

Bergslagen, etapp 2

Styrning av W-Mo-mineralisering i granit-pegmatitsvitens intrusioner i Bergslagen

Stefan Bergman, Edward Lynch & Robert Berggren

mars 2020

SGU-rapport 2020:07



Omslagsbild: Vy mot sydväst över Wigströmsgruvan där man bröt
volframmalm under perioden 1978–1981.
Fotograf: Edward Lynch

Författare: Stefan Bergman, Edward Lynch & Robert Berggren

Granskad av: författarna har läst varandras avsnitt

Ansvarig enhetschef: Ildikó Antal Lundin

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning.....	4
Tidigare arbeten.....	4
Årets arbeten.....	5
Berggrunden inom W-Mo-provinsen: Malingsbo-Pingstabergsområdet.....	7
Geologiska undersökningar	7
Geofysiska undersökningar.....	14
Berggrunden sydost om W-Mo-provinsen: Lindesberg-Örebroområdet.....	15
Referenser.....	19

INLEDNING

Den sensvekokarelska granit-pegmatitsviten (Stephens m.fl. 2009) i Bergslagen, i denna rapport benämnd GP-sviten, är knuten till tre huvudsakliga mineraliseringstyper:

- niob-yttrium-fluor- och litium-cesium-tantalrik pegmatit
- molybden i granit
- volfram-koppar-molybden-fluorförande exoskarn i anslutning till granit.

Denna undersökning är särskilt inriktad på den senare typen med volfram-koppar-molybden-fluorförande exoskarn i västra Bergslagen. Det metallogenetiska området ”Western Bergslagen W-Mo” har fler än 100 kända volfram- eller molybdenförekomster (Bergman 2012). Den sydöstra begränsningen av det området sammanfaller i stora drag med ”West Bergslagen Boundary Zone” (WBBZ, Beunk & Kuipers 2012), som är en grupp av diskontinuerliga nordväst-sydostliga skjuvzoner mellan Garpenberg och Älvsången.

Syftet med projektet är att öka förståelsen av vilka faktorer som kontrollerar anrikning av volfram, koppar, molybden och fluor och om man genom undersökning kan avgöra om en viss granitintrusion är fertil eller ej. Ett antal granitkroppar har valts för undersökning av 3D-geometri, petrografisk, petrofysisk och kemisk karaktär, möjliga källbergarter och ålder. Förutom fältobservationer och petrografi ingår mätningar av tyngdkrafts-, magnet- och elektromagnetiskt fält, kemisk grundämnessammansättning samt isotopsammansättning i U-Pb-, Lu-Hf-, Sm-Nd-, Pb- och Re-Os-systemen. Projektet planeras att bedrivas under tiden 2019–2021, och denna rapport redovisar den första fältsäsongens arbeten. Koordinater anges i SWEREF99 TM.

TIDIGARE ARBETEN

Det modernaste berggrundsgeologiska underlaget för de undersökta områdena (fig. 1) är kartorna Örebro NV (Lundegårdh m.fl. 1972), Örebro NO (Gorbatshev 1972), Lindesberg NV (Lundström 1985), Lindesberg NO (Ambros 1983), Lindesberg SV (Lundström 1983), Säfsnäs SO (Ripa 1998) och Ludvika SV (Strömberg 1983). En regional beskrivning av hela Bergslagen-området gjordes av Stephens m.fl. (2009). Studier som behandlar olika aspekter av områdets volfram-molybdenförekomster eller relaterade granitintrusioner har presenterats av Ohlsson (1979), Romer & Öhlander (1994, 1995), Bergman m.fl. (1995), Hellingwerf & Baker (1985) och Hellingwerf m.fl. (1987).

De geofysiska undersökningarna under 2019 gjordes i områdena Pingstaberget och Wigström (fig. 2). SGU har vid fyra tillfällen genomfört mätningar från flygplan som helt eller delvis omfattar detta område. De första flygmätningarna var 1969 och 1972 med en öst-västlig flygriktning på höjden 30 m. Vid dessa flygningar mättes magnetfält och gammastrålning. De två nyare flygmätningarna var 2016 och 2017 och då med riktningen sydöst-nordväst och flyghöjden 60 m. Då mättes magnetfält, gammastrålning och även elektromagnetiska egenskaper under interaktion med VLF-fält. Vid de elektromagnetiska mätningarna har två sändare registrerats med avsikt att möjliggöra beräkning av riktningsoberoende respons och en bedömning av berggrundens skenbara resistivitet.

Innan 2018 så hade området en täckning av tyngdkraftdata om 2–5 km punktavstånd. Under 2018 utfördes komplettering för att nå 1 km punktavstånd, och även viss tätmätning kring Wigströmfyndigheten. Den nuvarande fördelningen av mätpunkter över området framgår av figur 2.

Geofysiska markmätningar i samband med prospekteringsinsatser har gjorts i området. I syd-sydväst finns mätområdet kallat "Båten" där SGU/SGAB mätte med slingram- och magnetfälts-instrument 1985–86. I sydväst finns också mätningar i området "Krigstjärn" där SGU mätte 1988. Rakt till väster om Wigström finns mätområdet "Ställdalen" där SGU mätte med geofysisk utrustning "slingram" och magnetometer 1985–86. Sydväst om Wigströmfyndigheten, och under åren 2006–2014, gjorde företaget Kopparberg Mining Exploration AB geofysiska undersökningar i området "Silverhöjden" med metoderna för att mäta magnetfält och Inducerad Polarisations-effekt (IP-effekt). Boliden Mineral AB gjorde år 2005 en elektromagnetisk (EM) undersökning i området de kallar "Ställdalen". Ställdalen blev även undersökt av Kopparberg Mining Exploration AB som gjorde två mindre mätningar med magnetometer och IP-instrument.

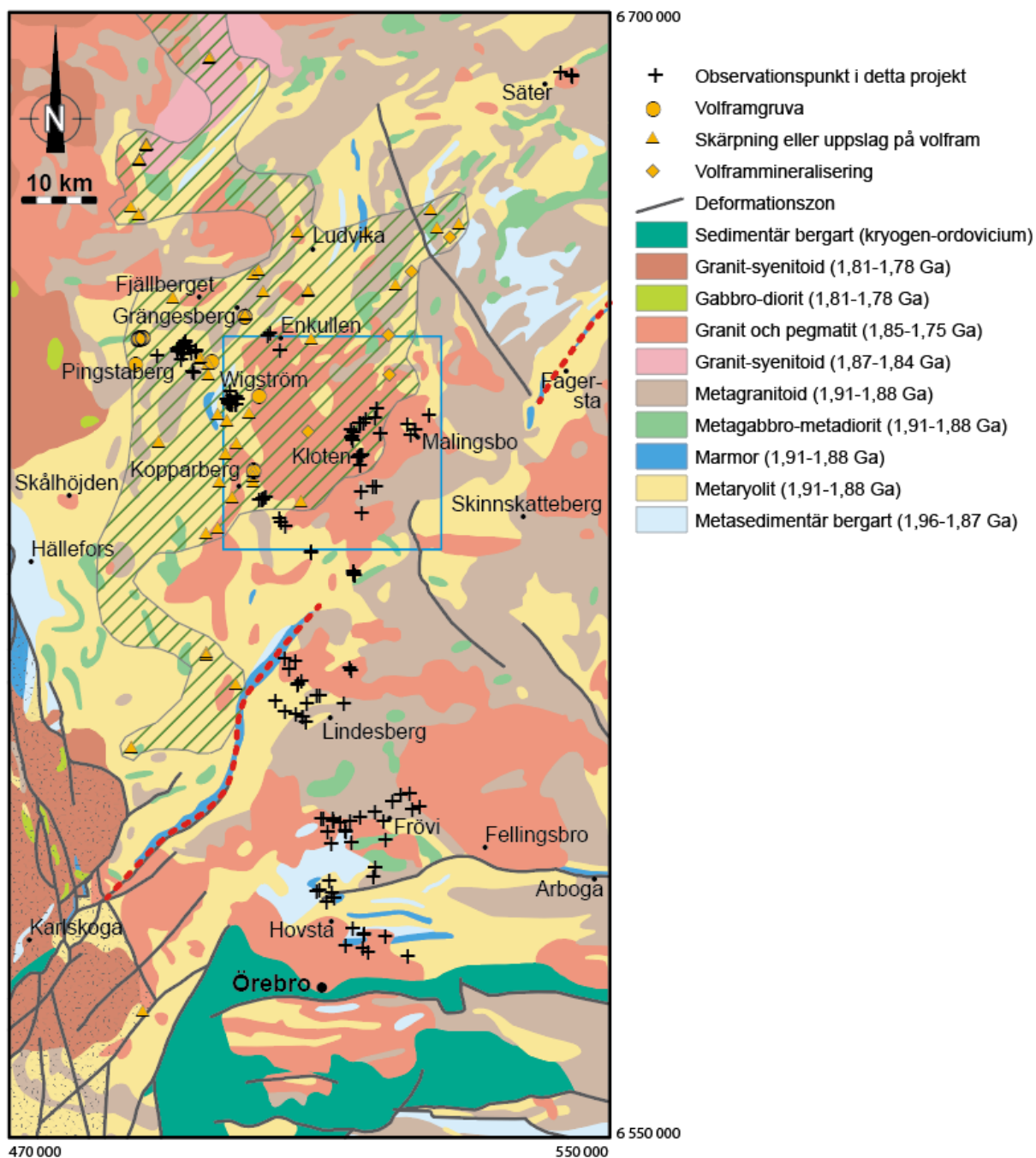
Det fanns vid början av 2019 insamlat drygt 100 prover som blivit analyserade i petrofysiska laboratoriet. Det är ett tillräckligt underlag för att behandla berggrunden i regional skala, men för lokala företeelser behövs högre provtäthet.

