlek. Kyanit är jämnt fördelad i provet förutom ett fåtal linsliknande ansamlingar. Där ses reaktionstexturer i form av kyanit som blir ersatt av Al-fosfatmineral, vilket koncentrerar dessa till

kyanitlinserna. Även opakmineralen, som i detta prov tolkats till rutil, ser till stor del ut att vara associerad med kyanit och aluminiumfosfatlinserna. Kyaniten ses med enkel tvillingbildning och två klyvplan som bildar 80/100° vinklar. Även i detta prov hittas kyanit som blir ersatt av muskovit.

HBCL11- Kvarts: $54,2 \pm 2,0$ % Kyanit: $42,1 \pm 2,0$ % Muskovit: $3,0 \pm 0,7$ % Opakmineral: $0,3 \pm 0,2$ % Al-fosfatmineral: $0,2 \pm 0,2$ % Epidot: $0,2 \pm 0,2$ %



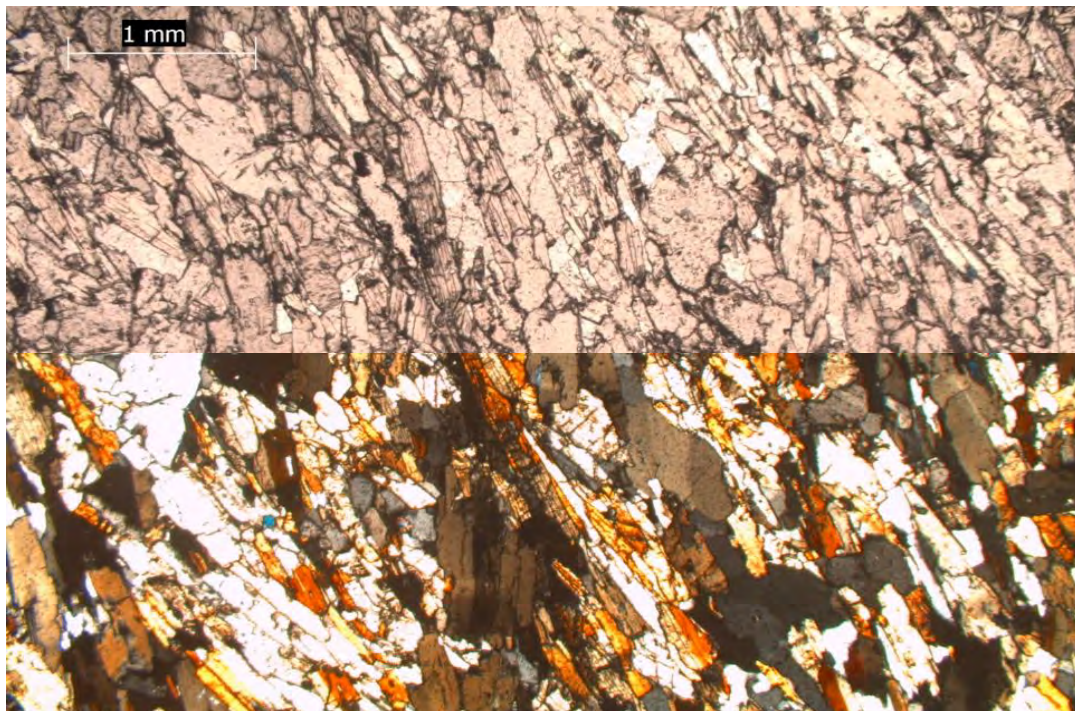
HBCL11: Aluminiumfosfaterna ses bli ersatta av ett finkornigt mineral med första till andra ordningens interferensfärger.

Ojämnkornig kvarts med ojämna till polygonala korngränser i vilken kyanit ses relativt jämnt fördelad (viss koncentration i lager) med prefererad orientering. En ansamling kvartskorn med större storlek hittas i provets nedre del. Undulös utsläckning förekommer hos både kvarts och kyanit vilken också har enkel tvillingbildning samt två klyvplan med vinklarna 80/100°. Muskovit har subhedral till nålformad kristallform och ses ersätta kyanit men är endast sällsynt förekommande. Aluminiumfosfater visar klarblå färg i planpolariserat ljus och ingen eller stark pleokroism, samt enkel tvillingbildning. Liksom pyrit, epidot och sericit är sällsynt förekommande.

HBCL13- Kyanit: $59,3 \pm 2,1$ % Kvarts: $38,7 \pm 2,1$ % Al-fosfater: $1,3 \pm 0,5$ % Muskovit: $0,4 \pm 0,3$ % Opakmineral: $0,4 \pm 0,3$ %

HBCL13 är ett kyanitdominerat prov med subhedrala till anhedrala kyanitkristaller med till synes två prefererade orienteringar (den ena i ca 60° vinkel mot den andra) i ojämnkornig kvarts med mestadels ojämna korngränser. Kyaniten uppvisar enkel tvillingbildning och två klyvplan i 80/100° vinkel och ersätts av klarblåa (i planpolariserat ljus) aluminiumfosfatmineral medan ett finkornigt mineral verkar ersätta fosfaterna. Aluminiumfosfatmineralen kan ha polysyntetisk tvillingbildning och

rak till sned utsläckning. I tunnslipen hittas också en mindre andel muskovit som har subhedral till acikulär kristallform samt opakmineral som med osäkerhet tolkats till pyrit och rutil.

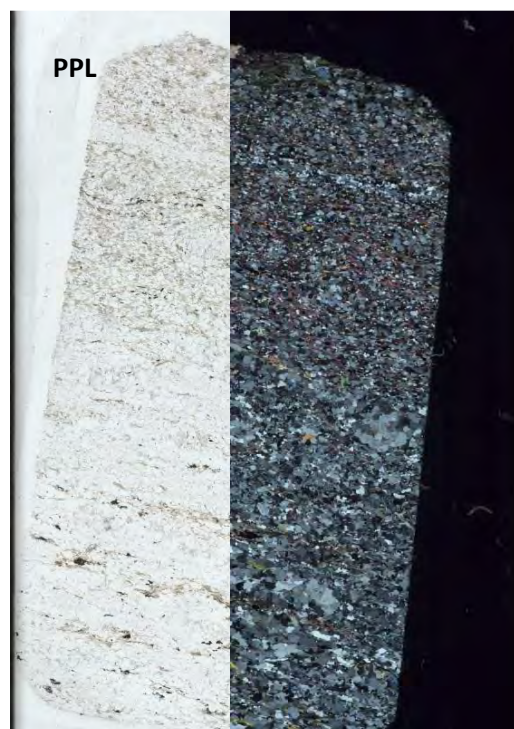


HBCL13: I bilden ses kyanitkristaller dominera och visa prefererad orientering.

HBCL14- Kvarts: $39,0 \pm 2,0$ % Kalifältspat: $34,8 \pm 1,9$ % Biotit: $13,1 \pm 1,4$ % Plagioklas: $4,3 \pm 0,8$ % Muskovit: $3,2 \pm 0,7$ % Epidot: $2,8 \pm 0,7$ % Sericit: $1,3 \pm 0,5$ % Opakmineral: $0,8 \pm 0,4$ % Klorit: $0,7 \pm 0,3$ %

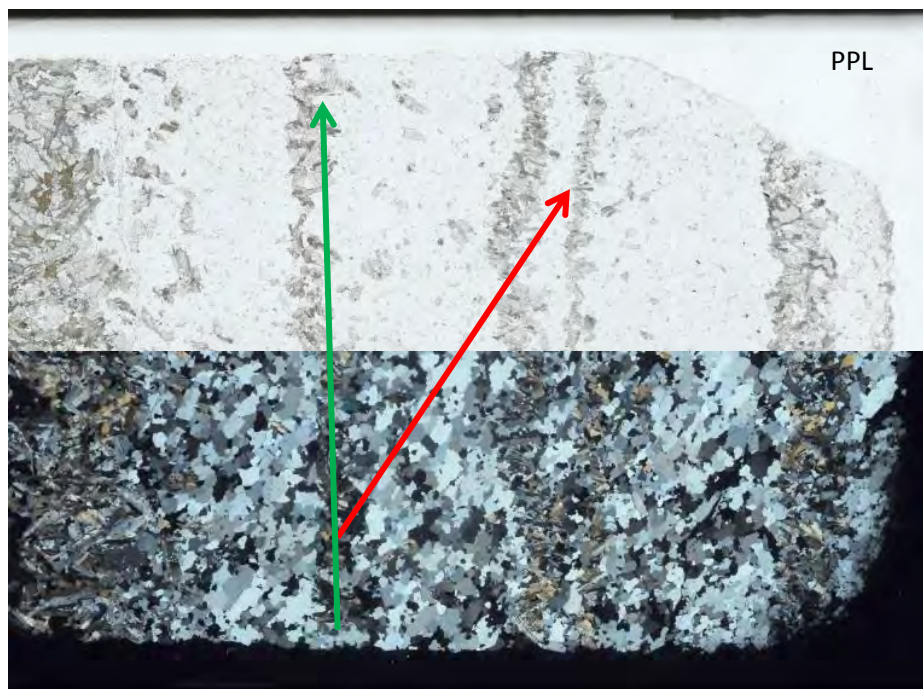
Ojämnkornig kvarts ses med omkristalliserat ojämna korngränser som lokalt har större kornstorlek i gnejsdelen medan fältspaterna generellt sett har jämn storlek. Mikroclin hittas enbart i gnejsdelen och är mindre påverkad av sericit än övrig fältspat som hittas som porfyroblaster i porfyrdelen och uppvisar myrmekitisk textur eller prismatiska inneslutningar. Plagioklasen har svag polysyntetisk tvillingbildning och inneslutningar. Glimmermineralen skapar med sin orientering foliationen som är tätare och ger ett vågigt intryck i porfyrdelen, och uppvisar ibland en textur som liknar myrmekitisk textur. I gnejsdelen ges foliationen av lager med dominerande glimmermineral med prefererad orientering alternativt kvarts och fältspat. Klorit och epidot ses i association till varandra där epidoten kan ha enkel tvillingbildning och olika interferensfärger (från anomal första till fjärde ordningen). Opakmineral är inte klassificerat i detta prov.

HBCL14: I det skannade tunnslipet t. h syns tydligt kontakten mellan kalifältspatgnejsgranit och skiffrig fältspatporfyr genom skillnaden i kornstorlek.



HBCL16- Kvarts: $70,3 \pm 1,8$ % Kyanit: $28,8 \pm 1,8$ % Opakmineral: $0,8 \pm 0,4$ % Muskovit: $0,2 \pm 0,2$ %

Provet är relativt grovkristallint med distinkt bandning i kvartsdominerade och kyanitdominerade lager med övervägande andel kvarts som uppskattas ha bimodal kornstorlek och ojämn till polygonal omkristalliserad form. Kvartskornen förekommer i vissa fall med undulös utsläckning och har en tydlig prefererad orientering i ungefär 60° vinkel mot bandningen medan kyanitkristallerna trots sträckning i olika riktningar ger intrycket av en dominant orientering, vinkelrätt mot bandningen i provet. Kyanitkristallerna hittas med både polysyntetisk och enkel tvillingbildning samt två klyvplan i vinklarna $80/100^\circ$. Opaka mineral representeras av anhedral rutil och en mindre andel muskovit kan ses.

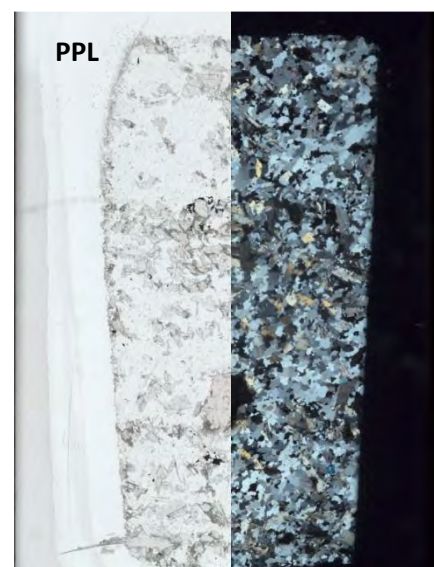


HBCL16: Den gröna pilen visar bandning och den röda pilen kvartskornens orientering ca 60° mot bandningen.

