Mineraliseringar i området kring Enåsen

– sammanfattning av pågående undersökning 2021

Stefan Bergman, Erik Jonsson, Johan Jönberger & Stefan Luth

april 2022

SGU-rapport 2022:05





Omslagsbild: Minnessten från invigningen av Enåsengruvan 1984. Den består av måttligt mineraliserad sillimanitkvartsit och står idag i Ramsjö. Fotograf: Erik Jonsson.

Författare: Stefan Bergman, Erik Jonsson, Johan Jönberger och Stefan Luth Granskad av: Dick Claeson 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

4
4
5
7
11
12
13
15
17
17
17

SAMMANFATTNING

I denna rapport sammanfattar vi de berggrundsgeologiska och geofysiska undersökningar som gjordes i Enåsenområdet i den nordvästra delen av Ljusdals kommun under fältsäsongen 2021 och vad som hittills är känt om området och dess mineraliseringar. Undersökningarna har fokuserats på Enåsens guldgruva, som bröts mellan 1984 och 1991, och ett antal mindre sulfidmineraliseringar. Förekomsterna har undersökts och material från häll, varp och block har provtagits för litogeokemisk analys och malmpetrografisk undersökning. Vidare har strukturgeologiska undersökningar och geofysiska mätningar utförts för att skapa underlag för 3D-modellering. De flygburna geofysiska mätningarna över Enåsenområdet omfattar det jordmagnetiska totalfältet, markens naturliga gammastrålning och elektromagnetiska data (VLF) från två sändare. Vid Enåsens guldgruva har även mätningar med drönare genomförts som registrerade det jordmagnetiska totalfältet och elektromagnetiska data. Förtätade markmätningar av tyngdkraftsdata har genomförts i Enåsenområdet. Profilmätningar på marken med magnetometer och VLF-instrument (WADI) samt provtagning av berggrunden för petrofysisk analys har genomförts kring Enåsens guldgruva och på flera andra platser i området.

Guldmalmen i Enåsen har tolkats som ursprungligen bildad av s.k. epitermala hydrotermala processer relaterade till vulkanisk till grunt plutonisk aktivitet, vilka också kraftfullt omvandlat malmens värdbergart. Efter höggradig regionalmetamorf omvandling sitter malmen nu i en sillimanitrik, kvartsitisk bergart. Delvis kopparförande sulfidmineralisering utan guld uppträder i andra bergartsled i gruvan och dess närområde. Strukturellt ligger malmen i en sydväststupande och överstjälpt isoklinal F2-synklinal. Malmhorisonterna är förskjutna upp till några meter av plastiska och spröda deformationszoner orienterade i N–S och NV–SO. Påträffade malmrester liksom sulfidmineralisering i gruvans liggvägg har provtagits.

Vid Långtjärnen finns en pyrit- och magnetkisförande zon som innehåller zinkblände. Här har reversskjuvning mot nordost tolkats från kinematiska indikatorer i mylonitiserad metatexit. Sprickmönstret vid Enåsens guldgruva och vid Långtjärnen domineras av N–S, NV–SO och NO–SV-strykande sprickor. Långtjärnenskärpningen liksom skärpningarna och grävningarna kallade Enåsgruvan och Ramsjögruvan har provtagits.

Flomyrgruvan var en guldförande kopparskärpning som inte kunde påträffas eftersom den sannolikt blivit övertäckt. Ytterligare objekt i SGU:s malm- och mineraldatabas i detta område har under årets fältarbete visat sig vara svåra eller omöjliga att spåra i form av mineralisering i fast klyft, i flera fall över huvud taget. Till den senare gruppen hör Malsjöbodarna samt Nymyran. Vid Felbergetmineraliseringen kunde enbart sulfidförande block observeras. Ett mycket stort antal sådana block påträffades vid ytterligare undersökning kring Felberget och vidare åt sydost. De nya blockfynden i kombination med elektriskt ledande zoner visar möjligen på utökad potential för fynd i området. Ett flertal av blocken och en eventuell häll har provtagits för litogeokemisk analys.

INLEDNING

Undersökningar av mineraliseringarna i Enåsenområdet, i den nordvästra delen av Ljusdals kommun, ingår i en större satsning av Sveriges geologiska undersökning (SGU) som går ut på att genom riktade insatser uppdatera de geologiska, geofysiska och geokemiska underlagen kring valda mineraliseringar och zoner av sådana, och att öka kunskapen kring deras bildningssätt. Därmed kan gruvbolag, prospektörer, tillståndsgivare, länsstyrelser, universitet och andra intressenter få tillgång till moderna berggrundsgeologiska, geofysiska och geokemiska beslutsunderlag. Guld-silver-kopparförekomsten Enåsen bröts mellan 1984 och 1991 på en disseminationsmalm i kvarts-sillimanitgnejs, och har sedermera klassificerats av SGU som riksintresse för guld. Sydost om Enåsen finns en zon med mindre sulfidmineraliseringar: Flomyra, Enåsgruvan, Ramsjögruvan, Nymyran och Felberget. De två förstnämnda är koppar-guld- respektive kopparsilvermineraliseringar, medan de tre sistnämnda klassificerats som järnsulfidförekomster. I samma stråk finns den zinkförande mineraliseringen Långtjärnen. Malsjöbodarna norr om Enåsen är en koppar- och järnsulfidförekomst. De aktiviteter som planerats är att ta mineraliserade prover från häll, varp och eventuellt borrkärnor (i de fall de finns tillgängliga) från samtliga fyndigheter i området och karakterisera dessa bättre, genom att inte minst utföra litogeokemiska analyser av dem. De kritiska metallerna antimon, kobolt och vismut är påvisade i Enåsenmalmen och om det skulle finnas förhöjda halter av ytterligare sådana metaller (till exempel indium, gallium, germanium) så kan det också föranleda fördjupade mineralogiska och kemiska undersökningar. Förekomsten av det nära-kritiska grundämnet tellur är också relevant. Eftersom förekomst av topas (Al₂SiO₄(F,OH)₂) är ett karakteristiskt drag för omvandlingszonen vid Enåsen, så är halogener inkluderade i de kemiska analyserna. Då Enåsengruvan i sig utgör den enda signifikanta och mest centrala mineraliseringen i området, och dessutom är av en sällsynt typ, kommer den att undersökas och karakteriseras i mest detalj, inklusive dess malmpetrografi och geokemi. Genom att jämföra omvandlade bergarter med områdets mindre omvandlade sidobergarter möjliggörs en utvärdering av värdbergartens ursprungsbergart. För att sätta mineraliseringsprocesserna i rätt sammanhang i den geologiska utvecklingen kommer radiometriska åldersbestämningar att utföras. Strukturgeologiska undersökningar och geofysiska mätningar genomförs för att tillsammans med borrhålsdata möjliggöra tredimensionell modellering i valda områden.