ÅRETS ARBETEN

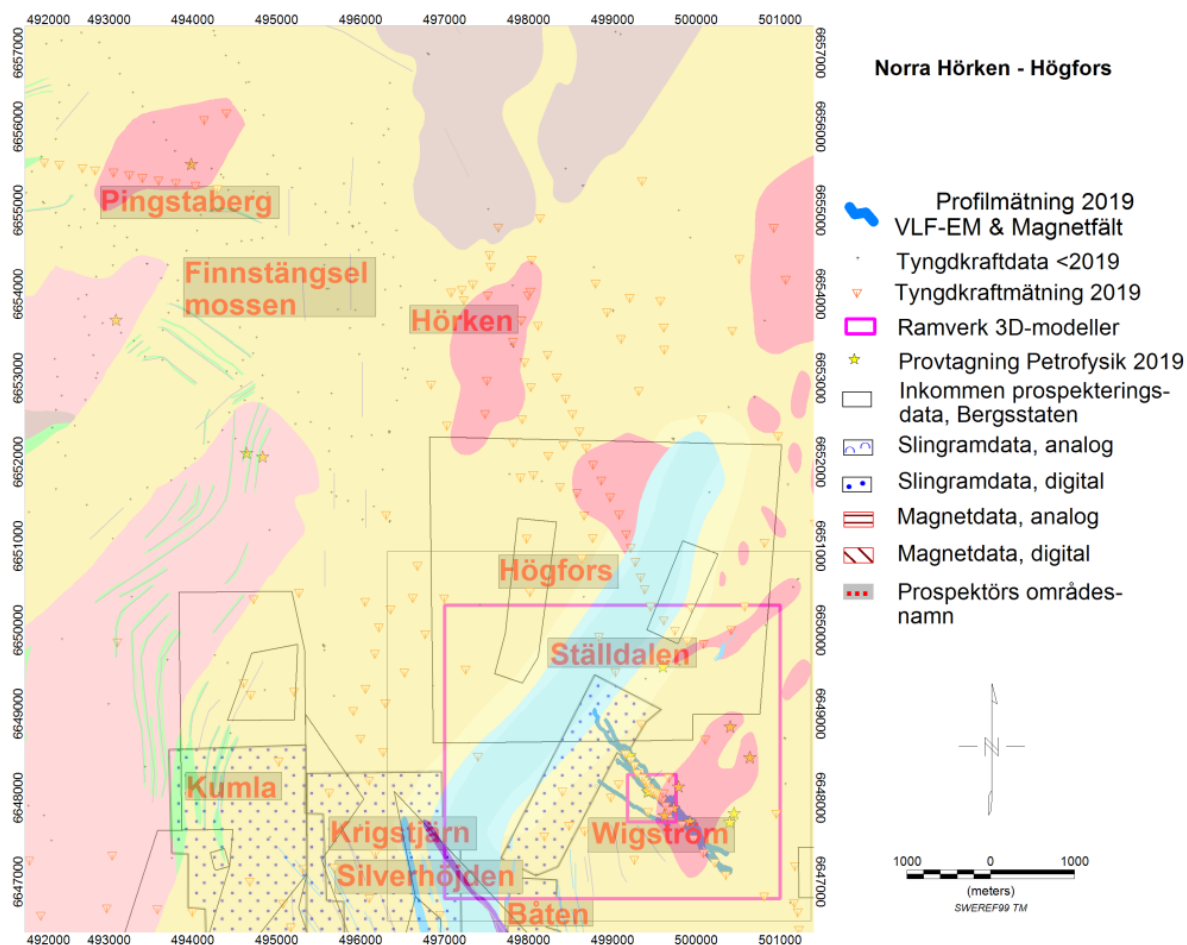
Årets fältarbeten omfattade ca sju veckors berggrundsgeologiskt arbete av Edward Lynch och Stefan Bergman, och två veckors geofysiska mätningar av Robert Berggren. Syftet med detta arbete var att:

- bedöma den petrologiska karaktären hos GP-svitens intrusioner
- dokumentera kontaktförhållanden mellan GP-svitens intrusioner och äldre metamagmatiska och metasedimentära bergarter
- karakterisera $W\pm Mo\pm F$ -mineraliseringar som är relaterade till GP-svitens granitiska intrusioner i denna del av Bergslagen
- ta fram ett underlag för 3D-modellering av ett antal granitkroppar.

Hällobservationer, mätningar och provtagning genomfördes huvudsakligen inom områdena Malingsbo-Pingstabergr, som till största delen ligger inom det metallogenetiska området och nordväst om WBBZ, och Lindesberg-Örebro, som ligger helt utanför det metallogenetiska området och sydost WBBZ. Berggrundsobservationer gjordes på 144 platser (fig. 1) och det gjordes 248 nya strukturella mätningar. Totalt insamlades 110 bergartsprover för ytterligare analysarbete under projektet (t.ex. litogeokemi, geokronologi, petrofysik). I den följande texten beskriver vi några preliminära resultat, först från undersökningen i Malingsbo-Pingstabergrs-området och sedan från området Lindesberg-Örebro.



Figur 1. Berggrundskarta över delar av västra Bergslagen, modifierad efter Bergman m.fl. (2012), med lägen för observationspunkter. Det strösslade området i den sydvästra delen påverkades av plastisk deformation under den Svekonorvegiska orogenesisen. Det snedstreckade området är det metallogenetiska området Västra Bergslagen W-Mo. Petrofysiska data i tabell 1 är kommer från prover inom den blå rutan. Röda, streckade linjer är "West Bergslagen Boundary Zone" (Beunk & Kuipers 2012).



Figur 2. Figuren visar läget med geofysiska markmätningar insamlade före år 2019 och även den data som tillkommit under året.

Berggrunden inom W-Mo-provinsen: Malingsbo-Pingstabergetsområdet

Geologiska undersökningar

Malingsboplutonen är en relativt stor (ca 500 km²) granitintrusion som ligger sydost om Grängesberg och öster om Kopparberg (fig. 1). Vid den nuvarande erosionsnivån har den en oregelbunden skivform och intruderar främst sura metavulkaniska bergarter i norr, söder och väster, och metagranitoider i sydost och öst (fig. 1). På typlokalen i byn Malingsbo (fig. 1) är den dominerande bergarten en blekrosa till rödrosa, massformig, medelkornig (ca 1–5 mm), jämnkornig biotitgranit (fig. 3A–B). Lokalt finns grovkornig (ca 5–12 mm) pegmatit som oregelbundna, cm- till m-stora körtlar, gångar och ådror (t.ex. fig. 3A). Kontakter mellan granit och pegmatit är gradvisa eller skarpa.

Ett iögonfallande drag hos graniten i och runt Malingsbo är närvaron av xenoliter (fig. 3C–D). De har vanligtvis oregelbundna former, från ca 10 cm till 2 m stora, och består av melanokratisk till mesokratisk, finkornig (<1 mm), biotit- eller amfibolrik folierad bergart (fig. 3C–D). Granit-xenolitkontakter är i allmänhet skarpa eller något diffusa; den senare antyder att viss resorption eller assimilation har skett. Sammantaget antyder xenoliternas petrologiska karaktär att de härrör från vulkaniska eller sedimentära protoliter som liknar de svekofenniska ytbergarterna som förekommer i västra Bergslagen. Större (ca 0,5–4 km) ytbergartsdomäner förekommer också inom Malingsboplutonen, särskilt i den östra halvan, och bildar rundade till linsformade xenolitrika zoner.