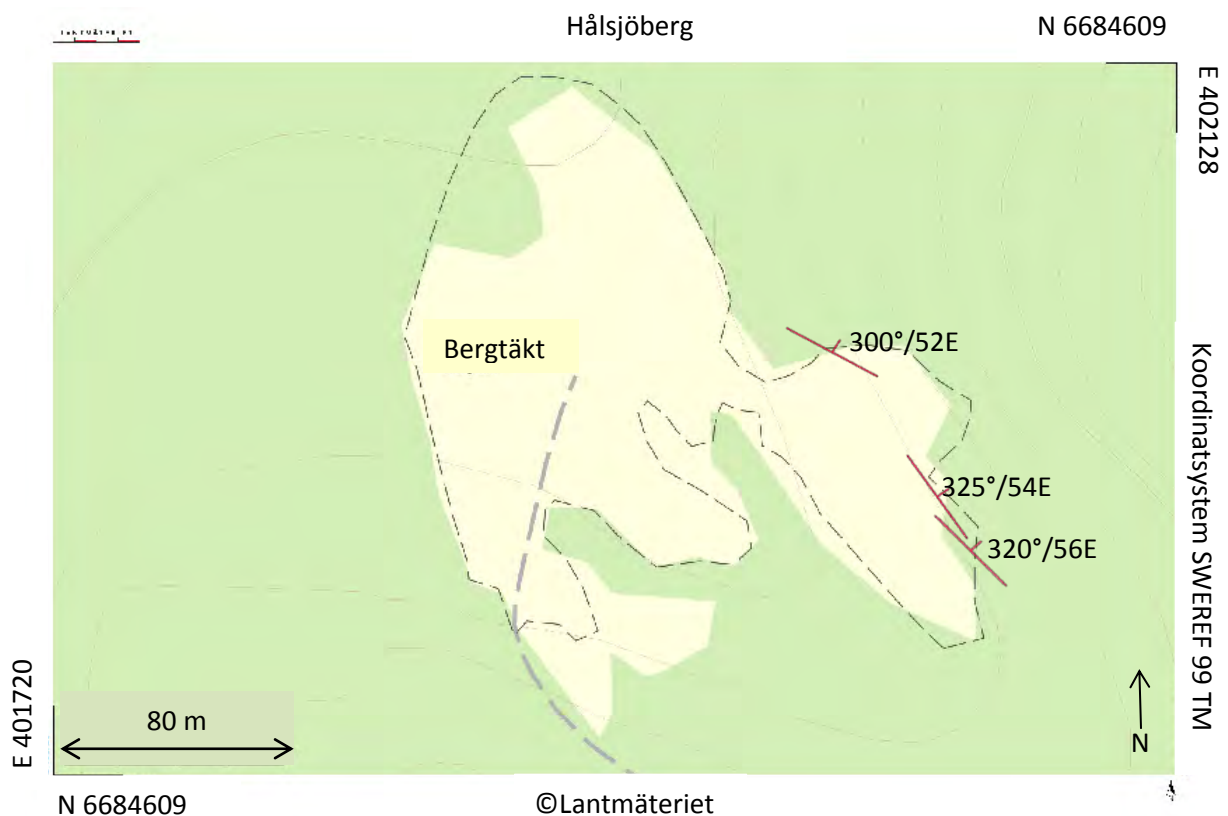
HBCL17- Kvarts: $66,2 \pm 2,2$ % Kyanit: $32,9 \pm 2,2$ % Muskovit: $0,4 \pm 0,3$ % Opakmineral: $0,4 \pm 0,3$ %

HBCL17 är relativt grovkristallin med högre kyanitinnehåll och lägre kvartsandel och inte lika tydlig bandning som HBCL16. I korspolariserat ljus anas en subtil prefererad orientering av kvarts och kyanit ungefär vinkelrätt mot varandra vilket motsvarar en vinkel på mellan 50 och 60° mot bandningen. Ojämnkornig kvarts förekommer med undulös utsläckning eller ojämn till polygonalt omkristalliserade korngränser medan kyaniten kan ha enkel eller polysyntetisk tvillingbildning och två klyvplan i $80/100^\circ$ vinkel. Även i detta prov är muskovithalten låg och rutil har räknats som opakt mineral.

HBCL17: Till höger visas en skannad bild av tunnslipet som låter se bandningen i provet.



Strykning och stupning



Figur 14: Modifierad karta från Lantmäteriet över provtagningsplatsen i Hålsjöberg. Tre mätningar gjordes och visar på minskande stupning norrut.

Punkträkning och XRF

Räknade mineral är angivna i modal % och XRF data som vikt % ämne i förhållande till bulkkompositionen. Räknade punkter varierar mellan 385 och 641 beroende på provets storlek. Felstaplar anger standardavvikelse (σ) [ekv. 2 och 3].

En profil med bergarter och ungefärliga avstånd mellan olika provpunkter visas nedanför varje diagram.

Förkortningar av bergarter i profilen: **SFP**- skiffrig fältspatporfyr, **KSPGG**- kalifältspatgnejsgranit, **GS**- glimmerskiffer, **GGA**- granatförend gnejsig amfibolit, **GMY**-granatförande mylonit, **GG**- gnejsgranit, **MY**- mylonit, **KYKV**- kyanitkvartsit

Vikt % ämne														
ProvID	Al	σ	Ca	σ	K	σ	LE	σ	Si	σ	Ti	σ	Fe	σ
HBCL1	11,1	1,83	2,68	0,592	4,70	2,14	32,8	3,55	43,5	1,70	0,423	0,0643	4,47	0,866
HBCL3	12,7	1,14	1,78	0,246	6,13	1,27	33,4	1,44	44,1	1,45	0,269	0,102	1,45	0,464
HBCL4	12,1	3,12	6,70	0,884	0,410	0,139	31,9	2,20	42,8	4,40	0,555	0,144	4,89	1,11
HBCL5	11,1	2,19	1,22	0,742	3,29	0,963	39,4	7,57	42,6	5,44	0,189	0,0825	1,51	0,544
HBCL6	10,7	1,36	1,41	0,458	3,24	0,701	34,8	1,08	47,7	1,31	0,282	0,0863	1,73	0,452
HBCL7	14,0	2,04	1,78	0,187	2,28	0,508	36,1	2,58	42,7	1,78	0,398	0,146	2,51	0,848
HBCL8A	28,5	2,53	0,571	0,400	0,207	0,0354	29,1	3,01	31,0	2,66	1,65	0,581	4,27	1,31
HBCL9	8,36	4,50	0	0	0,612	0,167	34,3	4,47	54,8	2,13	0,252	0,0619	1,16	0,438
HBCL10	11,6	1,48	0,0155	0,0252	0,439	0,116	31,3	2,83	55,3	1,93	0,706	0,286	0,560	0,0272
HBCL11	15,3	3,59	0	0	0,189	0,0809	29,2	2,66	54,5	2,10	0,0206	0,00948	0,662	0,0792
HBCL13	28,9	6,94	0,0242	0,583	0,0858	0,0542	25,7	2,76	44,0	5,47	0,251	0,374	0,947	0,211
HBCL14	10,2	1,04	2,45	0,763	3,62	0,933	36,7	3,46	44,1	3,56	0,349	0,124	2,35	1,49
HBCL16	6,82	9,34	0	0	0,0174	0,0226	35,5	5,05	56,6	6,08	0,731	1,21	0,276	0,141
HBCL17	13,0	3,63	0	0	0,014	0,0203	30,8	3,33	55,7	2,67	0,0365	0,0285	0,492	0,207

Tabell 1: Tabellen visar XRF data för utvalda ämnen i vikt % och standardavvikelse (σ).

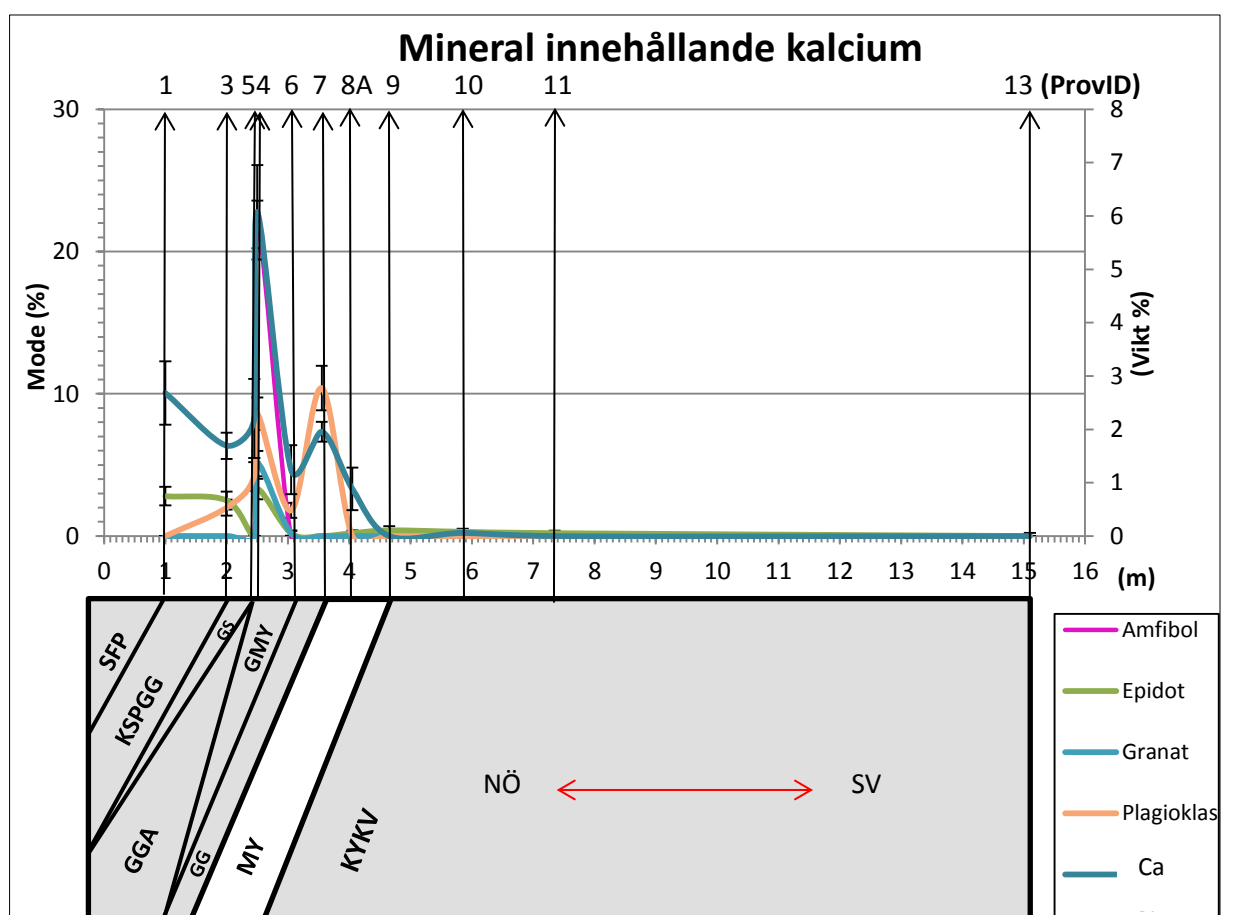


Diagram 1: Kalcium uppvisar maxvärde i HBCL4, där även amfibol, granat och epidot har maxvärden och plagioklas har högt värde. I HBCL7 har plagioklas sitt maxvärde och kalcium en topp.

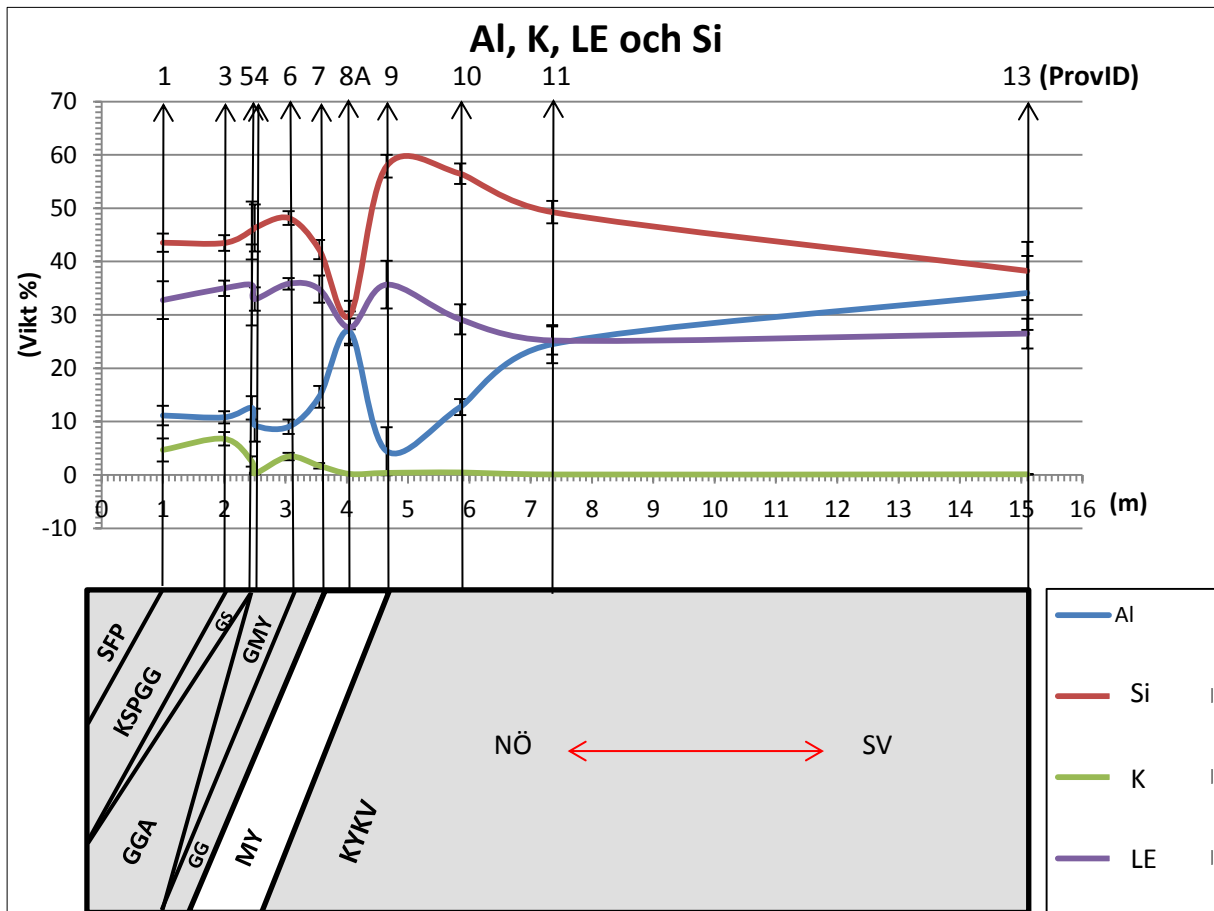


Diagram 2: Si, LE och K har övervägande positiv relation till varandra med höga värden i HBCL6 och HBCL9 samt minskning i HBCL8A, medan Al ses med motsatt förhållande. I stort minskar kalium och lätta ämnen framåt i profilen när aluminium ökar. Kisel ökar fram till HBCL9 för att sen minska.