I denna rapport sammanfattar vi de undersökningar som gjordes i Enåsenområdet under fältsäsongen 2021. Resultat från kompletterande fältundersökningar, analyser av olika slag, bearbetningar och tredimensionell modellering kommer enligt planerna att redovisas i en slutrapport under 2023. Koordinater anges i SWEREF99 TM.

BERGGRUNDSGEOLOGISK ÖVERSIKT

Enåsenområdet ligger i den nordvästra delen av Ljusdals litotektoniska enhet (fig. 1, 2; Högdahl & Bergman 2020). Denna enhet begränsas av Hasselaskjuvzonen (Sjöström m.fl. 2000) från Bottnia-Skellefteås litotektoniska enhet i norr och av Storsjön-Edsbyndeformationszonen (Bergman m.fl. 2006) och Hagsta gnejszon (Högdahl m.fl. 2009) från Bergslagens litotektoniska enhet i väster och söder. Mot öster under Bottenhavet överlagras den av yngre sedimentära bergarter. Dextrala rörelser har dominerat i deformationszonerna, men särskilt i Storsjön-Edsbyndeformationszonen finns även spår av betydande rörelser i stupningsriktningen.

Ljusdals litotektoniska enhet är till största delen uppbyggd av deformerade och variabelt metamorfoserade intrusivbergarter med en ålder av 1,87–1,84 miljarder år, vilka tillhör Ljusdalsbatoliten. Inom Ljusdalsbatoliten finns stråk av äldre, 1,96–1,87 miljarder år gamla, sedimentära och vulkaniska bergarter, som vanligen är migmatitomvandlade. I Hamrångeområdet vid Hagsta är bergarterna bättre bevarade och primära strukturer är vanliga. Amfibolit finns underordnat som en komponent i ytbergartssekvenserna. Granit (1,87–1,75 miljarder år gammal) förekommer som gångar och mindre massiv i hela området.

Norr om Hasselaskjuvzonen finns stora områden med 1,27–1,25 miljarder år gammal diabas, både som brant stupande gångar och som flacka skivor i den äldre berggrunden. Delvis glasiga bergarter finns lokalt väst–nordväst om Hudiksvall och har bildats genom uppsmältning av den äldre berggrunden vid ett meteoritnedslag för cirka 140 miljoner år sedan (Mark m.fl. 2014).



Figur 1. A. Berggrunden i och omkring Ljusdals litotektoniska enhet. Den grå tjocka linjen följer de deformationszoner som begränsar enheten: HSZ = Hasselaskjuvzonen, SEDZ = Storsjön-Edsbyndeformationszonen, HGZ = Hagsta gnejszon. Den svarta rektangeln visar läget för figur 2. Kartorna är modifierade från Berggrund 1:1 miljon (SGU 2021a). **B.** De större litotektoniska enheterna i Sverige. Den svarta rektangeln visar läget för huvudkartan och den grå linjen begränsar Ljusdals litotektoniska enhet.



Figur 2. Berggrunden i det undersökta Enåsenområdet. HSZ = Hasselaskjuvzonen. Kartan är modifierad från Berggrund 1:50 000–1:250 000 (SGU 2021b).

Jämfört med Bergslagen i söder är regionen fattig på mineraliseringar och relativt få gruvor har varit i aktiv drift. Bland de större eller mera kända kan nämnas Los koboltgruva, där de första arbetena gjordes redan 1699, medan mera storskalig brytning bedrevs från 1738 till 1773 (Tegengren 1924, Wik m.fl. 2009). Järnmalm bröts i Magmyrgruvan söder om Söderhamn under olika perioder mellan 1845 och 1905 (Hallberg m.fl. 2012) och Enåsens guldgruva var i drift mellan 1984 och 1991 (Wik m.fl. 2009).

STRUKTURER

Den lokala geologin vid Enåsengruvan är karakteriserad av ett 300 till 500 meter brett stråk bestående av migmatitiserade ytbergarter (till exempel metatexit, skarn, amfibolit, biotit- och grafitskiffer och metaarenit) inom Ljusdalsbatoliten som består mest av metagranitoider (fig. 2; Willdén 1986). De insamlade strukturdata inom projektet bekräftar att ytbergartsstråket stryker i riktning NV–SO och representerar en överstjälpt isoklinal synklinal (Enåsensynklinalen) med ett axialplan stupande mellan 35 och 50° mot sydväst.

Utifrån den här studien tolkas synklinalen som ett F2-veck, baserat på veckning av den penetrativa foliationen och den metamorfa bandningen (S1). Dock är S1 inom hela det studerade området mest måttligt stupande mot sydväst, vilket framträder tydligt när man plottar S1-poler i stereogram (fig. 3–7). Lokalt är synklinalens veckben veckade och uppvisar småskaliga z- och s-veck som kan tolkas som parasitiska veck av samma generation (fig. 6A, C). En alternativ tolkning är att de småskaliga vecken antagligen är tidigare eller senare skjuvveck som bilades i samband med reversskjuvning under progressiv förkortning.



Figur 3. Till vänster: Lambert equal area stereogram där prickarna representerar poler till uppmätta foliationsplan (svart) och plastiska skjuvzoner (röd). Till höger: Rosdiagram för 58 uppmätta sprickor i studieområdet. Bredden av en sektor är 10 grader, och längden representerar frekvensen där den maximala längden motsvarar 16 procent av det totala antalet. Data från fältobservationerna kan beställas från SGU:s kundtjänst via www.sgu.se.



Figur 4. Panorama av Enåsens guldgruva vy mot nordost. Gruvan lades ned under hösten 1991. Foto: Stefan Luth.