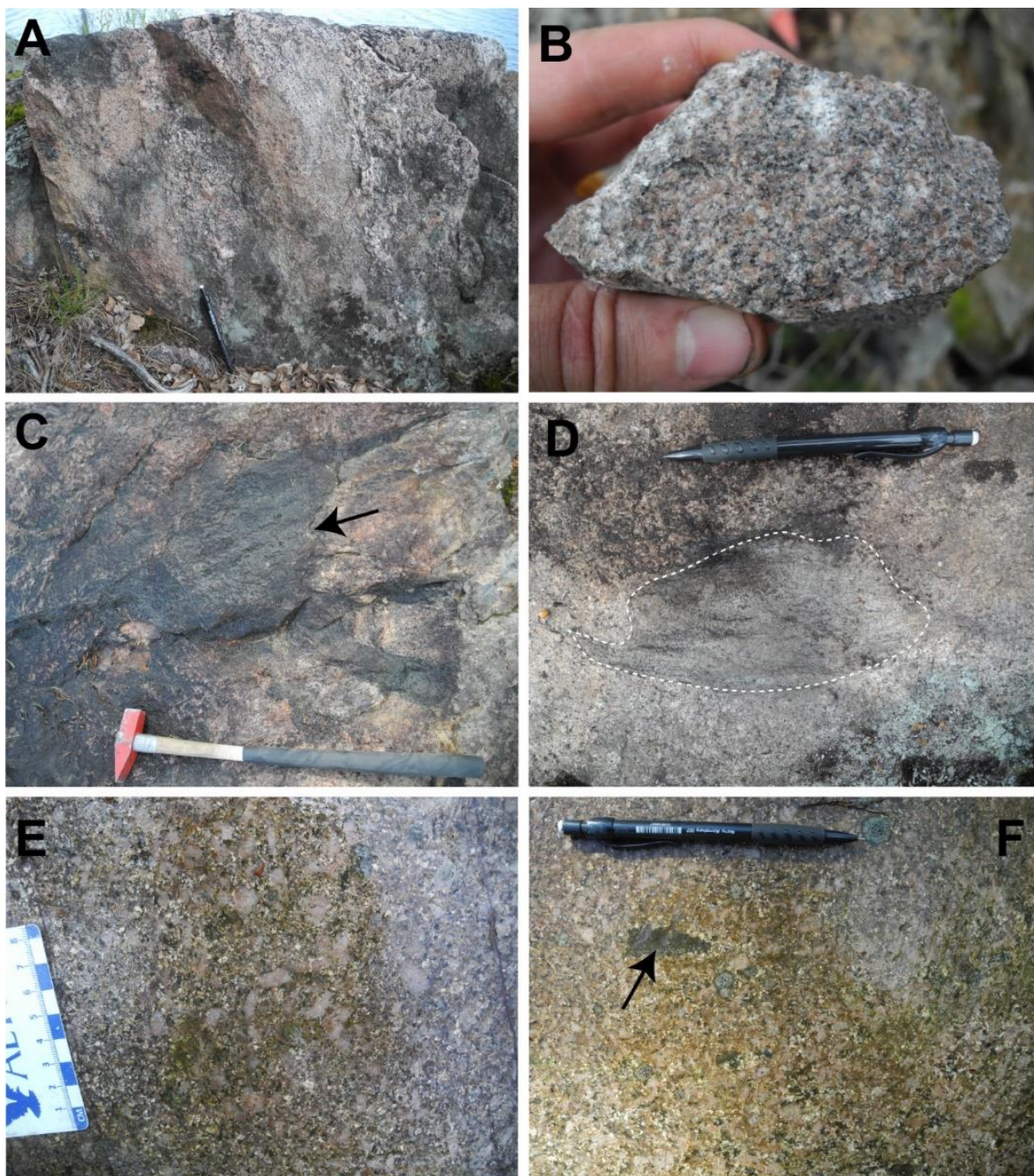
I den norra delen av Malingsboplutonen (vid Enkullen; fig. 1) är graniten grå till svagt rosa, medel- till grovkornig (ca 3–15 mm) och megakrystförande, med ca 8–15 mm långa, regellöst orienterade fältspatströkorn (fig. 3E). Här innehåller graniten också melanokratiska, linsformade, biotitrika, mafiska, finkorniga enklaver med en längd av ca 2–8 cm (fig. 3F). I det kartlagda området nära Enkullberget är tillplattade enklaver huvudsakligen orienterade parallellt med den ostnordost-västsydvästliga granitkontakten i norr. Huruvida detta strukturella förhållande även gäller andra områden längs granitkontakten är dock inte känt.

Baserat på tidigare SGU-kartläggning i skalan 1:50 000 (t.ex. Strömberg 1983, Lundström 1985), finns även megakrystförande granit av Enkullen-typ mellan Kopparberg och Kloten och söder om Kloten (fig. 1) och representerar ca 10 procent av Malingsboplutonens yta. Kontaktförhållandet mellan de båda granittyperna har inte observerats. På liknande sätt har systematisk litogeokemisk bedömning och modern U-Pb-zirkondatering av dessa typer inte genomförts (jfr. Åberg & Bjurstedt 1986). Huruvida dessa graniter representerar olika facies av samma pluton eller om de bildades vid separata magmatiska händelser (dvs inkrementell tillväxt) är en öppen fråga. Svagt fältspatporfyrisk granit (ca 3–8 volymsprocent strökorn), som förekommer ca 6–7 km nordväst om byn Malingsbo, antyder att det finns en petrogenetisk koppling mellan jämnkornig och megakrystförande granittyper. Denna idé stöds ytterligare av deras stora mineralogiska likheter.

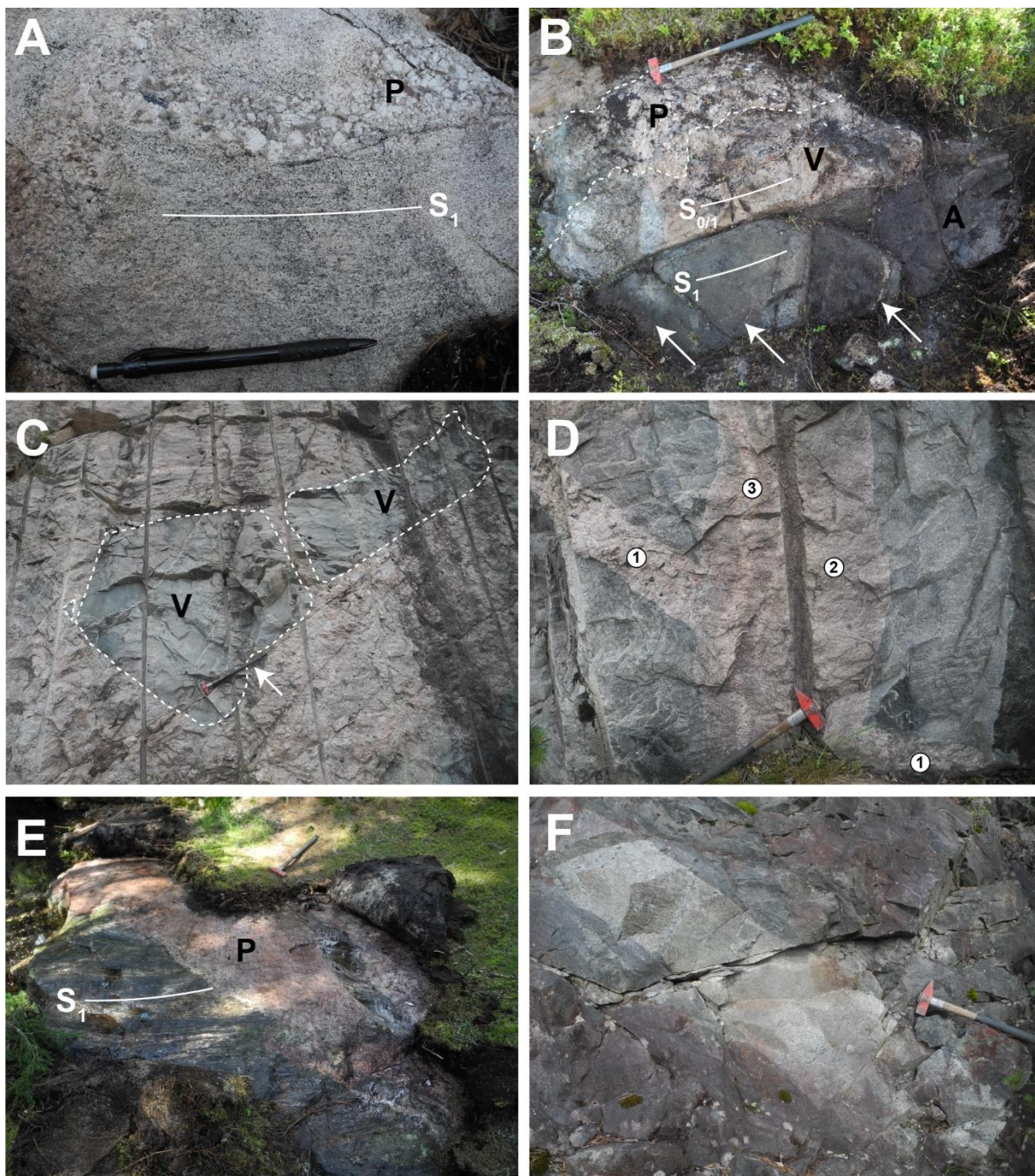
Fältförhållanden i Malingsbo-Pingstaberksområdet visar konsekvent att granitiska bergarter skär över metamagmatiska och metasedimentära bergarter med relativt skarpa, intrusiva kontakter. Graniterna representerar således en yngre fas av utvecklad magmatism i ett sent skede eller efter regional deformation och metamorfos (jfr. Sundblad & Bergman 1997, Stephens m.fl. 2009). Denna idé stöds av den generellt odeformerade karaktären hos granit och pegmatit, innehållet av ytbergartsxenoliter (fig. 3C–D), och de magmatiska åldrarna ca 1,83–1,78 Ga för GP-svitens intrusioner i västra Bergslagen (se Stephens m.fl. 2009 och referenser däri). I allmänhet utgör granitkropparna i hela studieområdet storskaliga (10-tals km i horisontell utbredning) och relativt homogena skivformade massiv (t.ex. Malingsboplutonen), mindre (ca 1–2 km) subcirkulära intrusioner eller pluggar (t.ex. Pingstberggranit), och skivor, gångar och ådror av olika storlekar, geometrier och orienteringar. Exempel på överskärande relationer och former för granit-pegmatitkroppar visas i figur 4.