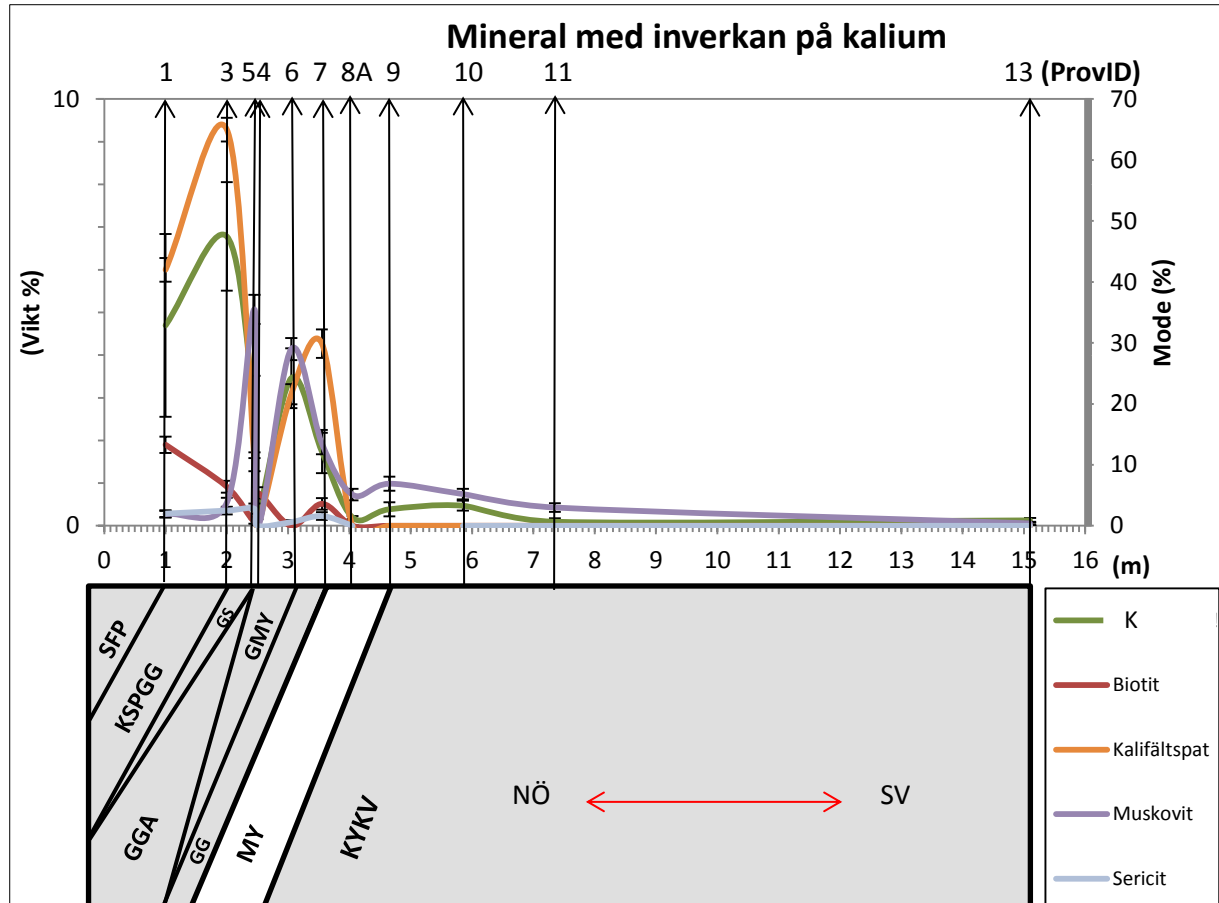


Diagram 3: Kalium visar höga koncentrationer i prov med kalifältspat och muskovit. Sericit förekommer i mindre mängd men visar också svag positiv relation. Biotit kan tydas ha i princip motsatt relation.

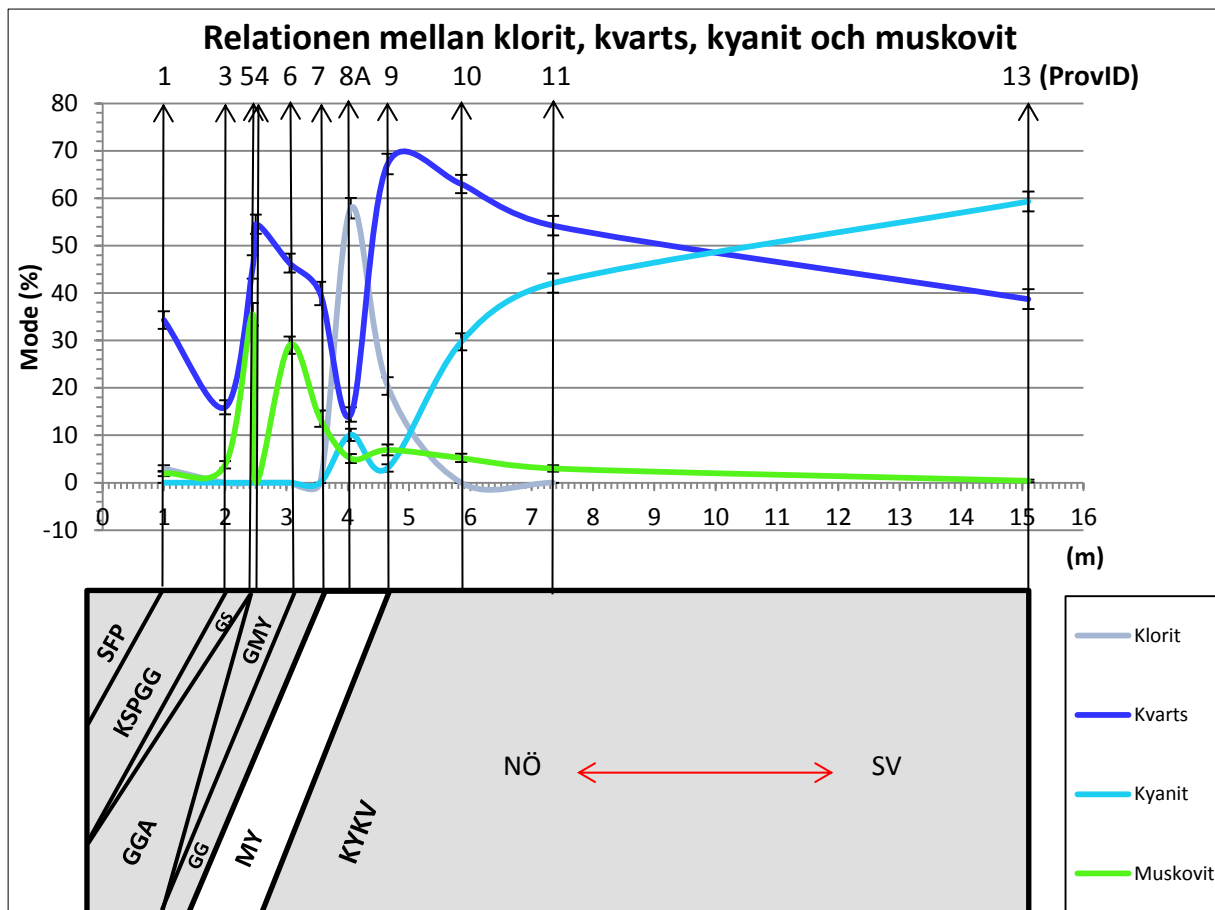


Diagram 5: Kvarts och kyanit ses öka och minska i motsatt relation till varandra och kvarts når sitt högsta värde i HBCL9 och lägsta i HBCL8A. Kyanit ses för första gången i prov HBCL8A och klorit har ett maxvärde. Muskovit har högsta värden i HBCL5 och HBCL6 varpå en markant nedgång sker till HBCL8A och efter det mer långsam minskning samt svag motsatt relation till kyanit.

Diskussion

Den i brottet uppmätta strykningen (fig.14) motsvarar ungefärligt riktningen på protoginzonen i figur 1, så de studerade bergarterna och skjuvzonen i profilen kan antagligen anses ha ett samband med den. En minskad stupning åt norr kan också noteras.

Själva skjuvzonen markeras av mylonit medan det nordöst om myloniten ses en variation av bergarter med olika kompositioner och egenskaper. Åt sydväst domineras profilen helt av kyanitkvartsit.

I området nordöst om skjuvzonen visar fältspatporfyren låg deformationsgrad och övergången till kalifältspatgnejsgranit är tydlig på grund av minskande andel biotit. För övrigt är det ingen större skillnad i mineralsammansättning mellan de två bergarterna och endast små tecken på fluidpåverkan återfinns i form av en mindre andel klorit och sericit, som kan räknas som retrogradreaktioner.

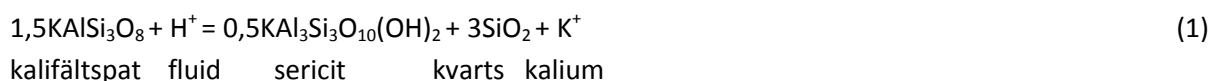
HBCL3 och HBCL7 skulle kunna sägas representera olika deformationsgrad av samma bergart. De påminner om varandra utseendemässigt (fig. 7 och 10), och har liknande komposition men provet närmre skjuvzonen är mer deformerat. HBCL7 har dessutom högre andel plagioklas, vilket inte var

förväntat i det provet utan en mer trolig komposition för HBCL6. HBCL6 har däremot inte alls hög andel plagioklas utan består till största delen av finkornig kvarts, muskovit samt ljus kalifältspat, därav den ljusa färgen.

Den mest specifika bergarten i profilen nordöst om myloniten är en gnejsig granatförande amfibolit (HBCL4) som genom mafiska mineral och högt kalciuminnehåll (*diagr.1*) skiljer sig markant jämfört med de omgivande bergarterna. Den har troligtvis bildats från en mafisk protolit, t ex en basaltgång som omvandlats vid metamorfos till amfibolitfacies och resulterat i karaktäristisk mineralsammansättning och gnejsig foliation.

Kalciumhalten (*diagr.1*) i profilen kan som förväntat ses sammanfalla med kalciumhaltiga mineral som granat, amfibol, epidot och plagioklas. Dock ses en ökning i HBCL7 där endast plagioklas är representerat vilket skulle kunna indikera att plagioklasen i det provet har högre halt kalcium än i föregående prover vilka dessutom är påverkade av andra kalciuminnehållande mineral. Plagioklasen har visserligen högre modal representation i HBCL7 än tidigare i profilen, men om en ökning med 1,8 % plagioklas bidrar till kalciumhalten så mycket skulle det innebära att övriga mineral endast står för en mindre del av inflytandet när det gäller kalcium, vilket inte verkar troligt. Det finns också möjligheten att HBCL7 innehåller något mineral med kalcium som inte är identifierat. Om kalcium skulle ha tillförts med metasomatism i så pass stora mängder för att åstadkomma nästan 7 vikt % så skulle det kanske resulterat i fler kalciumhaltiga mineral sydväst om myloniten också. Den nordöstra sidan verkar därför markera en ursprunglig mer kalciumrik bulkkomposition.

Kaliumhalten (*diagr.3*) varierar mest NÖ om myloniten och ser ut att spegla i första hand förekomsten av kalifältspat och muskovit medan biotit och sericit har mindre inflytande. Larsson (2001) beskriver urlakning av kalium som ett resultat av albitisering och seritisering. Separata analyser för natrium eller petrografisk bestämning av plagioklas har inte gjorts i denna studie men seritisering (1) har setts i den petrografiska analysen. Modifierad formel efter Larsson (2001):



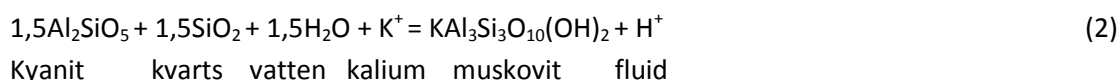
I området sydväst om skjuvzonen hittas enbart kyanitkvartsit med distinkt och kompositionsriktig lagring som kan följas visuellt både i fält och i tunnslip. Lagringen blir mindre tydlig närmare myloniten samtidigt som foliationen ökar på grund av ökad deformation.

Utseendemässiga observationer som talar för ett sedimentärt ursprung av kyanitkvartsiten är de strukturer som påminner om normalt graderad lagring, vågripplar, bottenspår och korslagring. Vad som kemiskt talar för ett sedimentärt ursprung är den motsatta relationen mellan kisel och aluminium i kyanitkvartsiten (*diagr.2*) eftersom aluminium är en dominant beståndsdel i lera och kisel är dominant i kvarts. Vad som talar emot ett enbart sedimentärt ursprung är att lätta element borde följa aluminium då metamorfa produkter av lerrika sediment innehåller både aluminium och vatten. Vid metasomatism är aluminium ett mindre mobilt ämne men mobilisation, tillförsel eller urlakning av kisel, kalium och lätta element kan ske.