Figur 5. Enåsengruvan A. På gruvans nordöstra sida är sillimanitkvartsiten (Enåsenmalmen) överlagrad av sulfidförande metatexit (se nästa figur). Åt vänster från bildens mitt markerar en vertikal skjuvzon kontakten mellan hydrotermal-omvandlade bergarter till höger och icke omvandlad metatexit till vänster. Observations-ID: SLH211016; (6906298/519144).
B. Bandad och starkt folierad metatexit i malmens hängvägg bara två meter ovanför sillimanitkvartsiten. Den rostiga färgen beror förmodligen på höga halter av järn- och kopparsulfider. Nordöstra kanten av Enåsengruvan. Observations-ID: SLH211016; (6906298/519144).
C. Lager av silimanitkvartsit (Enåsenmalmen) stupar 40° mot sydväst vid Enåsengruvans nordöstra del. Lagringen kan ha ett tektoniskt ursprung och behöver inte nödvändigtvis representera sedimentär lagring. Observations-ID: SLH211018; (6906262/519169).
D. Breccierad zon som innehåller mest fragment av folierad sillimanit-kvartsit. Enåsengruvans nordöstra del. Observations-ID: SLH211019; (6906219/519250).
E. Sillimanitkvartsit. Guldet i Enåsenmalmen förekommer alltid som mycket små korn, vilka man inte kan se med blotta ögat (se till exempel Hallberg 1993); de gulaktiga kornen i fotot består huvudsakligen av kopparkis och pyrit. Observations-ID: SLH211016; (6906298/519144).
F. Aplitgraniten vid Enåsens guldgruva är massformig och bara lokalt svagt deformerad. Observations-ID: SLH211013; (6906221/519106). Foto: Stefan Luth.



Figur 6. Enåsengruvan. **A.** Z-veckning av S1-foliation i vittrad metatexit från malmens hängvägg. Gruvans sydvästra del. Observations-ID: SLH211009; (6906006/519363). **B.** I gruvans sydvästra del karakteriseras malmens hängvägg av en gradvis övergång inom cirka 5 meter från omvandlade och sulfidrika bergarter till "ren" metatexit (vänster till höger). Kontakten mellan metatexit och aplitgranit (längst upp till höger) markeras av en förkastningszon som stupar 50° mot sydväst, parallellt med S1. Observations-ID: SLH211007; (6906025/519375). **C.** Veckning av leukosom (ljusa band) samt foliation i metatexit vid gruvans nordvästra del. Observations-ID: SLH211015; (6906295/519099). Foto: Stefan Luth.

Vid Långtjärnen tolkas även reversskjuvning mot nordost från kinematiska indikatorer i en mylonitiserad metatexit (fig. 7). På samma ställe har också en liten häll av starkt deformerad kvartsit eller metaarenit påträffats som mycket liknar den mineraliserade sillimanitkvartsiten vid Enåsengruvan (fig. 7C). Kvartsiten provtogs för ett orienterat tunnslip (1 av totalt 21) och litogeokemisk analys (1 av totalt 44). I ett regionalt och prospekteringsperspektiv är det intressant att veta om ytbergarterna vid Långtjärnen tillhör samma stråk som de vid Enåsens guldgruva (se också Willdén 1986, Hallberg 1994). Geologisk och geofysisk 3D-modellering som är planerad inom det pågående projektet kan eventuellt bekräfta denna hypotes.

Både vid Enåsens guldgruva och Långtjärnen mättes ett antal sprickorienteringar vilka är plottade i ett rosdiagram (fig. 3, 7D). Utifrån rosdiagrammet konstateras att sprickmönstret domineras av N–S, NV–SO och NO–SV strykande sprickor. Vid Enåsen har ett antal plastiska och spröda zoner med riktning i både N–S och NV–SO förskjutit malmhorisonterna upp till några meter (fig. 5A, 6B, Willdén 1986).



Figur 7. Långtjärnen. **A.** Mylonitiserad metatexit. Observera de stora, rödbruna granaterna som förekommer främst i de ljusa leukosombanden. Observations-ID: SLH211086; (6904222/523007). **B.** Närbild av mylonitiserad metatexit. C-S struktur i bildens mitt indikerar reversrörelse längs den sydväststupande foliationen. **C.** Starkt folierad kvartsitisk metaarenit. Närbild av ett sågat orienterat prov. Bildens längd är cirka 5 cm. Observations-ID: SLH211085; (6904250/522997). **D.** Hällområdena vid Långtjärnen söder om vägen visar uppsprucken berggrund, mest sprickor med riktningarna N–S eller NV–SO (se också rosdiagrammet i fig. 3). Observations-ID: SLH211071; (6903631/524081). Foto: Stefan Luth.

MINERALISERINGAR

Enåsen-Ramsjöområdets mineraliseringar var inte kända för särskilt många före 1980-talet, då Bolidens insatser ledde fram till öppnandet av Enåsens guldgruva. Dock hade man redan på 1920-talet börjat leta efter malm här och Bolidens geologer var i området omkring 1929, men utan att resultatet blev mer än observationer av sparsam mineralisering. Den representerades dels av blockfynd, dels det så kallade Flomyraskärpet, med en märklig kvartsrik bergart innehållande en viss sulfidmineralisering (se till exempel Hallberg 1993). Fortsatta arbeten under 1950-talet, då markanta guldhalter observerades, gjorde i kombination med ett ökande guldpris under mitten av 1970-talet att Boliden startade nya undersökningar 1979 (inklusive över 100 diamantborrhål) och 1983 beslutade man om att starta brytning av Enåsenmineraliseringen, vilket alltså rekordsnabbt ledde till att Enåsens guldgruva invigdes sensommaren 1984 (Willdén 1986, Sädbom 1987, Hallberg 1993; se också omslagsbilden till denna rapport). Fram till 1989 drevs gruvan som ett dagbrott, då underjordsbrytning påbörjades och bedrevs fram till stängningen hösten 1991 (Hallberg 1994).