De strukturella förhållandena mellan GP-svitens granitiska intrusioner och svekofenniska ytbergarter längs Malingsboplutonens västra kant illustreras i figur 5. Baserat på strukturella mätningar vid i områden (Wigström, Gruvberget och Norrsjön), har skivformade granit- och pegmatitkroppar riktningar som i allmänhet är överskärande mot S1-foliationer i intilliggande metavulkaniska bergarter, även om konkordanta intrusioner förekommer lokalt. I Gruvberget-området till exempel (fig. 5) stryker S1-foliationer i metavulkaniska bergarter och xenoliter ungefär nordväst-sydost och stupar måttligt (ca 40–70 °) mot sydväst. Här har granitiska intrusionskontakter samma riktning men har brantare stupningar, huvudsakligen mot nordost, vilket ger en nästan vinkelrätt relation. I Wigströmområdet mot norr (fig. 5) stryker S1-foliationer i metavulkaniska bergarter ungefär nordost-sydväst och stupar måttligt mot sydost. Här har granitiska gångar och ådror vanligtvis antingen nordväst-sydost- eller nordost-sydvästliga riktningar, där de senare är subparallella med S1-foliationer i intilliggande metavulkaniska bergarter.

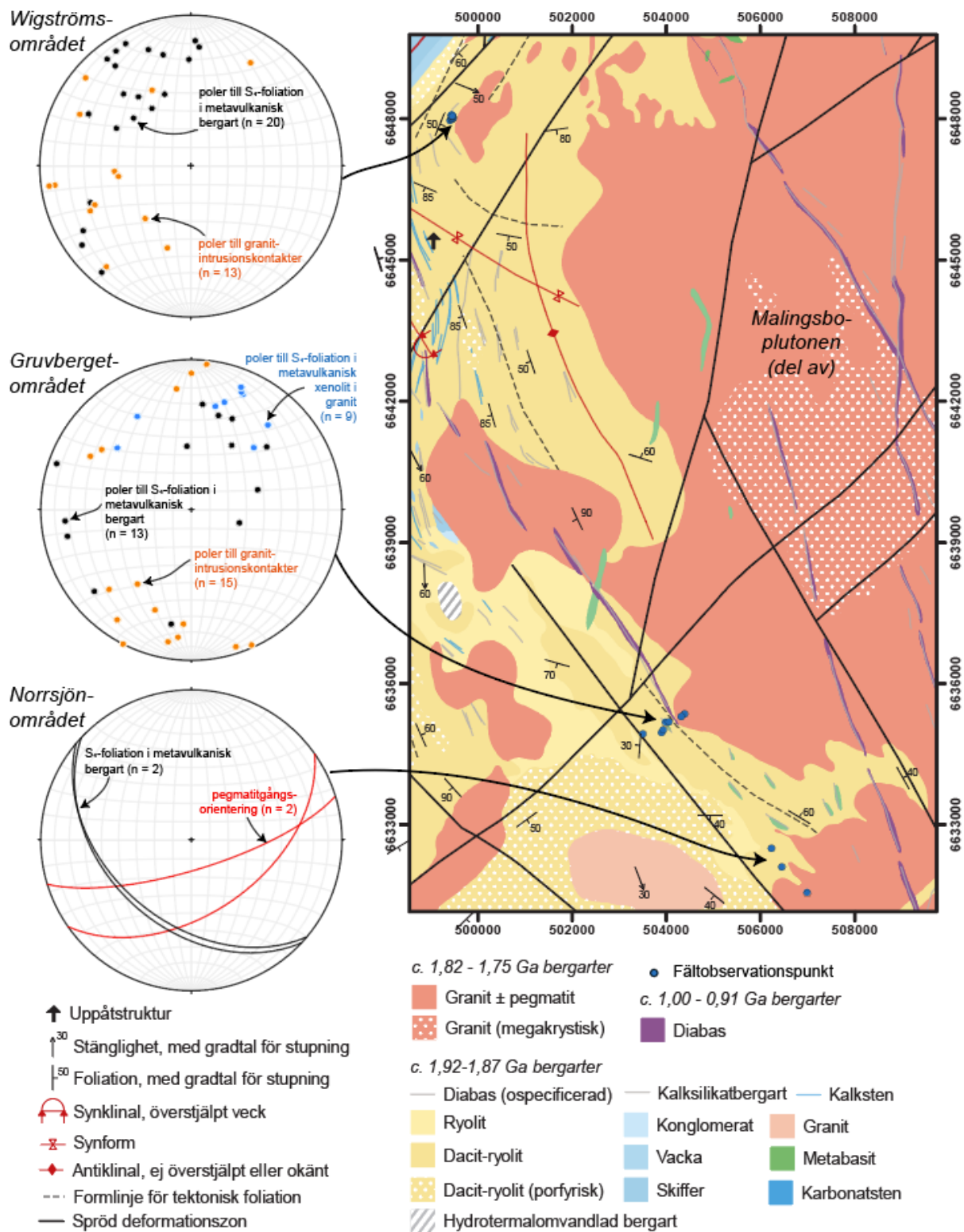
Sammantaget tyder dessa strukturella förhållanden på att graniterna intruderade oberoende av den tektoniska regimen som rådde när S1-foliationen i sidoberget bildades och att granitmagman infiltrerade sidoberget diskordanta, med riktningar som eventuellt kontrollerades av relativt höga tryck i smältan eller fluiden, eller lokal extensionsdynamik. Denna idé stöds ytterligare av att Malingsboplutonens kontakt i huvudsak är diskordant mot riktningen för lagring, foliation och veckaxlar i angränsande svekofenniska ytbergarter (se karta i fig. 5). Lokalt kan emellertid tidigare existerande tektoniska foliationer ha underlättat granitens platstagande och hjälpt till att kanalisera flödet av felsisk magma och relaterade vätskor inom sidoberget (t.ex. Wigströmsområdet).



Figur 3. Petrologiska särdrag hos Malingbogrånitplutonen. **A.** Blekrosa, medelkornig, jämnkornig, biotitgranit med pegmatitkörtlar eller segregationer vid Malingsbo. Vy mot öster på vertikal yta. Blyertspennan är ca 15 cm lång. ELH190002, 6644418/524300. **B.** Medelkornig, jämnkornig biotitgranit, ca 7,5 km västnordväst om Malingsbo. ELH190016, 6645179/516876. **C.** Biotitgranit vid Malingsbo som innehåller en oregelbunden, biotitrik mafisk xenolit (pil). Vy mot söder på horisontell yta. Hammarhuvudet är 15 cm långt. ELH190001, 6644307/524337. **D.** Finkornig, folierad xenolit (innanför den streckade linjen) i biotitgranit ca 7,5 km västnordväst om Malingsbo. Vy mot nordväst på horisontell yta. ELH190016, 6645179/516876. **E.** Massformig, fältspatmegakrystförande biotitgranit nära Enkullen. ELH190050, 6656898/504674. **F.** Megakrystförande biotitgranit nära Enkullen innehållande en finkornig, linsformad, mafisk enklav (vid pilen). Vy mot söder på horisontell yta. Blyertspennan är ca 15 cm lång. ELH190050, 6656898/504674. Foto: Edward Lynch.