Enligt Larsson (2001) skulle muskovit ersättas av kyanit vid metasomatism, men vad som observerats i den här studien är kyanit som ersätts av muskovit eller aluminiumfosfater. Andra reaktionstexturer som hittats är muskovit och kyanit som ersätts av klorit, samt aluminiumfosfater som blir ersatta av

ett finkornigt oidentifierat mineral. Det kan betyda ett inflytande från olika håll som t.ex. både en kompositionsmässigt varierad protolit och dessutom påverkan av fluider i skjuvzonen, som resulterat i hydrering, tillförsel av kalium (kanske från kalifältspaten på andra sidan myloniten) och fosfor.

Både i Wise & Loh's rapport från Haile mine (1976) och Andreasson & Dallmeyers arbete om Protoginzonen (1995) var andalusit den polymorf som övervägande blir ersatt av muskovit vid hydrolys (2). Även Larsson (2001) nämner andalusit, men i den här studien hittas varken andalusit eller spår av reaktionstexturer med andalusit. Att andalusit skulle ha funnits men totalt utraderats är däremot mindre troligt, vilket kan betyda att trycket varit högre i Hålsjöberg och enbart kyanit har bildats som aluminiumsilikat. I Andreasson & Dallmeyer (1995) beskrivs reaktionen, där muskovit ersätter andalusit, som ett resultat av hydrotermal aktivitet. Vid ett högre tryck borde reaktionen istället kunna bli som observerat:



Det som observeras i diagram 3 ser ut som en ökning av kisel mot myloniten vilket kan bero på att kyanit ersätts av både aluminiumfosfatmineral, muskovit och klorit. Reaktionen till Al-fosfatmineral genererar kvarts (3) och kan medföra att mängden aluminium ser ut att minska, då den totala mängden aldrig kan överstiga 100 %. Det är en indirekt och ibland kanske missvisande effekt som kan uppstå om ett ämne eller mineral ökar respektive minskar så ger det motsatt intryck av de andra.

Den beskrivna reaktionen, fast här med andalusit utbytt mot kyanit, från aluminiumsilikat till aluminiumfosfatmineral beskrivs bl. a. av Wise & Loh (1976) enligt:



Al-fosfatmineralen är ojämnt distribuerade i kyanitkvartsiten så representativa prover är svåra att ta, men resultaten visar högre representation av aluminiumfosfatmineral nära skjuvzonen vilket skulle styrka en reaktion styrd av samverkan med fluider.

Själva skjuvzonen representeras av HBCL8A och HBCL9. De har klassificerats som mylonit och visar kraftig kloritomvandling av både muskovit och kyanit samt en ökning av opaka mineral (se HBCL8A, *diagr.4*), något som också pekar mot metasomatos och mobilisation av ämnen. Det stöds även av visuellt observerade ojämnt lokalt koncentrerade förekomster av rutil, trots allmänt lågt bulkinnehåll av titan som är ansett vara ett mindre mobilt ämne (Larsson 2001). I diagram 4 kan dessutom lätta ämnen observeras minska i HBCL8A, något som kan vara en indirekt följd av ökningen av opakmineral, eller också en effekt av möjligheten att bergarterna i profilen på olika sidor om skjuvzonen har blivit juxtapositionerade och inte har något direkt samband med varandra. Det skulle kunna förklara de till synes ganska olika bergarterna på var sida om myloniten och den högre kyanitandelen och aluminiumhalten i HBCL8A, som egentligen jämfört med närliggande prover och på grund av omfattande retrograd kloritisering (*diagr.5*) borde vara lägre. En möjlighet finns då att det rör sig om ett bergartsfragment från en protolit med ursprungligt avvikande komposition. En strukturgeologisk studie över omfattning av en eventuell förskjutning skulle dock behöva göras för att få klarhet i det.

Felkällor

Då inte Larssons (2001) beskrivna håll gick att hitta, eller exakt motsvarande texturer och bergartstyper gick att finna i den tagna profilen kan det vara osäkert att direkt jämföra resultat från de olika studierna. Vissa reaktioner skulle dock kunna vara samma.

Klassificeringen av bergarterna i profilen var inte helt självklar och i vissa fall där fältspaten inte var sericitpåverkad eller hade karaktäristiska tvillingbildningar var det ibland svårt att skilja kvarts och fältspat åt. Ytterligare studier skulle behövas framför allt med fler och säkrare tekniker för mineralidentifikation, men också fler punkter i punkträkningen då resten av arbetet är till stor del utgående från resultat av de två metoderna.

Uppskattningen av mätvinkeln är en mindre betydande felkälla vid beräkningen av profilens totala omfattning, liksom precisionen för mätningarna. Det ger dock en approximativ uppfattning av provtagningsområdets bredd.

Slutsats

I kyanitkvartsiten ses (1) kyanit och aluminium öka medan muskovit och kvarts minskar (2) aluminium öka och kisel minskar i motsatt relation till varandra, vilket kan bero på en kompositionsmässigt varierande protolit. Det tillsammans med till synes sedimentära strukturer gör ett sedimentärt ursprung troligt.

Observationer tyder också på att metasomatos med tillförsel av kalium, fosfor och fluider skett i skjuvzonen och resulterat i hydrering och omvandling av kyanit till muskovit och aluminiumfosfater.

Tack till:

Professor Alasdair Skelton (Institutionen för geologiska vetenskaper, Stockholms Universitet) för professionell handledning och värdefull feedback under hela projektet,

Dan Zetterberg (Institutionen för geologiska vetenskaper, Stockholms Universitet) för ett helhjärtat engagemang vid tunnslipstillverkning och språkgranskning samt förberedelser inför fältarbete,

övrig personal och studenter vid Stockholms Universitet som på något sätt bidragit med teknisk kunskap vid insamling av data,

min familj som stöttat, visat förståelse och haft enormt tålamod under min utbildningstid.

Referenser

- Andreasson, P.G. & Dallmeyer, R.D., 1995. Tectonothermal Evolution of High-Alumina Rocks Within the Protogine Zone, Southern Sweden. *Journal Of Metamorphic Geology*, 13(4), pp.461–474. Available at: <Go to ISI>://WOS:A1995RD93700002.
- Ek, R. & Nysten, P., 1990. Phosphate mineralogy of the Hålsjöberg and Hökensås kyanite deposits. *Geologiska Föreningen i Stockholm. Föreläsningar*, 112(1), pp.9–18.
- Larsson, D., 2001. Transition of granite to quartz-kyanite rock at Hålsjöberg, southern Sweden: Consequence of acid leaching and later metamorphism. *Gff*, 123(4), pp.237–246.
- Wise, W.S. & Loh, S.E., 1976. Equilibria and origin of minerals in the system $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AlPO}_4\text{-H}_2\text{O}$. *American Mineralogist*, 61, pp.409–413.

Appendix 1

Provid	HBCL1 N 60° 17,121 Ö 013° 13,864								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit	måttlig	ljus brun	måttlig	dämpad 3	rak	subhedral till anhedral	1	kloritiserad, prefererad orientering	
Epidot	hög	ljus gul-grön	svag	2-3 fläckig		anhedral/ kornig	0	bildar kluster	
Al-Fosfat									
Granat									
Kalifältspat	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral		enkel tvillingbildning, sericitpåverkad, en hel del inneslutningar av muskovit	
Klorit	måttlig till hög	ljus grön-brun	svag	1 anomal				ersätter biotit	
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	euهدral till subhedral	0	bimodal kornstorlek, ojämna till polygonala korngränser, få sprickor	
Kyanit									
Mikroklin	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral	0	karaktäristisk flätad tvillingbildning	
Muskovit	måttlig	färglös	interferensfärg-erna lyser igenom	2	rak	euهدral till subhedral	1		
Plagioklas	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral		polysyntetisk tvillingbildning	
Pyrit									
Rutil	hög	opak	nej	opak/vit-ljusblå i reflekterat ljus		euهدral till anhedral	3; 120/60/90		
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1				ersätter fältspat men ej mikroklin så mycket som övrig	
?	hög	ljus grön	nej	1 anomal		anhedral till kornig	0	bildar aggregat	
?									
?									
?									
Allmänt:	Finkorning med tät foliation av biotit och muskovit som har prefererad orientering. Poikilitisk kalifältspat med inneslutningar av subhedral muskovit . Grundmassa av omkristalliserad kvarts och fältspat med bimodal kornstorlek och ojämna till polygonala korngränser. Vanligt förekommande epidot.								
Klassificering:	Skiffrig fältspatporfyr			Punkträkning		Punkter:	641	Linjer:	20
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit	13,3	0,82726	1,29808	1,19966	5,96771	2,58552		0,85652	1,34124
Epidot	2,8	0,1092	0,43232	0,25256	1,12672	0,45416		0,6776	0,651603
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat	42	4,0698		5,901	19,3158	12,7134			1,949439
Klorit	3								0,673779
Kvarts	34,3				18,26818	16,03182			1,874998
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit	1,9	0,3857		0,18639	0,92644	0,40147		0,0323	0,53924
Opakmineral	0,8						0,47952		0,351862
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit	2	0,406		0,1962	0,9752	0,4226		0,034	0,552967
Summa	100,1	5,79796	1,7304	7,73581	46,58005	32,60897	0,47952	1,60042	
XRF data (vikt %)		11,146	2,68053	4,696	32,771	43,537	0,42324	4,468	

ProvID	HBCL3 N 60° 17,130 Ö 013° 13,860								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit	måttlig	ljus gul-grön-brun	stark	3	rak	subhedral	1		
Epidot	hög	färglös till ljus gul-grön-brun	nej	2 fläckig		anhedral/ kornig			
Al-Fosfat									
Granat									
Kalifältspat	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral	0	ersätts av sericit, myrmecit	
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer		0	ojämnkornig, ojämna till polygonala korngränser, omkristalliserad	
Kyanit									
Mikroklin	låg	färglös	nej	1		anhedral	0	karaktäristisk flätad tvillingbildning, viss omkristallisering, mindre sericitpåverkad än övrig fältspat	
Muskovit	måttlig	färglös	interferensfärg-erna lyser igenom	2	rak	euhedral till subhedral	1		
Plagioklas	låg	färglös	nej	1		anhedral		polysyntetisk och deformerad tvillingbildning	
Pyrit									
Rutil	hög	opak	nej	opak/vit-ljusgul i reflekterat ljus				i association med glimmer och/eller epidot	
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1				ersätter fältspat men ej mikroklin så mycket som övriga	
?	måttlig	färglös	nej	1	rak		2; 90		
?		orange	nej	orange	nej			associeras med epidot och/eller sericitpåverkade områden	
?									
Allmänt:	Bimodal kornstorlek och folierad av opakmineral, epidot och glimmermineral som visar prefererad orientering, kvarts med ojämna till polygonalt omkristalliserade korngränser och hög andel mikroklin med viss myrmecittextur.								
Klassificering:	Kalifältspatgnejsgranit			Punkträkning		Punkter:	609	Linjer:	19
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit	6,4	0,39808	0,62464	0,57728	2,87168	1,24416		0,41216	0,991789
Epidot	2,5	0,0975	0,386	0,2255	1,006	0,4055		0,605	0,63265
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat	65	6,2985		9,1325	29,8935	19,6755			1,932778
Klorit									0
Kvarts	15,9				8,46834	7,43166			1,481794
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit	3,8	0,7714		0,37278	1,85288	0,80294		0,0646	0,774766
Opakmineral	2						1,1988		0,567309
Plagioklas	2	0,3794	0,2744		0,931	0,415			0,567309
Sericit	2,5	0,5075		0,24525	1,219	0,52825		0,0425	0,63265
Summa	100,1	8,45238	1,28504	10,55331	46,2424	30,50301	1,1988	1,12426	
XRF data (vikt %)		12,689	1,77755	6,131	33,417	44,088	0,26919	1,44762	

ProvID	HBCL4 N 60° 17,134 Ö 013° 13,860								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol	måttlig	gul-grön	måttlig	1	vinklad	euهدral till subهدral	2; 60/120		
Biotit	måttlig	färglös till grön-brun/brun	stark	2 till 3	rak	subهدral till fragmenterad	1		
Epidot	hög	svagt gul-rosa interferens-färger lyser igenom?	nej	2 fläckig		anhedral/ kornig			
Al-Fosfat									
Granat	hög	färglös	nej	isotropisk	isotropisk	euهدral till subهدral	0	inneslutningar av bl.a rutil	
Kalifältspat									
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	subهدral	0	ojämnkornig, ojämna till polygonala korngränser,omkristalliserad	
Kyanit									
Mikroklin									
Muskovit									
Plagioklas	låg	färglös	nej	1		subهدral		polysyntetisk och enkel tvillingbildning förekommer, prismatiska inneslutningar	
Pyrit									
Rutil	hög	brun	nej	brun/ vit-ljusblå i reflekterat ljus	vinklad	subهدrala korn och anhedral/ utfyllnad		inneslutningar av eller associerat med orange mineral	
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1					
?	låg	orange	nej	orange	nej			återfinns i sericitpåverkade områden och i association med rutil	
? Amfibol	måttlig	färglös till blå-grön	stark	1	vinklad	subهدral till anhedral	2; 60/120		
? Epidot	hög	färglös	nej	1 fläckig		subهدral till anhedral	1?		
Allmänt:	Finkornig med porfyroblaster av euهدrala granater och porfyroblaster av plagioklas/fältspat. Grundmassa av ojämnkornig kvarts med ojämna till polygonala korngränser samt foliation av amfiboler och biotit med prefererad orientering.								
Klassificering:	Granatförande gnejsig amfibolit			Punkträkning		Punkter:	613	Linjer:	18
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol	21,9	1,25925	2,13744		10,29519	5,24286		0,3723	1,670388
Biotit	5,4	0,33588	0,52704	0,48708	2,42298	1,04976		0,34776	0,912877
Epidot	3,3	0,1287	0,50952	0,29766	1,32792	0,53526		0,7986	0,721506
Al-fosfat									0
Granat	5,1	0,61098	1,34079	0,46002	2,17362	0,95421			0,888562
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit									0
Kvarts	54,5				29,0267	25,4733			2,011285
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit		0		0	0	0		0	0
Opakmineral	0,8						0,47952		0,359808
Plagioklas	8,6	1,63142	1,17992		4,0033	1,7845			1,13238
Sericit		0		0	0	0		0	0
Summa	99,6	3,96623	5,69471	1,24476	49,24971	35,03989	0,47952	1,51866	
XRF data (vikt %)		12,073	6,704	0,41006	31,911	42,842	0,55461	4,89438	