Epitermala mineraliserade system och Enåsen

Epitermalmalmer är relativt lågtempererade hydrotermala mineraliseringar, vilka typiskt uppvisar förhållandevis höga ädelmetallhalter tillsammans med modesta totala tonnage. Över lag bildas de i grunda vulkaniska miljöer, typiskt på paleodjup understigande 1500 meter och temperaturer under 300 °C i annars relativt högtempererade, ofta subaerila vulkaniska system (se till exempel Simmons m.fl. 2005, och referenser däri). Typiskt för epitermalmalmer är att mineralisering uppträder i olika typer av gångsystem och breccior, men också i form av disseminationer i omvandlingszoner. Sedan sent 1980-tal klassificeras epitermalmalmer oftast som antingen högeller lågsulfiderade system (sedermera tillkom också "intermediära" dito), vilket ursprungligen byggde på hur oxiderat eller reducerat svavel var i de malmbildande hydrotermala fluiderna. I fallet med högsulfiderade system var svavlet övervägande i form av SO₂, medan det i lågsulfiderade system huvudsakligen förefanns i form av H₂S (se till exempel Arribas 1995, och referenser däri). Specifikt de högsulfiderade systemen associeras också typiskt med (mycket) sura, sulfatrika fluider och associerad omvandling av värdbergarterna, vilken på grund av fluidernas låga pH (ned till pH <2 vid omkring 250 °C) karakteriseras av omfattande upplösning och urlakning av en merpart av de primära komponenterna. I sin extremare form återstår huvudsakligen kvarts, i övrigt i kombination med andra speciella omvandlingsmineral som alunit (KAl₃(SO₄)₂(OH)₆), kaolinit, illit, montmorillonit och eventuellt klorit. Denna typ av omvandling benämns normalt "sur sulfatomvandling" (eng. acid sulphate alteration; Arribas 1995). Bland de primära malmmineralen är tellurider vanliga i ett flertal kända epitermalmineraliseringar globalt och de kan i vissa fall hålla en signifikant andel av en specifik mineraliserings ädelmetallinnehåll genom förekomsten av såväl guld- som silver- och guld-silvertellurider (se till exempel Pals & Spry 2003, och referenser däri).

Globalt sett är de flesta både kända och mera välstuderade epitermalsystem geologiskt sett unga till mycket unga. Det faktum att den absoluta merparten av världens större, kända guld-silverrika epitermalmalmer är bildade under den senare delen av fanerozoikum bör dock främst tas som intäkt för deras sparsamma chanser till överlevnad i äldre geologiska system: det är alltså en fråga om en låg bevarandegrad (Bierlein m.fl. 2009). Det senare är en konsekvens av just deras bildande i grunda, subaerila vulkaniska miljöer, vilka ofta utsätts för omfattande erosion under fortsatt geologisk utveckling. Av det kan man sluta sig till att "gamla" epitermala malmer är något av en raritet och ett geologiskt fenomen som man mestadels fram till 1990-talet torde ha tagit för osannolikt.

Detta var läget när Hallberg publicerade de första arbetena om Enåsenmineraliseringen 1994. Medan Trepka-Bloch (1981) skall ha föreslagit ett sedimentärt ursprung för malmen hade Nysten och Annersten (1984), liksom Willdén (1986), påpekat att mineraliseringen sannolikt hade någon form av hydrotermalt pre-metamorft ursprung, men utan mera specifika tolkningar. I båda fallen lyfte man dock den spridda och delvis rikliga förekomsten av halogenrika mineral, specifikt topas, liksom tellurider, som anmärkningsvärda. Sädbom (1987), å andra sidan, föreslog en epigenetisk, essentiellt syn-regionalmetamorf malmbildningsmodell. Hallberg & Fallick (1994) rapporterade resultat från studier av lätta stabila isotoper (O, S) i Enåsen och tillsammans med Hallbergs (1994) data från geokemi och radiogena isotoper (Pb-Pb) byggdes en relativt robust modell för Enåsen som varande en deformerad och höggradigt regionalmetamorfoserad epitermalmalm av högsulfideringstyp. Deras syreisotopdata från kvarts ur sillimanitkvartsiten hade δ^{18} O-värden mellan +8,5 och +12,6 ‰ (relativt SMOW, eng. Standard Mean Ocean Water). Den observerade variationen tolkades representera en relikt avkylningstrend inom malmzonen, med tyngre syreisotopsammansättningar i dess ursprungligen ytligare delar. Baserat på enklare modellering av isotopsammansättningen av en hydrotermal vattenlösning i jämvikt med kvarts av dominerande δ^{18} O och ett rimligt temperaturintervall kring 200–300 °C skulle den ursprungliga lösningen kunnat ha ett blandat meteoriskt-magmatiskt ursprung. Intressant nog så gav också

beräkningar baserade på syreisotopfördelningen mellan kvarts och magnetit en jämviktstemperatur på cirka 650 °C (Hallberg & Fallick 1994), vilket överensstämmer väl med data från mineralkemisk geotermometri (Nysten & Annersten 1984). Den isotopbaserade temperaturbestämningen representerar sannolikt en minimitemperatur under svekokarelsk regionalmetamorfos, då metodiken i aktuellt temperaturområde typiskt ger retrograda temperaturer, snarare än sådana motsvarande "peak"-metamorfa förhållanden (Hallberg & Fallick 1994, Chiba m.fl. 1989). Rapporterade svavelisotopdata (δ^{34} S) ur sulfider från Enåsenmalmen (i sillimanitkvartsiten) var homogena och hade en genomsnittssammansättning på $+0.5 \pm 0.5$ ‰ (relativt CDT, eng. Canyon Diablo Troilite), vilket passar en magmatiskt dominerad svavelkälla väl (Hallberg & Fallick 1994), även om en höggradig metamorfos torde ha hjälpt till att just homogenisera isotopfördelningen mellan de enskilda sulfidmineralen. Att tolka Enåsenmalmens ursprungskaraktär som just en högsulfiderad epitermalmalm bygger även på värdbergarternas karakteristiska omvandling, omfattande en kraftfull silicifiering med associerade (kvarvarande) aluminiumrika faser. I kombination med en senare, höggradig regionalmetamorf överprägling skulle en sådan hydrotermal omvandlingsbergart högst rimligen kunna transformeras till en kvarts- och aluminiumsilikatrik bergart motsvarande Enåsens gnejsiga sillimanitkvartsit. Den spridda förekomsten av tellurrika mineral adderar ytterligare till denna tolkning, då just förekomst av tellurider generellt, liksom anrikning av ädelmetaller i form av tellurider, är karakteristiskt för sådana mineraliseringar. På basis av denna tolkning kom Enåsen redan 1995 med i en global sammanställning av högsulfiderade epitermalmalmer, som den enda "geologiskt gamla" av totalt endast åtta rapporterade, välkarakteriserade epitermala mineraliseringar i Europa (Arribas 1995).