Figur 4. Kontaktförhållanden mellan granit och sidobergarter. **A.** Beige till blekrosa, finkornig felsisk metavulkanisk bergart med en måttlig foliation (S_1) överskuren av massformig, medel- till grovkornig, pegmatitådra (P) orienterad ungefär parallellt med S_1 -foliationen. Vy mot nordost på sluttande yta, ca 1,3 km nordost om Kloten. Blyertspennan är ca 15 cm lång. ELH190006, 6640968/516960. **B.** Finkornig, felsisk metavulkanisk bergart (V) med en måttlig foliation ($S_0 / 1$) överskuren av en svagt folierad (S_1) lagergång av amfibolit (A). Yngre pegmatit (P) och aplitiska ådror (pilar) skär över den metavulkaniska bergarten och amfiboliten. Vy mot sydväst på brant sluttande yta, ca 1,4 km nordost om Kloten. Hammarhuvudet är ca 15 cm långt. ELH190008, 6640889/517118. **C.** Xenoliter lossbrutna från närliggande metavulkaniska bergarter (V) omgivna av massformig biotitgranit. Vy mot nordost på vertikal yta, ca 4 km sydost om Kopparberg. Hammarhuvudet (vid pilen) är ca 70 cm långt. ELH190042, 6634931/503493. **D.** Tre generationer av granitgångar (markerade 1-3) som intruderar en felsisk metavulkanisk bergart. Vy mot nordost på sluttande yta, ca 4 km sydost om Kopparberg. Hammarhuvudet är ca 15 cm långt. ELH190042, 6634931/503493. **E.** Vid Johnsongruvan, ca 2 km nordväst om Malingsbo. Relativt tunn pegmatit-skiva (P) som skär över bandad och folierad (S_1) metavulkanisk bergart med skarn-magnetitmineralisering. Vy mot norr. Hammarhuvudet är ca 70 cm långt. ELH190025, 6645155/523273. **F.** Vid Wigströmsgruvan, ca 10 km norr om Kopparberg. Beige till blekrosa, massformig mikrogranitgång överskärande finkornig intermediär till sur metavulkanisk bergart. Vy mot östsydost på vertikal yta. Hammarhuvudet är ca 15 cm långt. ELH190071, 6648028/499463. Foto: Edward Lynch.



Figur 5. Strukturella förhållanden mellan granitiska intrusioner och äldre ytbergarter i tre områden vid den västra kanten av Malingsbo-plutonen. Intrusionskontakternas riktningar är vanligtvis inte styrda av tektoniska foliationer i närliggande bergarter, även om flera granitiska intrusioner i områdena Wigström och Gruvberget är subparallella med tidigare bildade S₁-foliationer.

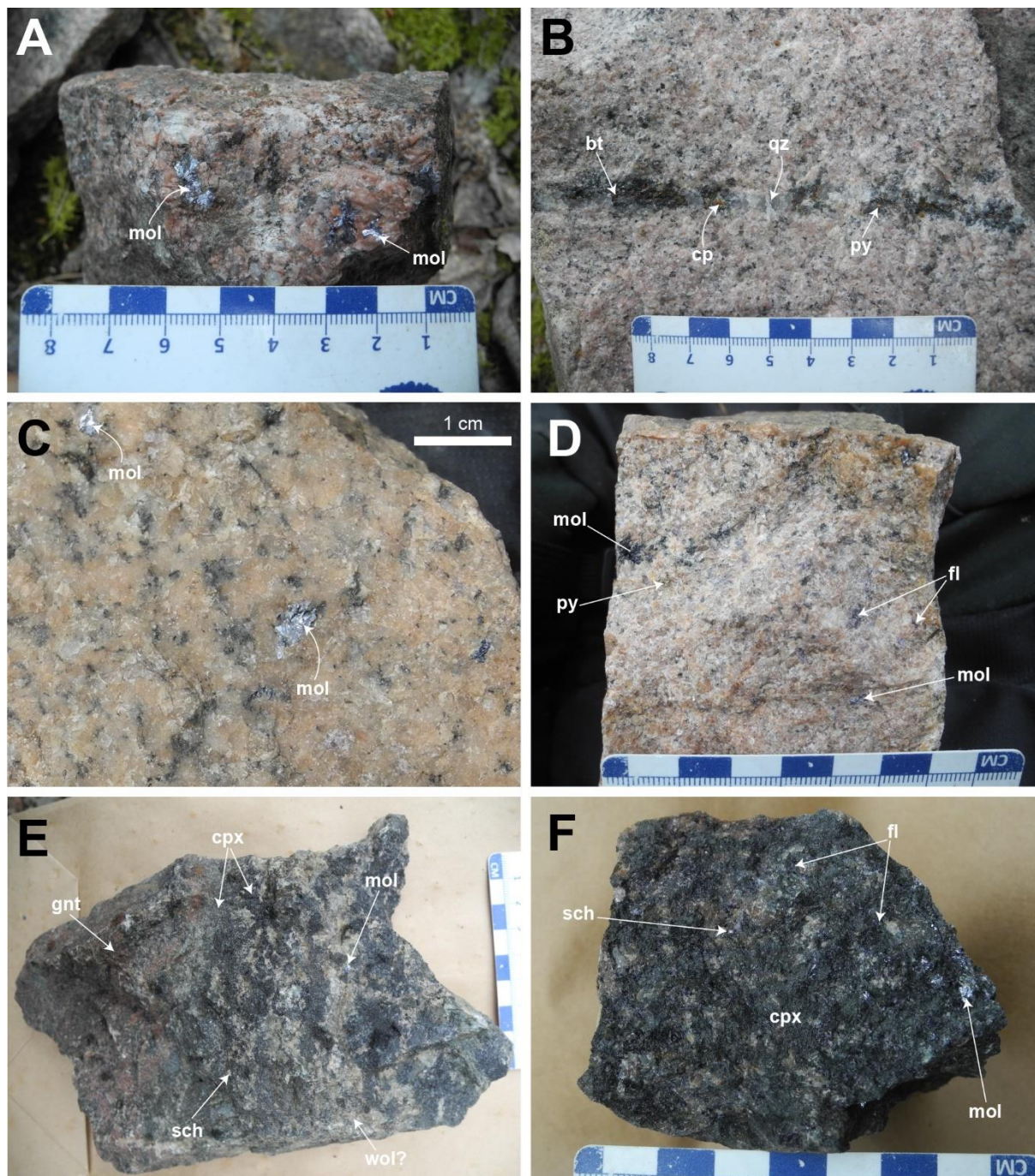
Cirka 75 förekomster av $W\pm Mo\pm F$ -mineralisering är kända i Malingsbo-Pingstaberksområdet, allt från tidigare producerande gruvor (t.ex. Yxsjöberg, Wigström) till relativt små förekomster (se Bergman 2012). Två generella mineraliseringstyper har beskrivits (jfr Ohlsson 1979); Mo-F-mineralisering utvecklad i GP-svitens granitintrusioner (intragranitisk, endokontakttyp, t.ex. Pingstaberget) och skarnrelaterad (exokontakttyp) W-F-Mo $\pm$ Cu-mineralisering associerad med ytbergarter i närhet till GP-svitens intrusioner (t.ex. Wigström). I allmänhet tenderar mineraliseringstyperna att ha olika proportioner mellan grundämnena, exempelvis är W-mineralisering bäst utvecklad i skarnförekomster. I detta projekt genomförs geologiska bedömningar av flera viktiga exempel på W-Mo-F-mineralisering, med ett särskilt fokus på Mo- och F-mineraliserad Pingstabergranit nära Grängesberg och den närliggande skarn-W-F $\pm$ Mo-förekomsten Wigström (fig. 1). Flera andra W-Mo-mineraliseringar i västra Bergslagen (t.ex. Yxsjöberg, Bispbergs klack och Valdemarsgruvan) undersöks och provtas också som en del av arbetet för att ytterligare förstå styrningen av granitrelaterad W-Mo $\pm$ F $\pm$ Cu-mineralisering i området.

Vid Bispbergs klack nära Säter (fig. 1) finns en ca 2×3 km stor intrusion av biotitleukogranit, utsträckt i nordostlig riktning, som har intruderat metamagmatiska bergarter och innehåller lokalt Mo-F-mineralisering av intragranitisk typ (t.ex. Sundblad & Bergman 1997). Området är historiskt betydelsefullt eftersom det var upptäcktsplatsen för volfram (W) och molybden (Mo), och deras respektive malmmineral scheelit ($CaWO_4$) och molybdenglans (MoS_2), efter pionjärstudier i slutet av 1700-talet av C.W. Scheele, P.J. Hjelm och andra (t.ex. Lassner & Schubert 2005). Den östra delen av intrusionen består av medelkornig, fältspatporfyrisk biotitgranit och grövre pegmatitiska segregationer som innehåller spridda, ca 3–10 mm stora, korn av molybdenglans som lokalt är associerad med kopparkis, pyrit och flusspat (fig. 6A–B). Scheelit, vismutglans, bornit och blyglans har också rapporterats från detta område (Sundblad & Bergman 1997).

En liknande Mo-F-mineralisering av intragranitisk typ finns i Pingstabergraniten, som ligger ungefär 12 km nordväst om Malingsboplutonen (fig. 1). Här innehåller en rödaktigt rosa, medelkornig (1–5 mm), jämnkornig biotitgranit, med tillhörande aplit-pegmatitzoner, spridda, 0,5–4 mm stora korn av molybdenglans och flusspat (fig. 6C–D). Nära den sydvästra kontakten finns många provgropar, skärpningar och varphögar efter intermittent provbrytning av molybdenglans under förra seklet (särskilt under andra världskriget). Geokemiskt är Pingstabergraniten en kiselrik, peraluminös och alkali-kalcisk intrusion av "within-plate-" eller A-typsaffinitet med förhöjda Rb-, Y-, Nb-, U-, F- och REE-koncentrationer (Billström m.fl. 1988).