ProvID	HBCL5 N 60° 17,132 Ö 013° 13,867								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit	måttlig	färglös till ljus grön	måttlig	3.	rak	subhedral	1		
Epidot									
Al-Fosfat									
Granat									
Kalifältspat	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral		sericitpåverkad, ingen tvillingbildning	
Klorit	måttlig	grön-brun	svag	1					
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer			ojämnkornig omkristalliserad, ojämnna korngränser	
Kyanit									
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2		subhedral	1	föredragen orientering	
Plagioklas	låg	färglös	nej	1		anhedral		polysyntetisk och enkel tvillingbildning förekommer, prismatiska inneslutningar	
Pyrit	hög	opak	nej	opak/ljus gul i reflekterat ljus		subhedral till anhedral		återfinns i del av provet med mindre seriticerad fältspat/ingen fältspat	
Rutil									
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1				ersätter fältspat	
?	hög	färglös	nej	1		subhedral till anhedral	0	gropig yta	
?									
?									
?									
Allmänt:	Tvådelat prov med lite olika komposition, en mer finkristallin med större andel muskovit samt opak mineral, samt en del med större kristaller och mer fältspat/plagioklas								
Klassificering:	Glimmerskiffer			Punkträkning		Punkter:	400	Linjer:	18
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit	0,8	0,04976	0,07808	0,07216	0,35896	0,15552		0,05152	0,445421
Epidot		0	0	0	0	0		0	0
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat	10,5	1,01745		1,47525	4,82895	3,17835			1,532767
Klorit									0
Kvarts	45,5				24,2333	21,2667			2,489854
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit	35,5	7,2065		3,48255	17,3098	7,50115		0,6035	2,392567
Opakmineral	0,8								0,445421
Plagioklas	4,2	0,79674	0,57624		1,9551	0,8715			1,002946
Sericit	2,8	0,5684		0,27468	1,36528	0,59164		0,0476	0,824864
Summa	100,1	9,63885	0,65432	5,30464	50,05139	33,56486	0	0,70262	
XRF data (vikt %)		11,093	1,2158	3,28708	39,411	42,621	0,1885	1,5092	

ProvID	HBCL6 N 60° 17,128 Ö 013° 13,871								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot	hög	ljus gul-grön	nej	2 fläckig					
Al-Fosfat									
Granat	hög	ljus rosa	nej	isotropisk		subhedral till anhedral		sprickor, oregelbundna inneslutningar	
Kalifältspat	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral		viss sericitpåverkan, vanligt förekommande myrmecit	
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	euhedral till anhedral	0	bimodal kornstorlek, mestadels ojämna korngränser,omkristalliserad	
Kyanit									
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral till nålformad (acicular)	1	föredragen orientering	
Plagioklas	låg	färglös	nej	1		subhedral		polysyntetisk och enkel tvillingbildning förekommer, prismatiska inneslutningar	
Pyrit									
Rutil	hög	opak	nej	opak/vit- ljusblå i reflekterat ljus		anhedral			
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1				ersätter fältspat	
?	hög	mörk gul eller gul-grön	nej	1 anomal		subhedral till anhedral/kornig			
?	hög	ljus gul-grön	nej	3 till 4		subhedral till anhedral/kornig			
?									
Allmänt:	Foliation av kvarts och fältspatlager med olika kornstorlekar separerade av muskovitkristaller med prefererad orientering. Fältspaten har vanligt förekommande myrmecittextur. En mindre mängd granat hittas också.								
Klassificering:	Granatförande mylonit			Punkträkning		Punkter:	624	Linjer:	18
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot	0,2	0,0078	0,03088	0,01804	0,08048	0,03244		0,0484	0,17885
Al-fosfat									0
Granat	0,2	0,02396	0,05258	0,01804	0,08524	0,03742			0,17885
Kalifältspat	21,6	2,09304		3,0348	9,93384	6,53832			1,647376
Klorit									0
Kvarts	46,3				24,65938	21,64062			1,996114
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit	29	5,887		2,8449	14,1404	6,1277		0,493	1,816502
Opakmineral	0,3								0,218935
Plagioklas	1,8	0,34146	0,24696		0,8379	0,3735			0,53223
Sericit	0,6	0,1218		0,05886	0,29256	0,12678		0,0102	0,309155
Summa	100	8,47506	0,33042	5,97464	50,0298	34,87678	0	0,5516	
XRF data (vikt %)		10,721	1,41183	3,24424	34,816	47,653	0,28196	1,73288	

ProvID	HBCL7 N 60° 17,126 Ö 013° 13,869								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit	måttlig	ljus gul-brun till grön- brun	måttlig	dämpad 3	rak	subhedral till anhedral (fragment)	1	prefererad orientering	
Epidot	hög	färglös	nej	2 fläckig		subhedral/ kornig			
Al-Fosfat									
Granat									
Kalifältspat	låg	färglös	nej	1		subhedral till anhedral		sericitpåverkad, myrmecit	
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	subhedral till anhedral	0	ojämn kornstorlek, ojämna korngränser	
Kyanit									
Mikroklin	låg	färglös	nej	1		anhedral		karaktäristisk flätad tvillingbildning, delvis polygonalt omkristalliserad	
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral till anhedral/nålformad	1	föredragen orientering	
Plagioklas	låg	färglös	nej	1		anhedral		polysyntetisk och deformerad tvillingbildning förekommer, delvis polygonalt omkristalliserad	
Pyrit									
Rutil	hög	opak	nej	opak/vit-ljusblå i reflekterat ljus		anhedral och utfyllnad			
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1				ersätter fältspat	
?	låg	orange	nej	orange					
?									
?									
?									
Allmänt:	Dominerad av ojämnkornigkvarts med ojämnt omkristalliserade korngränseroch foliation av muskovit med prefererad orientering. Fältspat med myrmecittextur. Det är svårt att skilja mellan fältspat och kvarts.								
Klassificering:	Gnejsgranit			Punkträkning		Punkter:	385	Linjer:	15
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit	3,6	0,22392	0,35136	0,32472	1,61532	0,69984		0,23184	0,949422
Epidot		0	0	0	0	0		0	0
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat	29,9	2,89731		4,20095	13,75101	9,05073			2,333266
Klorit									0
Kvarts	39,9				21,25074	18,64926			2,495705
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit	13,5	2,7405		1,32435	6,5826	2,85255		0,2295	1,741585
Opakmineral	1,3								0,577298
Plagioklas	10,4	1,97288	1,42688		4,8412	2,158			1,555752
Sericit	1,6	0,3248		0,15696	0,78016	0,33808		0,0272	0,63948
Summa	100,2	8,15941	1,77824	6,00698	48,82103	33,74846	0	0,48854	
XRF data (vikt %)		13,993	1,77515	2,28467	36,085	42,747	0,39805	2,50948	

ProvID	HBCL8A N 60° 17,127 Ö 013° 13,862								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot	hög	färglös	nej	2 fläckig		subhedral/ kornig			
Al-Fosfat									
Granat									
Kalifältspat									
Klorit	måttlig	ljus grön	svag	1 anomal		fibrös		associerad med kloritpåverkade områden	
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	subhedral		sprickor med klorit mellan	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1	rak	subhedral till fragmenterad	2; 80/100	blir ersatt av klorit	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral	1	föredragen orientering	
Plagioklas									
Pyrit	hög	opak	nej	opak/ljus gul i reflekterat ljus		anhedral/ utfyllnad			
Rutil	hög	brun	nej	brun (ljus gråblå i reflekterat ljus)	vinklad			associerad med orange mineral vilket förekommer som inneslutningar	
?									
?									
?									
?									
?									
Allmänt:	Omfattande kloritpåverkan, vanligt förekommande pyrit, alla mineral mer eller mindre orienterade i samma riktning								
Klassificering:	Mylonit			Punkträkning		Punkter:	534	Linjer:	18
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot	0,2	0,0078	0,03088	0,01804	0,08048	0,03244		0,0484	0,193335
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit	57,9								2,136533
Kvarts	14,4				7,66944	6,73056			1,519314
Kyanit	10,1	3,3633			4,98637	1,75033			1,303977
Muskovit	5,1	1,0353		0,50031	2,48676	1,07763		0,0867	0,952023
Opakmineral	12,4								1,426239
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit	0	0		0	0	0		0	0
Summa	100,1	4,4064	0,03088	0,51835	15,22305	9,59096	0	0,1351	
XRF data (vikt %)		28,497	0,57083	0,20745	29,125	31,022	1,65447	4,27052	

ProvID	HBCL9 N 60° 17,130 Ö 013° 13,871								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot	hög	färglös	nej	2 fläckig		anhedral/ kornig			
Al-Fosfat									
Granat									
Kalifältspat									
Klorit	måttlig	färglös	nej	1		fibrös		ser ut att ersätta muskovit	
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	subhedral	0	ojämnkornig, ojämna till polygonalta korngränser, omkristalliserad	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1 till 2	gradvis förekommer	subhedral till fragmenterad	2; 80/100	klorit	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral	1	ersätts av klorit,föredragen orientering	
Plagioklas									
Pyrit	hög	opak	nej	opak/ljus gul i reflekterat ljus		euhedral till anhedral		relativt jämn fördelning	
Rutil	hög	brun	nej	brun (ljus grå i reflekterat ljus)		subhedral till anhedral/utfyllnad			
?	låg	orange	nej	orange					
?									
?									
?									
?									
Allmänt:									
Lagring i form av ojämnkornig kvarts med ojämna till polygonala korngränser och kloritpåverkade muskovit/kyanitdominerade lager.									
Klassificering:	Mylonit			Punkträkning		Punkter:	479	Linjer:	18
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot	0,4	0,0156	0,06176	0,03608	0,16096	0,06488		0,0968	0,288398
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit	20,4								1,841212
Kvarts	67,2				35,79072	31,40928			2,145131
Kyanit	3,1	1,0323			1,53047	0,53723			0,791908
Muskovit	6,9	1,4007		0,67689	3,36444	1,45797		0,1173	1,158062
Opakmineral	1,9								0,623797
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit	0	0		0	0	0		0	0
Summa	99,9	2,4486	0,06176	0,71297	40,84659	33,46936	0	0,2141	
XRF data (vikt %)		8,355	0	0,61203	34,339	54,772	0,25237	1,16407	

ProvID	HBCL10 N 60° 17,130 Ö 013° 13,869								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot									
Al-Fosfat	måttlig	klarblå	stark eller ingen	2	vinklad	subhedral till anhedral/ fragmenterad			
Granat									
Kalifältspat									
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	rak	euhedral till subhedral	0	bimodal kornstorlek, ojämna till polygonalt omkristalliserade korngränser	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1	rak	subhedral	2; 80/100	enkel tvillingbildning, ersätts av Al-fosfat	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral till anhedral/ fragmenterad	1	föredragen orientering	
Plagioklas									
Pyrit									
Rutil	hög	brun	nej	brun (ljus grå-vit i reflekterat ljus)	vinklad	anhedral	2; 60/120	associerad med orange mineral	
Sericit									
?									
?									
?									
?									
Allmänt:	Kvarts med bimodal kornstorlek och ojämna till polygonala korngränser. Mineraler till stor del i jämvikt, inga reaktionstexturer förutom kyaniten som ersätts med Al-fosfat.								
Klassificering:	Kyanitkvartsit			Punkträkning		Punkter:	640	Linjer:	19
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot	0,3	0,0117	0,04632	0,02706	0,12072	0,04866		0,0726	0,216181
Al-fosfat	1,2								0,430407
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit									0
Kvarts	63				33,5538	29,4462			1,908452
Kyanit	29,7	9,8901			14,66289	5,14701			1,8062
Muskovit	5,2	1,0556		0,51012	2,53552	1,09876		0,0884	0,877639
Opakmineral	0,6								0,305266
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit		0		0	0	0		0	0
Summa	100	10,9574	0,04632	0,53718	50,87293	35,74063	0	0,161	
XRF data (vikt %)		11,566	0,01552	0,43925	31,337	55,331	0,70649	0,56001	