Ytterligare en guldrik mineralisering i Sverige, den betydligt större och mer välkända malmen i Boliden (Skelleftefältet, Västerbotten), har därefter också kommit att tolkas som en paleoproterozoisk, regionalmetamorfoserad, deformerad och partiellt remobiliserad ursprungligen epitermal mineralisering (Bergman Weihed m.fl. 1996, Wagner & Jonsson 2001). Det är sannolikt att det finns ytterligare malmer av denna typ att upptäcka i svensk berggrund (inklusive förstås Enåsenområdet), vilket också påpekades av Hallberg (1993), och Bolidens på senare tid startade guld-tellurgruva i Kankberg (nya) lär representera ytterligare en sådan. Man bör därutöver också beakta så kallade porfyrmalmer, främst av kopparrik typ, och deras potentiella genetiska relationer till epitermala mineraliseringar (se till exempel Hedenquist m.fl. 1998, Heinrich 2005, och referenser däri) och vad det skulle kunna innebära för framtida prospekteringspotential i områden med (meta-)epitermala malmer. Föreligger epitermala system så finns det också en möjlighet att porfyrmalmer bildats i ett relativt sett djupare snitt av dåtidens skorpa.

Enåsen – malmmineralogi

Som nämnts ovan sitter guldmineraliseringen i Enåsen i en höggradigt metamorfoserad, sillimanitrik, kvartsitisk bergart, medan delvis kopparförande sulfidmineralisering utan guld, även uppträder i andra bergartsled i gruvan och dess närområde.

Guldets mineralogi och uppträdande i Enåsen beskrevs av Nysten & Annersten (1984), som rapporterade att de guldförande associationerna endast förekommer i sillimanitkvartsiten, typiskt som impregnationer (till disseminationer?) av sulfider, lokalt uppvisande mera komplexa associationer inkluderande tellurider. Guldet, vilket generellt är mycket finkornigt (sällan över 50–100 mikrometer), förekommer både som gediget guld och som guldförande telluridmineral. I de Te-rika delarna av malmen finns en tydlig korrelation mellan halterna av Te och Au (Nysten & Annersten 1984). Över lag varierade guldhalterna ganska kraftigt i de olika delarna av malm-zonen; genomsnittlig halt var 4 g/t Au, men sektioner med omkring och till och med över 20 g/t påträffades (Willdén 1986; opublicerade borrhållsloggar med analysdata). Av sulfider och sulfosalter har kopparkis, magnetkis, pyrit, markasit, arsenikkis, blyglans, molybdenglans, zinkblände,

koboltglans, stannit, willyamit och "tennantit" påvisats, och av tellurider/Te-rika mineral har altait, frohbergit, montbrayit, tellurantimon, wehrlit samt flera ej närmare specificerade faser påvisats, inklusive en Sb-Au-tellurid (Nysten & Annersten 1984). Av sulfidmineralen är kopparkis, pyrit och magnetkis de mest spridda och uppenbara och förekommer både som disseminerade korn i sillimanitkvartsit, och som makroskopiskt observerbara sliror, ådror och massor i kvartsiten och ibland associerade med andra silikatmineral som fältspater. Närmare studier visar att sulfiderna ofta uppvisar uppenbart sent bildade paragenetiska/texturella positioner i relation till värdbergarten och dess huvudmineral (se till exempel fig. 8A).



Figur 8. A. Fotomikrografi av polerprov i påfallande (reflekterat) planpolariserat ljus, vilket visar uppbruten, breccierad kvarts (mörkgrå, utan tydlig form) samt prismatiska till nålformiga kristaller av sillimanit (likaledes mörkt grå, men med tydlig kristallform), mellan vilka utrymmet utfyllts av anhedrala sulfidmineral, huvudsakligen kopparkis (ljusgul) och magnetkis (lätt rosa-rosabrun ton). Polerprov från stuff tagen i gruvan 1991. Skalstreck 100 mikrometer. **B.** Rest av malm-upplag vid Enåsens guldgruva. Riklig rostfärgning syns på många av de mera sulfidrika blocken, vilka till dels undersökts och provtagits under detta projekt. **C.** Karakteristiskt ljus, otydligt bandad till gnejsig och sparsamt mineraliserad sillimanit-kvartsit, Enåsengruvan. Snusdosa som skala; cirka 7 cm i diameter. **D.** Området kring den försvunna Flomyrgruvan, eller Flomyrskärpet, direkt sydost om gruvområdet vid Enåsen, visar många tecken på omfattande och i nylig tid genomförd kringflyttning och övertäckning av grus, sten och block, inte minst baserat på den sparsamma och låga slyvegetationen. Foto: Erik Jonsson.

Provtagning och analyser

Insatserna under 2021 har omfattat fältarbete med undersökning och provtagning av mineraliserade bergarter och malmer i Enåsengruvan samt andra befintliga mineraliseringar i häll, varp och block i projektområdet. Provpreparering inklusive sågning och översiktlig mikroskopi inför avsändande av prov för tillverkning av polerprov och polerade tunnslip samt för bulkgeokemisk analys har genomförts. Kompletterande provmaterial insamlat under brytningen av Enåsengruvan har också inventerats och inlånats från Uppsala universitet och Naturhistoriska riksmuseet (Stockholm).

I och kring själva Enåsens guldgruva finns idag relativt lite material tillgängligt som representerar malmen som bröts, då återställningsåtgärder efter gruvans stängning, även i relativt sen tid, lett till både "omrörning" och övertäckning med grus, sand och block. I områdets närhet finns dock en mindre rest av malm som av någon anledning blev kvarliggande (P. Nysten, pers. komm.), vilken undersökts och provtagits inom detta projekt (fig. 8B, C), inklusive i form av ett större kompositprov. Likaledes finns spridda stenar runt om i gruvområdet vilka uppenbart representerar material från malmen (insamlades också i viss omfattning). I alla dessa fall är det förstås omöjligt att specificera när och ur vilken del av malmen dessa ursprungligen brutits. Mineralisering, om än relativt sparsam och sannolikt pyritdominerad, finns också kvar exponerad i gruvans liggvägg, vilken provtagits. Makroskopiskt erinrar denna typ av mineralisering mycket om de som observerats fortsättningsvis åt sydost, i både skärpningar/grävningar och block.

Ovan nämnda återställningsarbeten i och kring Enåsengruvan har också påverkat åtkomsten till annat än rester av varp och liknande. Det så kallade Flomyraskärpet (som nämnts ovan), eller Flomyrgruvan, sydost om Enåsengruvan (fig. 2), var en guldförande kopparskärpning som upptogs av Boliden på 1930-talet och där man i flera omgångar kärnborrade. Mineraliseringen domineras av kopparkis och magnetkis i vad som tolkats som en sedimentådergnejs (Wik m.fl. 2009). Under årets fältarbete eftersöktes skärpningen och det kunde konstateras att den sannolikt blivit offer för återställning och idag är täckt av, sannolikt i relativt nylig tid kringflyttat grus, sten och blockmaterial (fig. 8D).