Skarn-W $\pm$ F $\pm$ Mo-förekomsten Wigström upptäcktes med hjälp av geokemisk undersökning och blockletning av SGU 1976, och gruvdrift pågick under tiden 1978–1981. Totalt extraherades ca 200 000 ton volframalm från gruvan med de genomsnittliga halterna ca 0,35 % W och 5 % F (Bergman 1994). Malmen sitter i ett nordostligt strykande och måttligt sydoststupande lager av kalksilikatskarn i en veckad svekofennisk ytbergartssekvens. Den ca 1,75 Ga gamla Högbergsgraniten (Bergman m.fl. 1995) ligger omedelbart öster om förekomsten. Malmkroppen beräknades inför gruvdriften vara ca 250 m lång och ca 5–20 m tjock. Skarnzonen intruderar av granitiska gångar av olika storlekar och ådror, medan rester av marmor förekommer i det nordvästra hörnet av det största gruvhålet.

I allmänhet består skarnzonen vid Wigström av paragenesen grossular-andradit (granat), diopsid-hedenbergit (klinopyroxen), hornblände och underordnat skapolit (fig. 6E–F). Vesuvianit och wollastonit har observerats i borrhärdar från skarnzonen intill marmor. Det huvudsakliga malmmineralet är finkornig scheelit som förekommer som spridda kristaller i kalksilikatskarn. Lokalt är scheelit associerad med underordnad flusspat och molybdenglans (fig. 6E–F).



Figur 6. Mineralisering associerad med GP-svitens intrusiva bergarter. **A.** Vid Bispbergs klack, ca 4 km ostnordost om Säter. Stuff med medel- till grovkornig molybdenglans (mol) i en pegmatitsegregation i massformig biotitgranit. ELH190054, 6691617/545140. **B.** Stuff från Bispbergs klack med massformig biotitgranit överskuren av kvartsådra med kopparkis (Cp) och pyrit (py). ELH190054, 6691617/545140. **C.** Disseminerad molybdenglans i medelkornig, massformig biotitgranit vid Pingstaberget. ELH190073, 6655252/492888. **D.** Disseminerad flusspat (fl), molybdenglans (mol) och pyrit (py) i biotitmikrogranit vid Pingstaberget. ELH190073, 6655252/492888. **E–F.** Exempel på stuffer av kalksilikatskarnmalm från Wigströmsgruvan (ca 10 km norr om Kopparberg) med disseminerad scheelit (sch), flusspat (fl) och molybdenglans (mol). ELH190085, 6648073/499432. Andra mineralförkortningar: bt = biotit, cpy = klinopyroxen, gnt = granat, wol = wollastonit. Foto: Edward Lynch.

Geofysiska undersökningar

Geofysiska linjemätningar av magnetfält, tyngdkraft och elektromagnetiska egenskaper har gjorts i närområdena till fyndigheterna Hörken, Pingstaberget och Wigström för att ha bra underlag för tolkning tillsammans med flygdata (fig. 2).

Planerade insatser omfattar inversionsberäkning av bergarters troliga egenskaper på djupet, som sedan ligger till grund för profilmodellering av berggrunden. För att undersöka karaktär och geometri hos en av de mindre granitkropparna, Högbergsgraniten, har området kring denna och Wigströmfyndigheten delats upp i två rektangulära ytor, som var och en ska genomgå geofysisk 3D-inversion följt av övertvärande profilmodellering i ”2,5D”. Den största av dessa ytor (~16km²) har vi, för arbetet med 3D-modellering, kallat ”Wigström regional”. Denna yta har data från de fyra ovan nämnda flygmätningarna, men täcks helt av de från åren 2016–2017. Den mindre ytan, som vi kallar ”Wigström lokal”, är vald för att täcka fyndighetens två dagbrott och omfattar ca 1 km². Ytan täcks helt av flygmätta data från 1972 och 2016. Modelleringsarbetet ska genomföras under slutet av 2019 och början av 2020.

Inom ytan ”Wigström regional” fanns vid början av 2019 petrofysiska data för 15 prover. Under årets fältarbete besöktes 19 berghällar, och 15 nya prov togs för att komplettera det petrofysiska datamaterialet. Det är viktigt eftersom det modellerade resultatet bör förankras i verkliga parametrar. I Wigströmsområdet togs prover från dagbrottet och närliggande granit för att ligga till grund för modelleringen som beskrivits ovan.

Petrofysiska prover från Malingsboplutonen med omgivning har sammanställts i tabell 1 nedan och den är lämplig som grund för bedömning av de befintliga och nyligen tagna proverna från graniterna i Wigström-, Hörken- och Pingstabergetsområdena. De insamlade proverna ska ingå i underlaget för modellering av bergarter i de ovan nämnda områdena. På så vis kan det skillnader och likheter framgå mellan dessa mindre kroppar i förhållande till den större Malingsboplutonen.

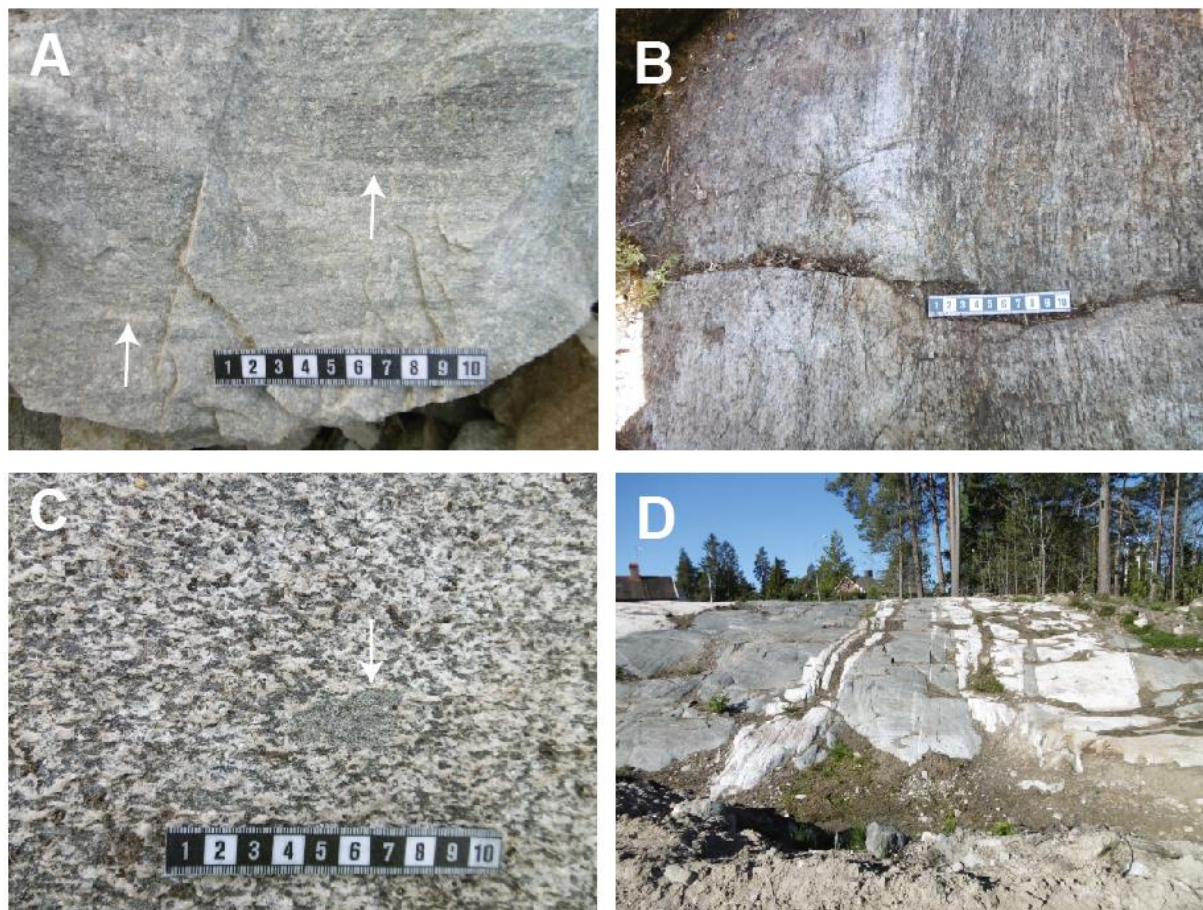
Tabell 1. Sammanställning av petrofysiska data för bergartsprover från området markerat med en blå ruta i figur 1.