ProvID	HBCL11 N 60° 17,128 Ö 013° 13,865								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot	hög	färglös	nej	2 fläckig				sällsynt	
Al-Fosfat	måttlig	klarblå	stark eller ingen	2	vinklad	anhedral	0	enkel tvillingbildning	
Granat									
Kalifältspat									
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	euهدral till subهدral	0	ojämnkornig, ojäma till polygonalt omkristalliserade korngränser	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1	gradvis förekommer	subهدral till fragmenterad	2; 80/100	enkel tvillingbildning, föredragen orientering	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subهدral till nålformad (acicular)	1	ses ersätta kyanit	
Plagioklas									
Pyrit	hög	opak	nej	opak/ljus gul i reflekterat ljus		anhedral			
Rutil									
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1		anhedral/ finkornig			
?									
?									
?									
?									
Allmänt:	Ojämnkornig kvarts med ojäma till polygonala korngränser och relativt jämnt fördelad kyanit (viss lagrad koncentration) med föredragen orientering.Pyrit, Al-fosfater, muskovit, epidot och sercit endast sällsynt förekommande.								
Klassificering:	Kyanitkvartsit			Punkträkning		Punkter:	594	Linjer:	19
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot	0,2	0,0078	0,03088	0,01804	0,08048	0,03244		0,0484	0,18331
Al-fosfat	0,2								0,18331
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit									0
Kvarts	54,2				28,86692	25,33308			2,044274
Kyanit	42,1	14,0193			20,78477	7,29593			2,025756
Muskovit	3	0,609		0,2943	1,4628	0,6339		0,051	0,699928
Opakmineral	0,3								0,224396
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit		0		0	0	0		0	0
Summa	100	14,6361	0,03088	0,31234	51,19497	33,29535	0	0,0994	
XRF data (vikt %)		15,318	0	0,18946	29,232	54,54	0,02061	0,66179	

ProvID	HBCL13 N 60° 17,121 Ö 013° 13,865								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot									
Al-Fosfat	måttlig	klarblå	stark eller ingen	2	rak till något vinklad	subhedral till anhedral	0	polysyntetisk tvillingbildning	
Granat									
Kalifältspat									
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	subhedral till anhedral	0	delvis omkristalliserad med ojämna korngränser	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1	rak	subhedral	2; 80/100	enkel tvillingbildning	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral till långsmal(acicular)	1		
Plagioklas									
Pyrit	hög	opak	nej	opak/ljus gul i reflekterat ljus					
Rutil	hög	brun	nej	brun (vit-ljusblå i reflekterat ljus)		anhedral		inneslutningar av orange mineral	
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1		anhedral/ finkornig		ersätter Al-fosfater	
?									
?									
?									
?									
Allmänt:	Subhedrala till anhedrala kyanitkristaller med till synes 2 orienteringar (i 60 grader) i ojämnkornig kvarts med mestadels ojämna korngränser. Kyanit ses ersättas av Al-fosfat.								
Klassificering:	Kyanitkvartsit			Punkträkning		Punkter:	540	Linjer:	21
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot		0	0	0	0	0		0	0
Al-fosfat	1,3								0,487454
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit									0
Kvarts	38,7				20,61162	18,08838			2,095988
Kyanit	59,3	19,7469			29,27641	10,27669			2,11411
Muskovit	0,4	0,0812		0,03924	0,19504	0,08452		0,0068	0,271621
Opakmineral	0,4								0,271621
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit		0		0	0	0		0	0
Summa	100,1	19,8281	0	0,03924	50,08307	28,44959	0	0,0068	
XRF data (vikt %)		28,875	0,02417	0,0858	25,723	43,969	0,25054	0,94712	

ProvID	HBCL14 N 60° 17,155 Ö 013° 13,850								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit	måttlig	ljusgul till gråbrun	måttlig	3 dämpad			1	myrmecitliknande textur	
Epidot	hög	ljus grön	svag	2 fläckig				enkel tvillingbildning	
Al-fosfat									
Granat									
Kalifältspat	låg	färglös	nej	1				myrmecit, små prismatiska inneslutningar	
Klorit	måttlig			1 anomal				associerad med epidot	
Kvarts	låg	färglös	nej	1		subhedral		delvis polygonalt omkristalliserad	
Kyanit									
Mikroklin	låg	färglös	nej	1				karaktäristisk flätad tvillingbildning, ej lika sericitpåverkad som övrig fältspat	
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2		subhedral	1	föredragen orientering, myrmecitliknande textur	
Plagioklas	låg	färglös	nej	1				svag polysyntetisk tvillingbildning, många inneslutningar	
Pyrit									
Rutil									
Sericit	måttlig	matt brun	nej	1				ersätter fältspat	
?	hög	färglös	nej	3 till 4		anhedral /kornig			
?	hög	ljus gul-brun	svag	3 till 4					
?	hög	opak	nej	opak (vit i reflekterat ljus)		anhedral			
?	låg	orange	nej	orange					
Allmänt:	Mer mikroklin i gnejsdelen, myrmecit liknande textur i glimmermineralen								
Klassificering:	Kontakten mellan fältspatporfyr/kalifältspatgnejsgranit			Punkträkning		Punkter:	603	Linjer:	22
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit	13,1	0,81482	1,27856	1,18162	5,87797	2,54664		0,84364	1,374
Epidot	2,8	0,1092	0,43232	0,25256	1,12672	0,45416		0,6776	0,671821
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat	34,8	3,37212		4,8894	16,00452	10,53396			1,93979
Klorit	0,7								0,33952
Kvarts	39				20,7714	18,2286			1,986271
Kyanit		0			0	0			0
Muskovit	3,2	0,6496		0,31392	1,56032	0,67616		0,0544	0,716727
Opakmineral	0,8								0,362779
Plagioklas	4,3	0,81571	0,58996		2,00165	0,89225			0,826098
Sericit	1,3	0,2639		0,12753	0,63388	0,27469		0,0221	0,461287
Summa	100	6,02535	2,30084	6,76503	47,97646	33,60646	0	1,59774	
XRF data (vikt %)		10,235	2,45415	3,61622	36,65	44,137	0,34861	2,35059	

ProvID	HBCL16 N 60° 16,963 Ö 013° 13,750								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot									
Al-fosfat									
Granat									
Kalifältspat									
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer	euhedral till subhedral	0	bimodal kornstorlek,omkristalliserad, ojämnna till polygonala	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1	rak	subhedral	2; 80/100	polysyntetisk och enkel tvillingbildning	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral	1	sällsynt	
Plagioklas									
Pyrit									
Rutil	hög	brun	nej	brun (ljus grå i reflekterat ljus)		anhedral	2; 90	nålformade orange inneslutningar	
Sericit									
?									
?									
?									
?									
Allmänt:	Relativt grovkristallin med distinkta lager av dominerande kvarts/kyanit, kyanitkristallerna har olika riktning men svag prefererad orientering vinkelrätt mot lagringen. Ojämnkornig kvarts med prefererad orientering och ojämnna till polygonalt omkristalliserade korngränser								
Klassificering:	Kyanitkvartsit			Punkträkning		Punkter:	620	Linjer:	20
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot		0	0	0	0	0		0	0
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit									0
Kvarts	70,3				37,44178	32,85822			1,835101
Kyanit	28,8	9,5904			14,21856	4,99104			1,818613
Muskovit	0,2	0,0406		0,01962	0,09752	0,04226		0,0034	0,179426
Opakmineral	0,8						0,47952		0,357771
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit		0		0	0	0		0	0
Summa	100,1	9,631	0	0,01962	51,75786	37,89152	0,47952	0,0034	
XRF data (vikt %)		6,816	0	0,01744	35,526	56,618	0,73079	0,27572	

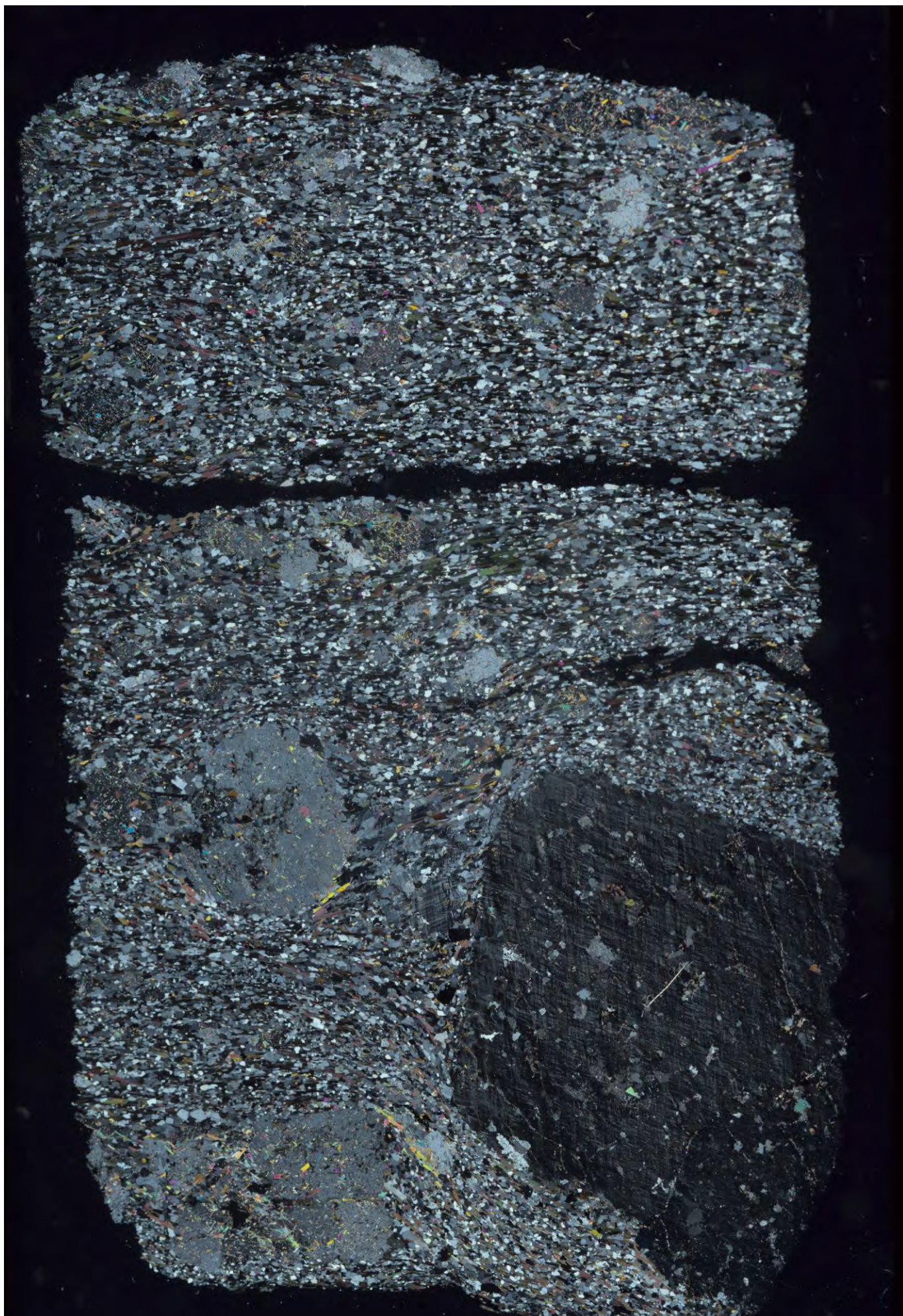
ProvID	HBCL17 N 60° 16,963 Ö 013° 13,750								
Mineral	Relief	PPL	Pleokroism	Interferens ordning	Utsläckning	Kristallform	Klyvplan antal; °	Textur m.m	
Amfibol									
Biotit									
Epidot									
Al-fosfat									
Granat									
Kalifältspat									
Klorit									
Kvarts	låg	färglös	nej	1	gradvis förekommer		0	ojämnkornig, ojämna till polygonala korngränser	
Kyanit	måttlig	färglös	nej	1	rak	subhedral	2; 80/100	polysyntetisk och enkel tvillingbildning	
Mikroklin									
Muskovit	måttlig	färglös	nej	2	rak	subhedral	1		
Plagioklas									
Pyrit									
Rutil									
Sericit									
?	hög	opak	nej	opak (vit-ljusblå i reflekterat ljus)		anhedral			
?									
?									
?									
Allmänt:									
Relativt grovkristallin med subhedrala till fragmenterade kyanitkristaller i ojämnkornig kvarts med ojämna till polygonala korngränser									
Klassificering:	Kyanitkvartsit			Punkträkning		Punkter:	456	Linjer:	16
Mineral		Vikt % ämne							
	Procent	Al	Ca	K	LE	Si	Ti	Fe	σ
Amfibol		0	0		0	0		0	0
Biotit		0	0	0	0	0		0	0
Epidot		0	0	0	0	0		0	0
Al-fosfat									0
Granat		0	0	0	0	0			0
Kalifältspat		0		0	0	0			0
Klorit									0
Kvarts	66,2				35,25812	30,94188			2,215159
Kyanit	32,9	10,9557			16,24273	5,70157			2,200274
Muskovit	0,4	0,0812		0,03924	0,19504	0,08452		0,0068	0,295581
Opakmineral	0,4						0,23976		0,295581
Plagioklas		0	0		0	0			0
Sericit		0		0	0	0		0	0
Summa	99,9	11,0369	0	0,03924	51,69589	36,72797	0,23976	0,0068	
XRF data (vikt %)		12,967	0	0,014	30,79	55,684	0,03648	0,49213	