Öster om Flomyra föreligger två andra, mindre skärpningar eller grävningar, kallade Enåsgruvan och Ramsjögruvan (se också fig. 2). Den större av dem, Ramsjögruvan, utgörs av en rundad grävning med eventuell häll exponerad i kanten och rikligt med sulfidrostig sand, grus och block i både varp och kringliggande morän (fig. 9A). Båda provtogs under fältarbetet. Enåsgruvan utgör en av flera skärpningar eller grävningar på ett omkring 500 m långt sulfidmineraliserat nordväst–sydostligt stråk som undersöktes av Boliden under 1930-talet, också med kärnborrning (Wik m. fl. 2009). Ramsjögruvan är den sannolikt större av ett flertal skärpningar/grävningar som gjorts här av Boliden på 1930-talet, och här har också 11 kärnborrhål upptagits på ett västnordvästligt strykande magnetit- och kopparkisförande stråk i vad som tolkats som en ådergnejsig metaarenit (Wik m.fl. 2009).

Ytterligare öster om Ramsjögruvan, sydväst om Långtjärnsmyran, ligger Långtjärnens sulfidskärpning (fig. 2). Under 1970-talet slog Boliden här ett kärnborrhål genom en 5 meter bred pyrit- och magnetkisförande sulfidzon, vilken också innehöll zinkblände (Wik m.fl. 2009). Den idag övervuxna, rostiga skärpningen (fig. 9B) provtogs under årets fältarbete.

Ett flertal objekt i SGU:s malm- och mineraldatabas i detta område har under årets fältarbete visat sig vara svåra eller omöjliga att spåra i form av mineralisering i fast klyft, i flera fall över huvud taget. Till den senare gruppen hör Malsjöbodarna samt Nymyran (fig. 2). Malsjöbodarna förekommer i SGU:s mineraldatabas som skärpning på koppar-järnsulfider, men inga spår av detta kunde återfinnas vid ett fältbesök.

Vid Nymyran, öster om Graningen, kärnborrade Boliden 1958 genom en sulfidmineraliserad zon dominerad av magnetkis och pyrit, i en grafitförande ådergnejsomvandlad metaarenit (Wik m.fl. 2009). Zonen har tolkats fortsätta cirka 3,5 km till Felberget i öster. Fältbesök vid Nymyran gav inga indikationer om mineralisering, ej ens i block. Till synes är Nymyranområdet dominerat av glaciofluviala avlagringar utan uppenbar förekomst av mineraliserade block, till skillnad mot de morändominerade områdena österut.

Enligt Wik m.fl. (2009) påvisade Boliden också vid Felberget förekomst av en sulfidmineraliserad zon medelst kärnborrning 1958, vilken skall bestå av magnetkis och pyrit med spår av kopparkis i en grafitförande ådergnejsig metaarenit. Vid fältbesök på Felbergets södra sluttning kring den koordinat som angives för Felbergetmineraliseringen kunde inte annat än uppenbart sulfidförande, rostiga block observeras (fig. 9C). Vid fortsatt undersökning vid och kring Felberget påträffades ett mycket stort antal sulfidförande (rostiga) block, mest rikligt längs skogsbilvägen som följer Felbergets västra till nordvästra sida och sluttning, där flera av dessa torde vara mycket korttransporterade eller till och med representera häll i åtminstone ett fall. Ytterligare undersökningar i området ledde till fler fynd av sådana block, ända ned åt sydost i området väster om sjön Lesattens södra del, vilka blottats på nygjorda hyggen (fig. 9D). De nya blockfynden visar möjligen på vidare potential för fynd i området och att den sulfidförande zonen eventuellt viker av i höjd med den nordvästra delen av Felberget, för att fortsätta i en mera sydostlig riktning. Någon signifikant fortsättning efter Felberget stöds dock till synes inte av befintliga geofysiska data (se nedan under geofysik). Ett flertal av blocken och en eventuell häll har också provtagits för kemisk analys.



Figur 9. A. Sulfidskärpningen/-grävningen Ramsjögruvan. **B.** Skärpningen vid Långtjärnmyran, partiellt framgrävd ur mossa och jord. **C.** Rostigt sulfidförande block på Felberget. **D.** Rostigt sulfidförande block på nytt hygge, sydväst om sjön Lesatten. Foto: Erik Jonsson.

GEOFYSIK

Tidigare arbeten

SGU har tidigare genomfört en flygburen geofysisk mätning över Enåsen med omnejd. Den gjordes 1977 i öst–västlig riktning, längs parallella flygstråk med 200 m linjeseparation och på 30 m höjd över markytan. Under de mätningarna samlades det in information rörande det jordmagnetiska totalfältet, markens naturliga gammastrålning och elektromagnetiska data (VLF, eng. *Very Low Frequency*) från en sändare.

Inom projektområdet (motsvarande kartomfånget i fig. 10–12) fanns det 123 tyngdkraftsmätningar innan årets fältinsamling. De mätningarna hade samlats in under åren 1986 och 1990.

Det har tidigare genomförts markgeofysiska undersökningar i den sydöstra delen av projektområdet (fig. 10–12) som innefattar IP-, SP-, VLF-, resistivitets- och magnetfältsmätningar. En redovisning av de här mätningarna finns i tabell 1.

Under tidigare karteringsprojekt i området har det också samlats in bergartsprov för petrofysisk analys. Lägena för dessa insamlade prov visas i figurerna 10 till 14 och 16.

Polygon nr	Namn	Mätmetod	Mätår	
1	Trolltjärnshockeln	VLF och magnetometri	1980	
2	Trolltjärnshockeln	IP, SP och resistivitet	1979	
3	Trolltjärnshockeln	Magnetometri	1979	

Tabell 1. Äldre geofysiska markmätningar inom projektområdet.

Arbeten 2021

Under 2021 genomförde SGU den andra kampanjen med flygburna geofysiska mätningar över projektområdet. Flygriktningen var 060–240 grader, längs parallella flygstråk med 200 m linjeseparation och på 60 m höjd över markytan. Informationen som samlades in rörde det jordmagnetiska totalfältet, markens naturliga gammastrålning och elektromagnetiska data (VLF) från två sändare. Flygriktningen som användes 2021 är mer fördelaktig än den tidigare i området vid Enåsen, eftersom den är i stort sett vinkelrät mot bergarternas strykningsriktning samt de magnetiska anomalier som genereras av dessa. Underlaget till figurerna i den här rapporten som visar dessa data är preliminärt bearbetade.