Bergart	Densitet (kg/m ³)	Densitet Std.avv.	Magnetisk susceptibilitet	Magnetisk susceptibilitet Std.avv.	Magnetisk remanens (A/m)	Q-värde	Antal prov
Skiffer	2 776	66	0,000355	0,000092	0,00662	0,407533	20
Dacit-ryolit	2 703	328	0,000379	0,009318	0,007944	0,38409	95
Granit	2 634	14	0,00031	0,00074	0,005192	0,281346	21
Granodiorit-granit	2 670		0,001165		0,022858	0,209689	16
Urgranit	2 641		0,00212		0,019638	0,177793	23
Gabbroid-dioritoid	2 958		0,001404		0,013338	0,188974	19
Diabas	2 938		0,039218		4,59013	3,003781	21

Berggrunden sydost om W-Mo-provinsen: Lindesberg-Örebroområdet

Den äldsta berggrunden består av vulkaniska och sedimentära bergarter som är intruderade av gabbro, diorit och granitoid (fig. 7). Alla dessa bergarter är metamorfoserade i amfibolitfacies. Migmatitbildning (fig. 8) har skett i området Hovsta-Frövi och västerut, medan primära strukturer förekommer lokalt i övriga delar av området. En oststupande linjärstruktur är i allmänhet starkt utvecklad, medan förskiffring eller gnejsighet varierar från måttligt till starkt utvecklad. Intrusioner som hör till GP-sviten består av massformig granit med varierande petrografisk karaktär (fig. 9).

De metavulkaniska bergarterna öster om Lindesberg är starkt stängliga och det finns rikligt med cigarrformade aggregat som påminner om pimpstensfragment (fig. 7A). Öster om Hovsta förekommer metasandsten, med variabel glimmerhalt, växellagrad med metaargillit. Porfyrblastar av andalusit och cordierit som är upp till 30 mm stora finns rikligt på vissa ställen. Metavulkaniska bergarter med ryolitisk eller dacitisk sammansättning med välbevarad porfyrisk textur finns också öster om Hovsta. Ett upp till flera 100 meter mäktigt marmorlager ingår i lagerföljden, och i den östliga fortsättningen av detta stråk bröts tidigare Ekebergsmarmor som innehåller stromatolitstrukturer. Norr om Hovsta är metamorfosgraden högre och lagringsstrukturer i ursprungligen sedimentära bergarter är inte lika tydliga (fig. 7B). På platser där det varit omfattande uppsmältning av berggrunden saknas primära drag helt, och bergarterna har omvandlats till metatexit och diatexit (fig. 8).



Figur 7. Fältfotografier av bergarterna runt de granitiska intrusionerna och som utgör möjliga protoliter. **A.** Starkt linjerad, ryolitisk breccia. Pilarna pekar på troliga pimpstensfragment. STB191005, 6606561/508418. **B.** Starkt folierad paragnejs med kvarts-fältspatrika band och glimmerrika band, tolkade som ursprungliga sedimentära lager. STB191024, 6590741/515078. **C.** Metagranodiorit med finkorniga mafiska enklaver (pil). STB191008, 6606027/509211. **D.** Metagranodiorit med amfibolitgångar. STB191016, 6592187/520119. Foto: Stefan Bergman.

De äldre intrusionerna har stor utbredning i området mellan Lindesberg och Frövi. Vanligast förekommande är grå eller rödgrå, medelkornig metagranit till metagranodiorit, i många fall med rikligt med mafiska magmatiska enklaver (fig. 7C). I den södra delen, kring Frövi, uppträder kalifältspatporfyrisk eller ögonförande metagranit, och i samma område är medelkornig meta-gabbro till metadiorit vanligast. Gångar av finkornig mafisk bergart, numera amfibolit, har genomslagit den äldre berggrunden (fig. 7D). Gångarna är konforma med den dominerande foliationen i sidoberget.

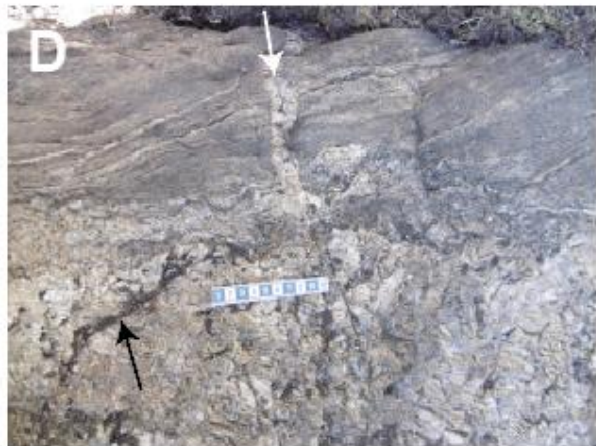
Områdena med yngre granit öster om Hovsta, väster om Frövi, öster om Frövi och norr om Lindesberg saknar i allmänhet tydlig tektonisk foliation, men skiljer sig åt vad gäller homogenitet, textur och kornstorlek (fig. 9). Varken molybdenhlans eller flusspat observerades i dessa områden. I det södra området är den en grå, fint medelkornig och jämnkornig tvåglimmergranit eller biotitgranit (fig. 9A). Den stora intrusionen av Örebrogranit, som har stor utbredning norr om Örebro, karakteriseras av massformig, porfyrisk biotitgranit. Vid en intrusionskontakt skär graniten lagringen i metasandsten med hög vinkel, men rektangulära strökorn i graniten är orienterade i en magmatisk foliation som är parallell med kontakten (fig. 8H).

I området väster om Frövi finns tre huvudsakliga granitvarianter. I väster dominerar grovkornig pegmatitgranit som innehåller en hel del glimmerrika strimor och delvis upplösta ytbergartsrester (fig. 8E). Man skulle kunna betrakta detta som en diatexitenhet. Mot öster dominerar grå, fint medelkornig och jämnkornig tvåglimmergranit eller biotitgranit. Lokalt observerades en skarp gräns mellan fint medelkornig granit och pegmatitgranit, men åldersförhållandet är oklart. De båda typerna verkar dock vara resultatet av en liknande uppsmältningsprocess eftersom de har ett likartat innehåll av mer eller mindre upplösta xenoliter och biotitstrimor (fig. 8E–F). Pegmatitgraniten innehåller på flera ställen radialstråliga aggregat av muskovit (fig. 8E), vilken skulle kunna vara en effekt av relativt måttliga stelningsdjup.

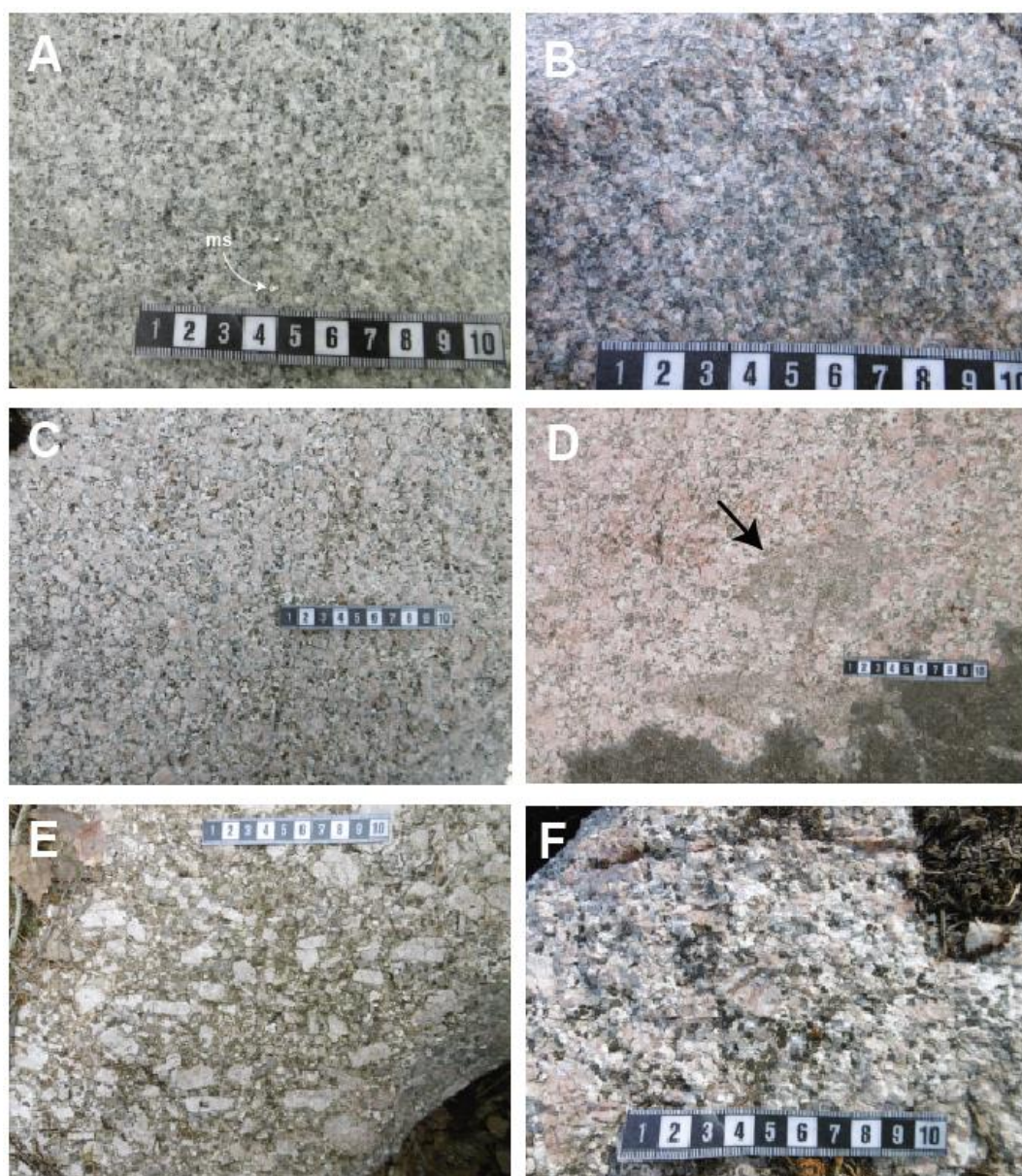
Närmare Frövi finns grovporfyrisk granit som sannolikt är en satellitintrusion till Fellingsbrograniten, vilken har stor utbredning öster om Frövi. Fellingsbrograniten är större intrusion med en utbredning av ca 20 × 20 km på markytan. Intrusionen består mest av granit som har porfyrisk textur med 10–30 mm stora, rektangulära eller rundade, strökorn av kalifältspat (fig. 9D–F). På vissa ställen finns parallellorientering av strökorn, vilken sannolikt är en magmatisk foliation (fig. 9E). Ett vanligt inslag är 5–10 cm stora, mafiska magmatiska enklaver (fig. 9D). Detta tyder på samtidiga mafiska och felsiska magmor, vilket gör att Fellingsbrograniten anses tillhöra en annan genetisk typ än GP-svitens bergarter.