Appendix 2

HBCL



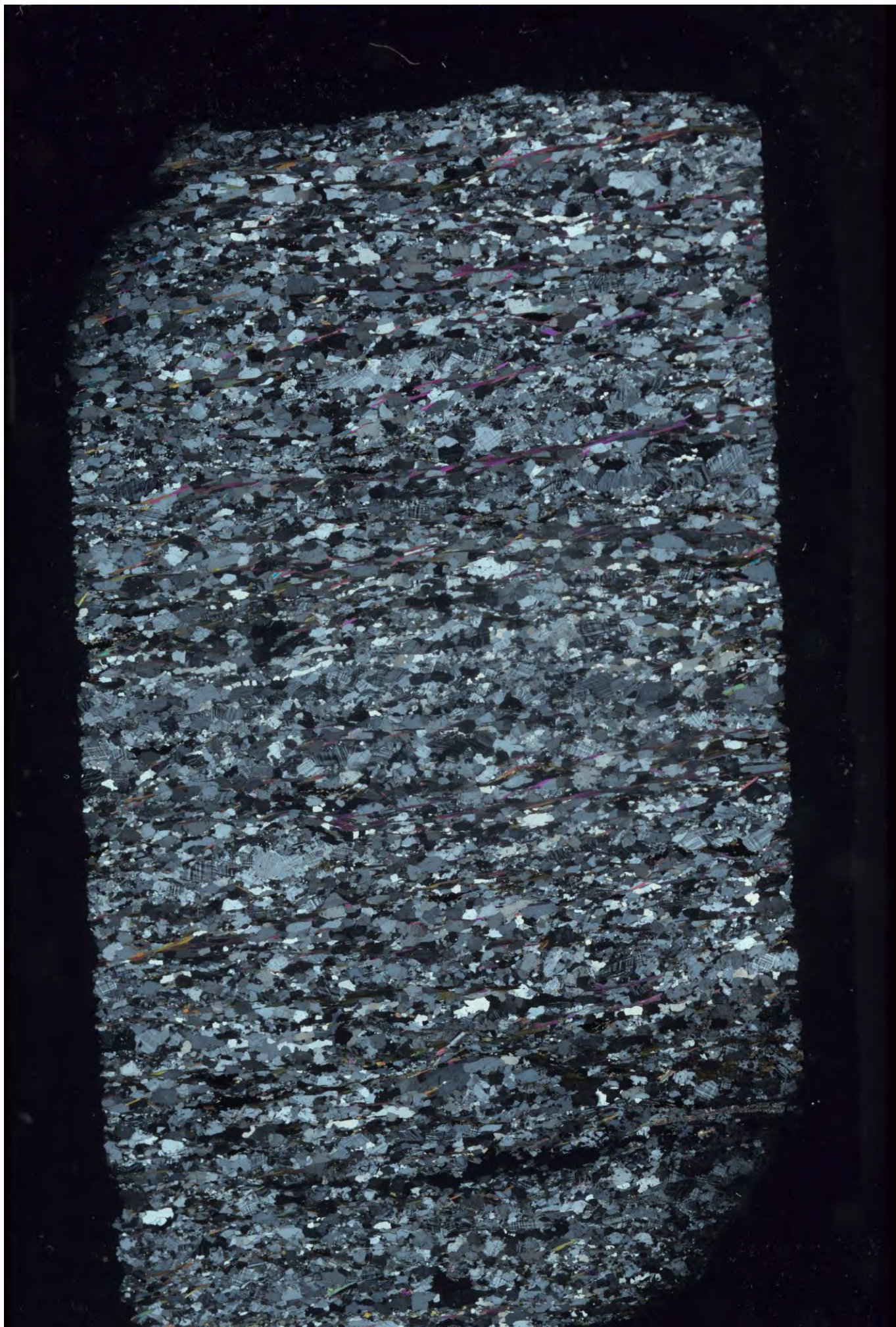
HBCL1PPL



HBCL1XPL



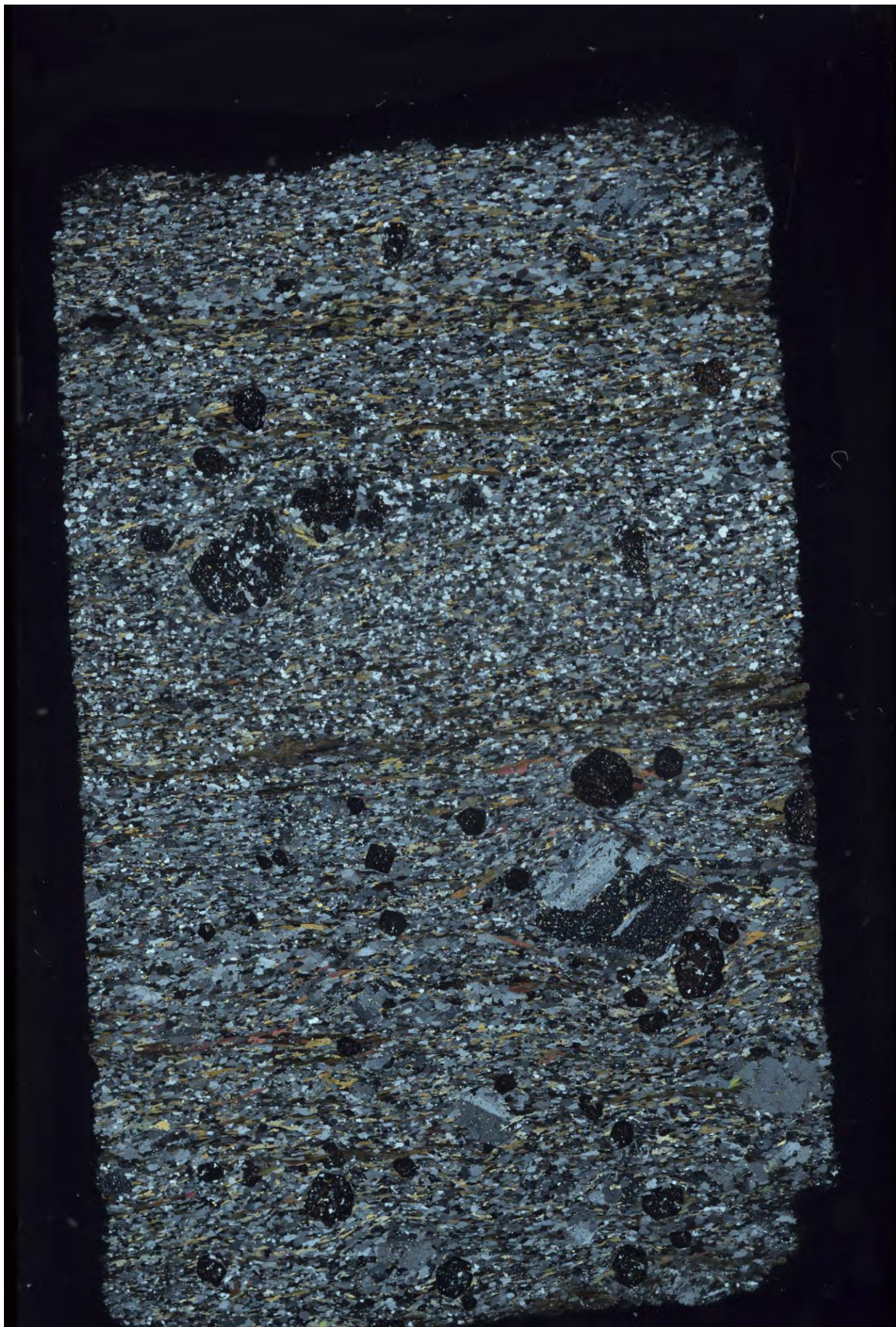
HBCL3PPL



HBCL3XPL



HBCL4PPL



HBCL4XPL



HBCL5PPL



HBCL5XPL



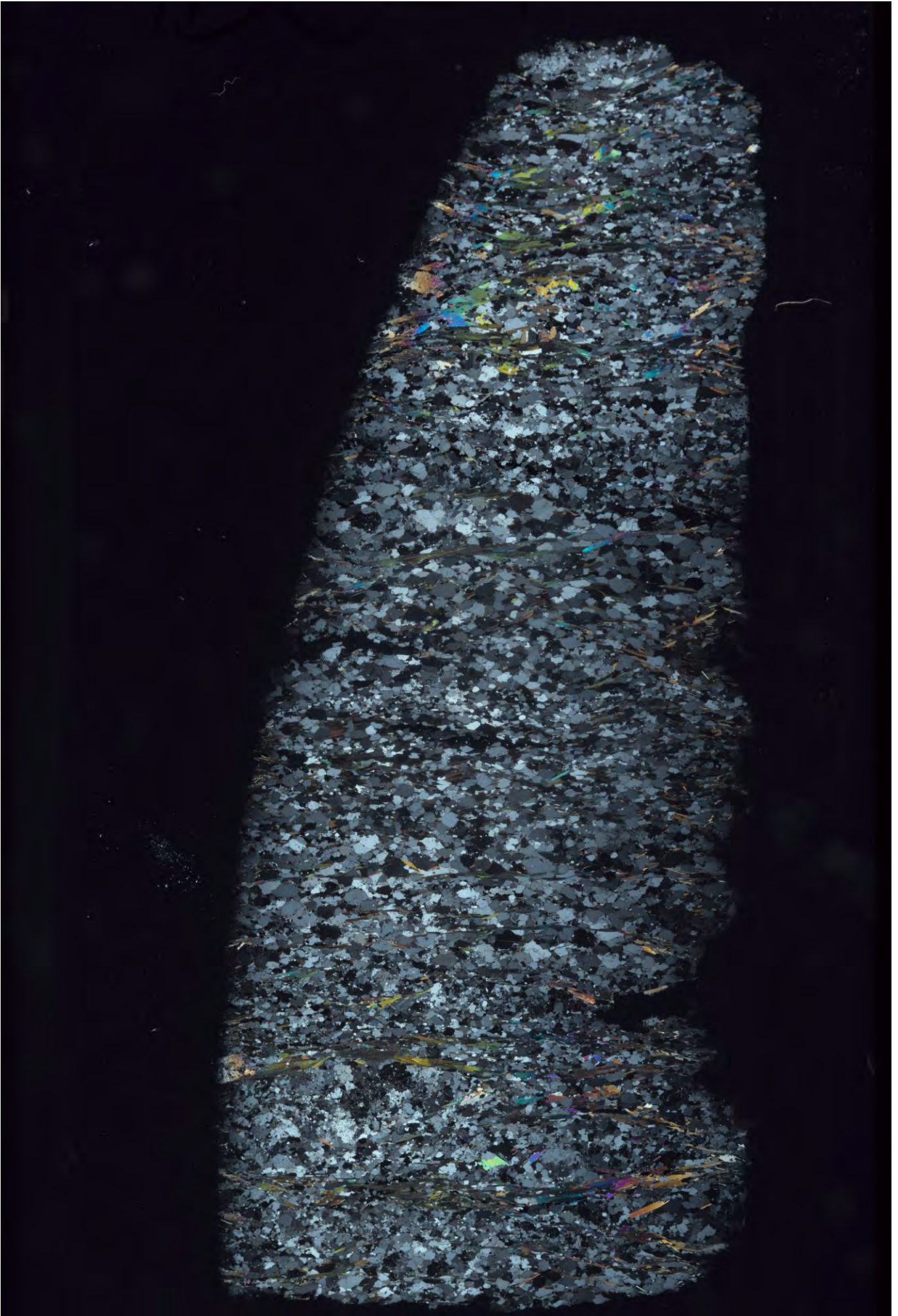
HBCL6PPL



HBCL6XPL



HBCL7PPL



HBCL7XPL



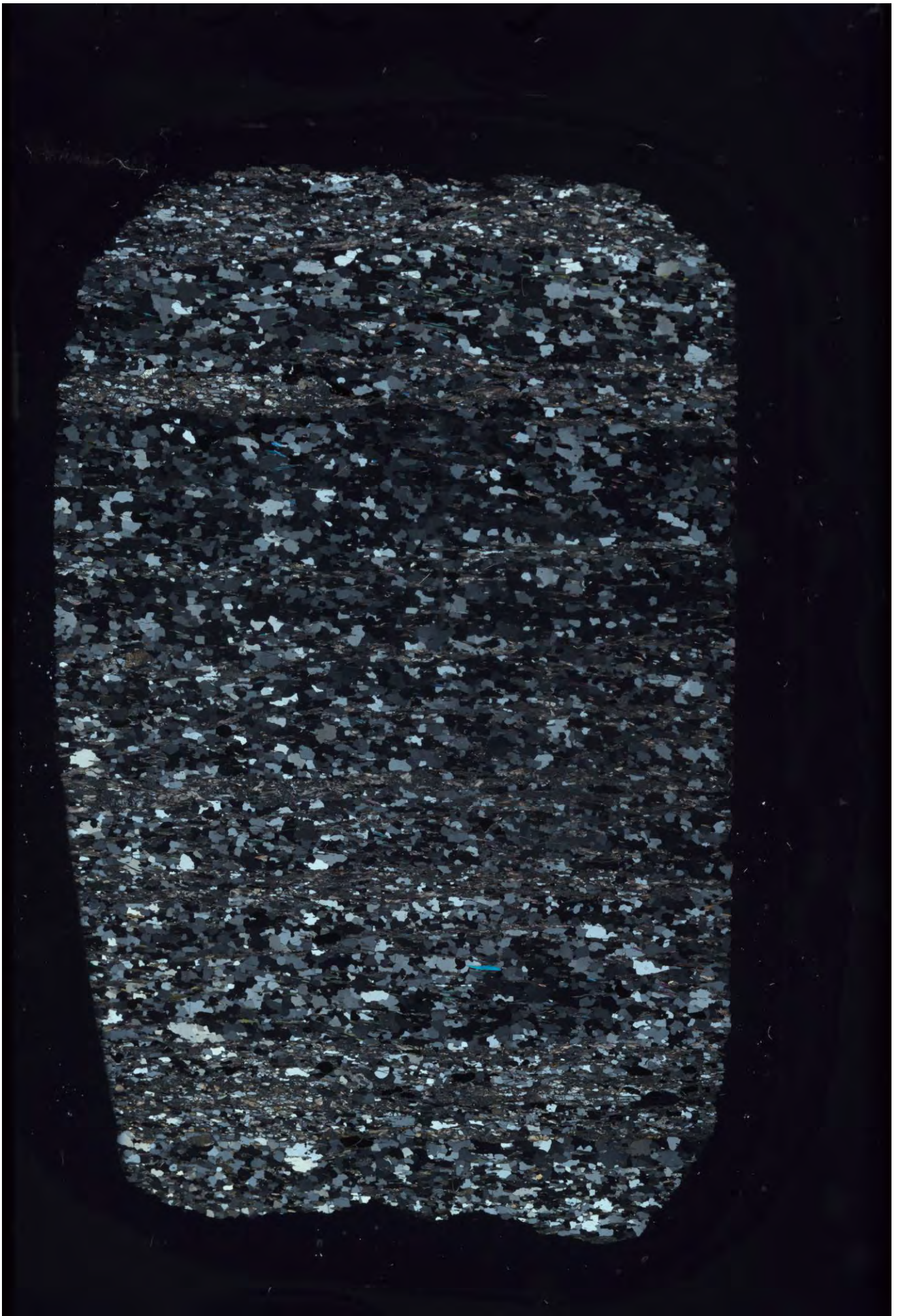
HBCL8APPL