Figur 10 visar den magnetiska anomalikartan över projektområdet. Kartan baseras till största delen på de flygburna mätningar som genomfördes 2021, men det finns ett litet område i den nordvästra delen av kartan (nordväst om den röda streckade linjen) som endast har flygburen geofysisk information från 1977. Under årets flygmätningar mättes VLF-data från två sändare, vilket gör det möjligt att beräkna markens skenbara resistivitet och strömtäthet oberoende av riktningen till dessa sändare. I figur 11 visas markens strömtäthet över projektområdet. Observera att även kraftledningar syns i det här dataunderlaget som områden med hög strömtäthet. På kartan syns en god elektriskt ledande zon (hög strömtäthet) i nordväst–sydostlig riktning vid Enåsengruvan. Vid Felberget finns en zon med hög strömtäthet som stryker i nordväst–sydostlig riktning. Strax nordväst om Felberget ändras strykningsriktningen för den här zonen till öst–västlig och fortsätter vidare mot Nymyran (fig. 11). Det finns också en god korrelation mellan de här elektriskt ledande zonerna och områden med högmagnetiska anomalier (fig. 10).



Figur 10. Magnetisk anomalikarta över projektområdet. Det magnetiska anomalifältet är uttryckt som differensen mellan det polreducerade magnetiska totalfältet och en analytisk uppåträkning till 1 km. Kartan baseras på flygburna mätningar. Gula cirklar representerar lokaler där berggrundsprov för petrofysisk analys har samlats in under 2021, medan röda symboler visar lägena för äldre sådana prov. Vita linjer markerar profilmätningar med magnetometer under 2021. Den röda streckade linjen i nordväst visar skiljelinjen mellan äldre och nya flygburna geofysiska data. Den röda rektangeln i västra delen av projektområdet motsvarar kartomfånget i figurerna 13, 14 och 16. De siffersatta polygonerna i sydost visar var tidigare geofysiska markmätningar har bedrivits (tabell 1). Bokstäverna L, N och F markerar lägena för Långtjärnen, Nymyran respektive Felberget.



Figur 11. Karta över markens strömtäthet över projektområdet. Kartan baseras på flygburna VLF-mätningar från 2021. Gula cirklar representerar lokaler där berggrundsprov för petrofysisk analys har samlats in under 2021, medan röda symboler visar lägena för äldre sådana prov. Vita linjer markerar profilmätningar med VLF-instrument (WADI) under 2021. Den röda rektangeln i västra delen av projektområdet motsvarar kartomfånget i figurerna 13, 14 och 16. De siffersatta polygonerna i sydost visar var tidigare geofysiska markmätningar har bedrivits (tabell 1). Bokstäverna L, N och F markerar lägena för Långtjärnen, Nymyran respektive Felberget.

Inom projektområdet förtätade SGU tyngdkraftsinformationen med 339 mätpunkter under 2021. En betydande del av tyngdkraftsmätningarna under 2021 samlades in i närheten av Enåsengruvan. Figur 12 och 13 visar det residuala tyngdkraftsfältet över projektområdet respektive Enåsengruvan.



Figur 12. Karta över det residuala tyngdkraftsfältet, uttryckt som differensen mellan bougueranomalin och en uppåträkning till 3 km, över projektområdet. Gula cirklar representerar lokaler där berggrundsprov för petrofysisk analys har samlats in under 2021, medan röda symboler visar lägena för äldre sådana prov. Svarta punkter markerar var tyngdkraftsmätningarna har bedrivits. Den röda rektangeln i västra delen av projektområdet motsvarar kartomfånget i figurerna 13, 14 och 16. De siffersatta polygonerna i sydost visar var tidigare geofysiska markmätningar har bedrivits (tabell 1).



Figur 13. Karta över det residuala tyngdkraftsfältet, uttryckt som differensen mellan bougueranomalin och en uppåträkning till 3 km, över Enåsengruvan med omnejd. Dagbrottet är markerat med korslagda hammare. Gula cirklar representerar lokaler där berggrundsprov för petrofysisk analys har samlats in under 2021, medan röda kvadrater visar lägena för äldre sådana prov. Svarta punkter markerar var tyngdkraftsmätningarna har utförts. Den röda polygonen markerar mätområdet med drönare under 2021.

Under hösten 2021 genomförde SGU en flygburen geofysisk mätkampanj med drönare vid Enåsengruvan och i dess omedelbara närhet. Under de här mätningarna registrerades det jordmagnetiska totalfältet och elektromagnetiska data i frekvensbandet 10–350 kHz. Flygriktningen var nordost–sydvästlig, linjeseparationen mellan flyglinjerna var 100 m och flyghöjden i medeltal 50 m över markytan. Mätområdet visas i figurerna 13, 14 och 16. Data från de här mätningarna är föremål för bearbetning när den här rapporten skrivs.

Det tolkningsgeofysiska fältarbetet under 2021 fokuserades på profilmätningar med magnetometer och VLF-instrument (WADI) samt provtagning av berggrunden för petrofysisk analys. Yttäckande profilmätningar med magnetometer genomfördes vid Enåsengruvan. Utöver det bedrevs två profilmätningar med magnetometer över främst metasedimentära bergarter ca 3–4 km sydost om Enåsengruvan (fig. 10 och 16). Profilmätningarna med VLF-instrument bedrevs bland annat kring Enåsengruvan, där det genomfördes mätningar längs fyra profiler över den elektriskt ledande struktur som syns från de flygburna mätningarna. Dessutom genomfördes profilmätningar med VLF-instrument på fyra andra platser inom projektområdet (fig. 11 och 14). Totalt samlades det in 37 berggrundsprov för petrofysisk analys. Lokalerna för dessa provtagningar finns markerade i figurerna 10–14 och 16.