I området norr om Lindesberg dominerar gråröd, medelkornig, jämnkornig tvåglimmergranit eller biotitgranit (fig. 9B). Strukturen är normalt massformig men på ett ställe i den nordvästra delen noterades tydlig tektonisk stänglighet. Gångar av muskovitförande pegmatit förekommer.

Fältrelationer i det migmatitiska området norr om Hovsta visar att granit visserligen har bildats i ett sent skede i den geologiska utvecklingen, men dock innan deformation och metamorfos helt har upphört (fig. 8). Intrusionskontakter till gångar och större massiv av granit är vanligen skarpa och överskärande relativt sidobergets tektoniska foliation. Apofyser från dessa granitkroppar kan dock vara parallella med foliationen, boudinerade och tätt veckade. Det finns flera generationer av granitiska ådror (fig. 8C–D). Ett exempel är en migmatitisk paragnejs strax norr om Hovsta där det finns en äldre generation med foliationsparallella, veckade ådror och en yngre generation som är parallell med axialplanet till vecken (fig. 8C). Även utanför det migmatitiska området finns bevis för att plastisk deformation pågått efter granitens bildning, i form av lokalt förekommande tektonisk stänglighet.



◀ **Figur 8.** Fältfotografier som visar migmatitiska strukturer och fältrelationer mellan granit och äldre bergarter som utgör möjliga protoliter. **A.** Granite med intrusivkontakt som är diskordant mot foliationen i granodioritisk gnejs, men apofyser (pil) som utgår från graniten är delvis parallella med foliationen. STB191015, 6592494/511819. **B.** Granodioritisk gnejs med tätt veckade granitådror, som är förtjockade i omböjningarna och boudinerade i veckbenen. Tolkningen är att gnejsen var folierad när graniten med sina apofyser intruderade, och att deformationen fortsatte efter intrusionen. Samma lokal som A. **C.** Paragnejs med en äldre generation av veckade granitiska ådror. Under eller efter veckningen har en yngre generation av ådror intruderat parallellt med axialplanet (pil). STB191034, 6581504/512485. **D.** Granitisk pegmatit med biotitrika strimmar (svart pil) och aggregat har intruderat (vit pil) granodioritisk gnejs med en äldre generation av granitiska ådror. STB191017, 6592510/512045. **E.** Granitisk pegmatit med delvis assimilerade xenoliter av paragnejs och radiella aggregat av muskovit (ms). STB191055, 6574103/523307. **F.** Jämnkornig granit med delvis assimilerade xenoliter av paragnejs. Hammarhuvudet är 15 cm långt. STB191018, 6590698/512653. **G.** Ojämnkornig granit intruderar starkt deformerad, ögonförande ortognejs. STB191014, 6592139/513388. **H.** Örebrogranit med xenoliter av lagrad metasandsten. Notera mindre, roterad xenolit i övre delen av bilden (pil), och svag parallellorientering av fältspatströckorn, tolkad som magmatisk foliation, i graniten. STB191054, 6575564/515012. Foto: Stefan Bergman



Figur 9. Fältbilder av olika granittyper. **A.** Massformig muskovit (ms)-biotitgranit. STB191045, 6576815/520332. **B.** Massformig biotitgranit. STB191003, 6610879/509125. **C.** Massformig, porfyrisk granit. STB191052, 6589292/515838. **D.** Massformig Fellingsbrogranit med mafiska enklaver (pil) och kalifältspatströckorn. STB191009, 6593802/523902. **E.** Massformig porfyrisk granit med svag parallellorientering av ströckorn. STB191011, 6595751/522399. **F.** Massformig, grovporfyrisk granit. STB191044, 6595826/523570. Foto: Stefan Bergman.

REFERENSER

- Ambros, M., 1983: Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 141*, 75 s.
- Bergman, T., 1994: The Wigström deposit, western Bergslagen, Sweden: A contact metasomatic tungsten skarn deposit related to a Late Svecofennian granite. 21st Nordic Geological winter Meeting, Luleå. Program and abstracts, 21.
- Bergman, T., 2012: Western Bergslagen W-Mo. I P. Eilu (red.): Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. *Geological Survey of Finland Special Paper 53*, 162.
- Bergman, T., Schöberg, H. & Sundblad, K., 1995: Geochemistry, age, and origin of the Högberget granite, western Bergslagen, Sweden. *GFF 117*, 87-95.
- Bergman, S., Stephens, M.B., Andersson, J., Kathol, B. & Bergman, T., 2012: Sveriges berggrund, skala 1:1 miljon. *Sveriges geologiska undersökning K 423*.
- Beunk, F.F. & Kuipers, G., 2012: The Bergslagen ore province, Sweden: Review and update of an accreted orocline, 1.9–1.8 Ga BP. *Precambrian Research 216–219*, 95–119.
- Billström, K., Åberg, G. & Öhlander, B., 1988: Isotopic and geochemical data of the Pingstaberg Mo-bearing granite in Bergslagen, south central Sweden. *Geologie en Mijnbouw 67*, 255–263.
- Gorbatshev, R., 1972: Beskrivning till berggrundskartan Örebro NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 103*, 70 s.
- Hellingwerf, R.H. & Baker, J.H., 1985: Wall-rock alteration and tungsten and molybdenum mineralization associated with older granites in western Bergslagen, Sweden. *Economic geology 80*, 479–487.
- Hellingwerf, R.H., Baker, J.H. & Van Raaphorst, J.G., 1987: Sulphur isotope data of Proterozoic molybdenites from western Bergslagen, Sweden. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar 109*, 33–38.
- Lassner, E. & Schubert, W.-D., 2005: The history of tungsten (wolfram). International Tungsten Industry Association, Newsletter, June 2005, 6–11.
- Lundegårdh, P.H., Hübner, H., Wikman, H., Karis, L. & Magnusson, E., 1972: Beskrivning till berggrundskartan Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 102*, 216 s.
- Lundström, I., 1983: Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 126*, 140 s.
- Lundström, I., 1985: Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 140*, 131 s.
- Ohlsson, L.-G., 1979: Tungsten occurrences in central Sweden. *Economic Geology 74*, 1 012–1 034.
- Romer, R.L. & Öhlander, B., 1994: U-Pb age of the Yxsjöberg tungsten-skarn deposit, Sweden. *GFF 116*, 161–166.
- Romer, R. L., & Öhlander, B., 1995: Tectonic implications of an 1846±1 Ma old migmatitic granite in south-central Sweden. *GFF 117*, 69–74.
- Ripa, M., 1998: Beskrivning till berggrundskartan Säfsnäs SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 190*, 77 s.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O., Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58*, 259 s.
- Strömberg, A.G.B., 1983: Berggrundskartan Ludvika SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 158*.
- Sundblad, K. & Bergman, T., 1997: “Late Svecofennian” granitoids. I M. Ahl, U.B. Andersson, T. Lundqvist & K. Sundblad (red.): Rapakivi granites and related rocks in central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca 87*, 7–15.
- Åberg, G. & Bjurstedt, S., 1986: Radiometric dating of the serorogenic Svecokarelian Enkullen and Fjällberg granites, south central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 108*, 73–77.