HBCL8AXPL



HBCL9PPL



HBCL9XPL

HBCL 10



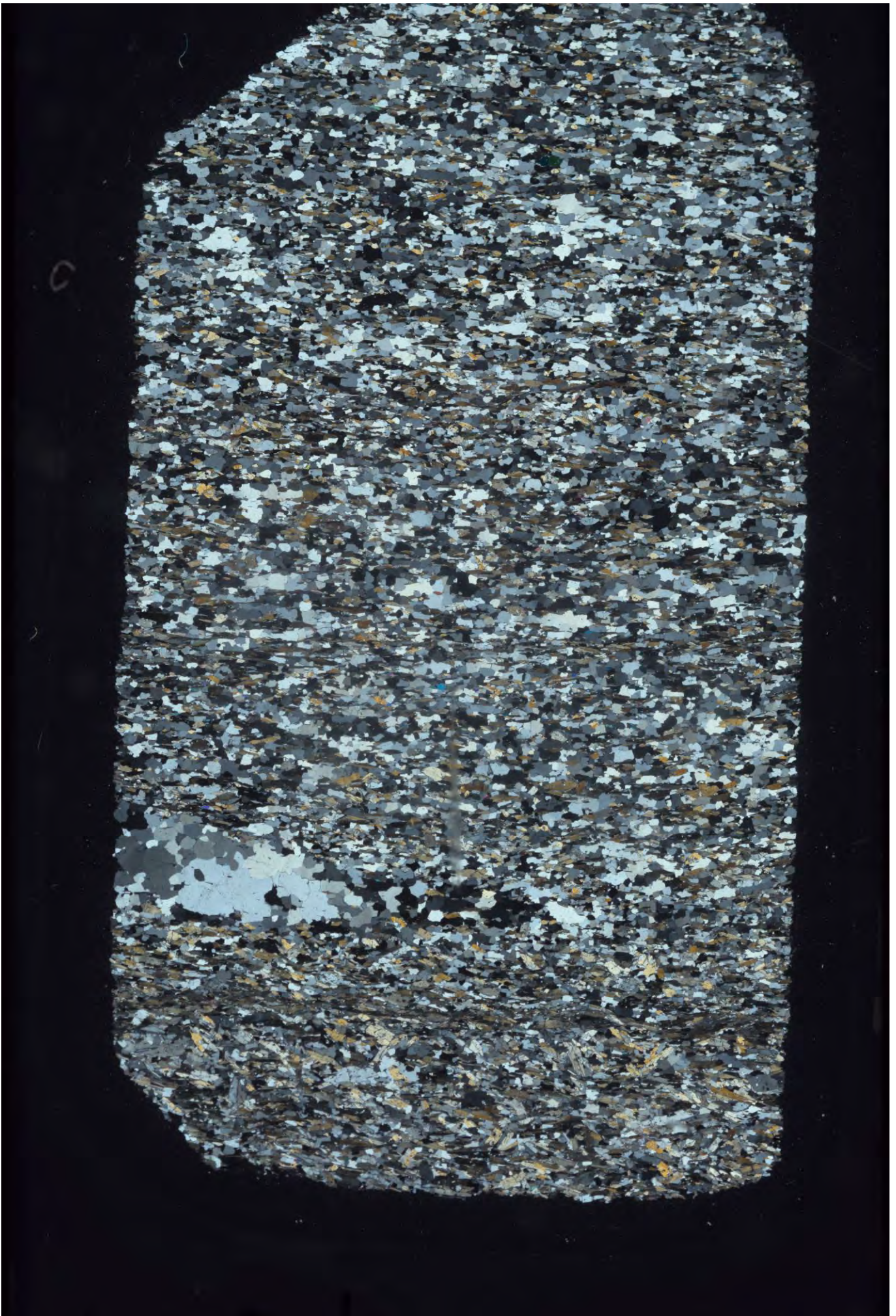
HBCL10PPL



HBCL10XPL

HBCL 11

HBCL11PPL



HBCL11XPL

HBCL13



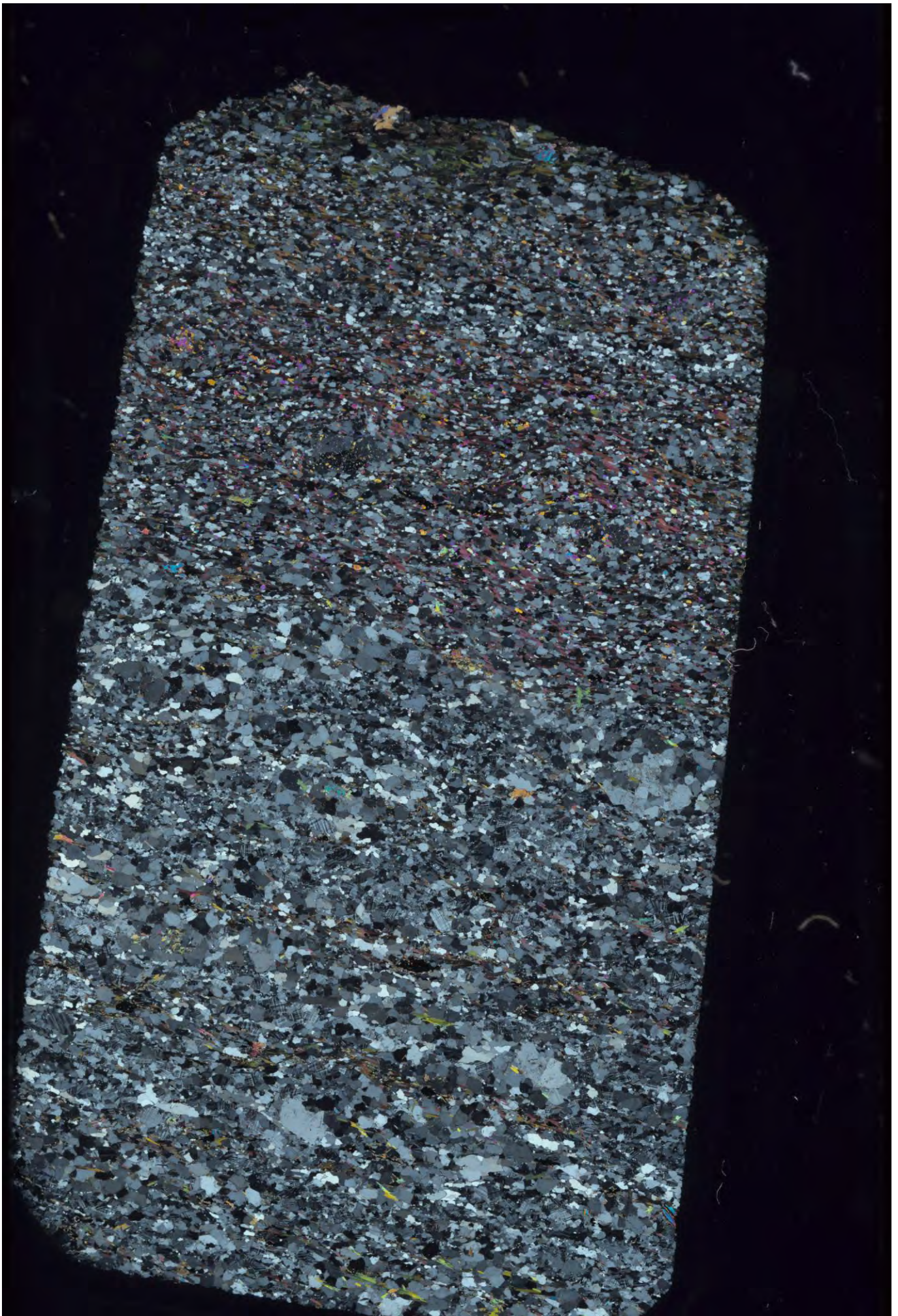
HBCL13PPL



HBCL13XPL



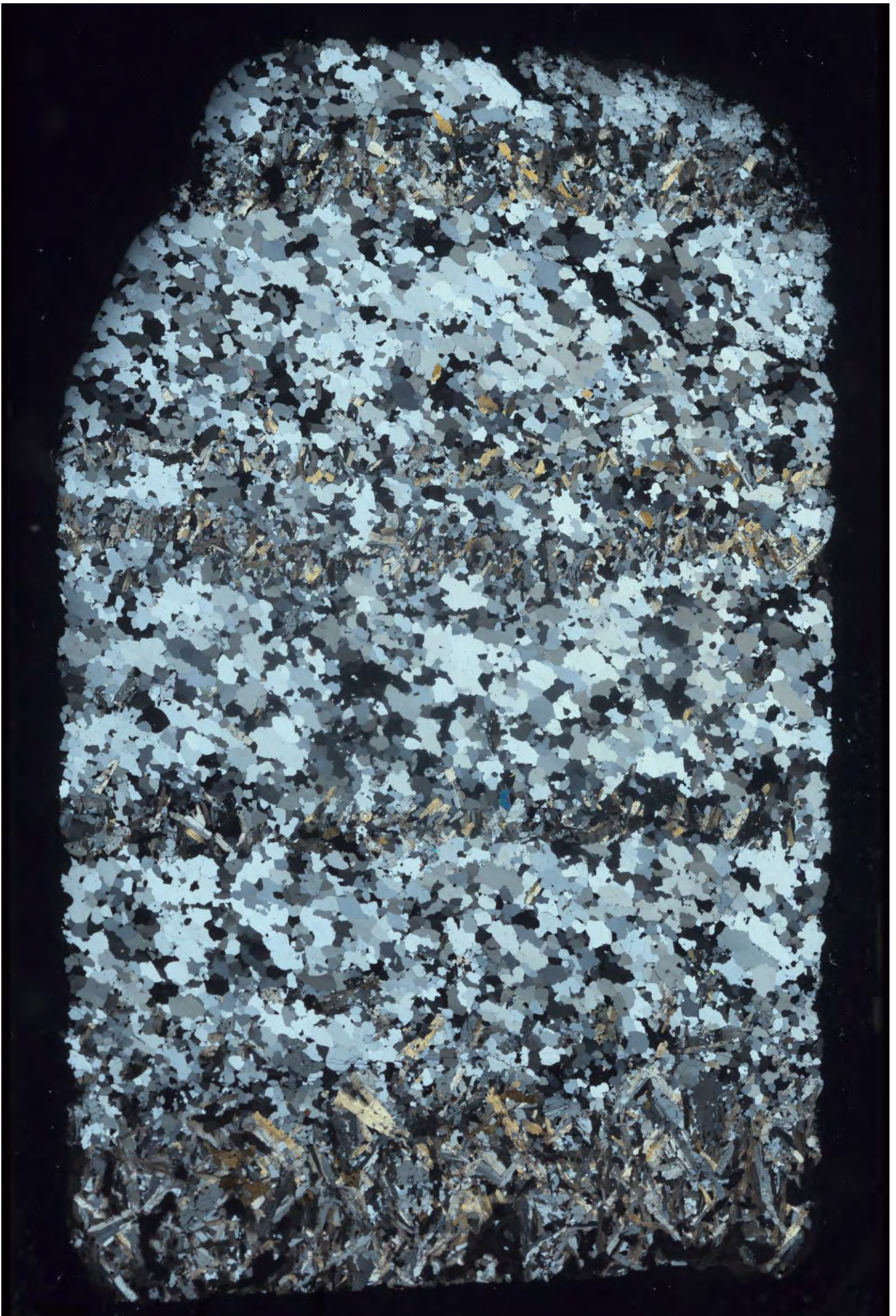
HBCL14PPL



HBCL14XPL



HBCL16PPL



HBCL16XPL



HBCL17PPL



HBCL17XPL