I figurerna som visar det residuala tyngdkraftsfältet (fig. 12 och 13) syns ett lokalt massöverskott vid Enåsengruvan. I de figurer som visar det magnetiska fältet över området (fig. 10 och 16) syns en förhöjning över flera av de områden som sammanfaller med metasedimentära bergarter. Analyserna av de bergartsprov som har samlats in för petrofysisk analys vid dagbrottet visar att de prov med högst densitet har samlats in från sulfidmineraliserade bergartsled eller en mafisk bergart. Totalt samlades fem sulfidmineraliserade prov in och två av dem har densitet 2 821 kg/m³ respektive 2 851 kg/m³, medan de övriga proven har densiteter inom intervallet 2 642–2 687 kg/m³. Den magnetiska susceptibiliteten hos de här proverna uppmättes inom intervallet 19–1 350 \times 10⁻⁵ SI-enheter, med medianvärdet 252 \times 10⁻⁵ SI-enheter. Den naturliga remanenta magnetiseringen är inom intervallet 96,8–22400 mA/m vilket innebär höga till mycket höga Q-värden (kvoten mellan remanent och inducerad magnetisering) som är inom intervallet 3–104 (medianvärde 7,6). Ett Q-värde över 1 visar att den remanenta magnetiseringen dominerar över den inducerade. Provet som togs från den mafiska bergarten har densiteten 2 885 kg/m³, magnetisk susceptibilitet på 5 370×10^{-5} SI-enheter och en naturlig remanent magnetisering på 3 240 mA/m (Q-värde 1,5). De åtta bergartsprov som har tagits från migmatit och olika metasedimentära bergarter vid dagbrottet, har densiteter inom intervallet 2 627–2 778 kg/m³, med medeldensiteten 2 711 kg/m³. Deras magnetiska susceptibiliteter är inom intervallet 24- $5\,480 \times 10^{-5}$ SI-enheter, med medianvärdet 918×10^{-5} SI-enheter. Den naturliga remanenta magnetiseringen hos de här proverna är inom intervallet 16,0–590 mA/m. Från graniten har två prov samlats in för petrofysisk analys. Det ena provet har densiteten 2 602 kg/m³, magnetisk susceptibilitet på 490×10^5 SI-enheter och en naturlig remanent magnetisering på 62,8 mA/m. Det andra provet har densiteten 2 607 kg/m³, magnetisk susceptibilitet på 5×10^{-5} SI-enheter och en naturlig remanent magnetisering på 27,9 mA/m. Cirka 200 m norr om dagbrottet samlades ett prov in från gnejs med densiteten 2 633 kg/m³, magnetisk susceptibilitet på 8×10^{-5} SI-enheter och en naturlig remanent magnetisering på 53,2 mA/m. Cirka en km sydväst om dagbrottet har två bergartsprov från granit samlats in för analys. Båda har en densitet på 2 645 kg/m³. Det ena provet har magnetisk susceptibilitet på 223×10^{-5} SI-enheter och en naturlig remanent magnetisering på 43,8 mA/m, medan det andra provet har den magnetiska susceptibiliteten 16×10^{-5} SI-enheter och en naturlig remanent magnetisering på 133 mA/m.

Under 2021 samlades det också in petrofysikprov vid Ramsjögruvan, Flomyra och Enåsgruvan. Vid Ramsjögruvan provtogs sulfidmineraliseringen, medan det vid Flomyra och Enåsgruvan togs prov från sidoberget (migmatit). Provet från sulfidmineraliseringen vid Ramsjögruvan har densiteten 2 695 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 24×10^{-5} SI-enheter och den naturliga remanenta magnetiseringen 31,48 mA/m. Provet från migmatiten vid Flomyra har densiteten 2 716 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 83×10^{-5} SI-enheter och den naturliga remanenta magnetiseringen 898 mA/m. Analysen av provet från migmatiten vid Enåsgruvan visar att densiteten är 2 634 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten är 7 × 10⁻⁵ SI-enheter och den naturliga remanenta magnetiseringen är 30,0 mA/m.



Figur 14. Karta över markens strömtäthet över Enåsengruvan med omnejd. Dagbrottet är markerat med korslagda hammare. Kartan baseras på flygburna VLF-mätningar från 2021. Gula cirklar representerar lokaler där berggrundsprov för petrofysisk analys har samlats in under 2021, medan röda kvadrater visar lägena för äldre sådana prov. De siffersatta vita linjerna markerar profilmätningar med VLF-instrument (WADI) utförda under 2021 (fig. 15). Den röda polygonen markerar mätområdet där drönare användes under 2021.

I figur 15 visas tvärprofiler för de profilmätningar som gjordes med VLF-instrument vid Enåsengruvan. Figuren visar också resultaten från de profilmätningar där både VLF-instrument och magnetometer användes längs samma sträckning. Tvärprofilerna visar markens resistivitet och det finns en god korrelation mellan dem. I profilerna 1, 2 och 4 syns en uthållig elektriskt ledande zon som stupar cirka 35 grader åt sydväst. I profil 3 syns inte samma uthållighet hos den elektriskt ledande zonen, i stället är den mer av en isolerad företeelse. Det bör tilläggas att osäkerheten vad gäller den konduktiva zonen, både vad gäller den laterala och vertikala utsträckningen, ökar med ökande djup.



Figur 15. Tvärprofiler som visar markens resistivitet ner till 300 m djup under markytan. Resistiviteten är beräknad genom inversion av VLF-data längs markprofilerna 1 och 2 i figur 14. Den röda triangeln i profil 2 visar läget för dagbrottet vid Enåsengruvan. Diagrammen visar resultat från mätning av magnetiskt totalfält och elektromagnetiskt fält (VLF) längs motsvarande profiler.





Figur 15 forts. Tvärprofiler som visar markens resistivitet ner till 300 m djup under markytan. Resistiviteten är beräknad genom inversion av VLF-data längs markprofilerna 3 och 4 i figur 14. Den röda triangeln i profil 3 visar läget för dagbrottet vid Enåsengruvan. Diagrammen visar resultat från mätning av magnetiskt totalfält och elektromagnetiskt fält (VLF) längs motsvarande profiler.



Figur 16. Magnetisk totalfältskarta över Enåsengruvan med omnejd. Dagbrottet är markerat med korslagda hammare. Kartan baseras både på flygburna mätningar och markmätningar från 2021. Data från markmätningarna visas inom området med rosa kantlinjer. Gula cirklar representerar lokaler där berggrundsprov för petrofysisk analys har samlats in under 2021, medan röda kvadrater visar lägena för äldre sådana prov. Vita linjer markerar profilmätningar med magnetometer under 2021. Den röda polygonen markerar mätområdet med drönare under 2021.

Långtjärnen är belägen ungefär fyra km sydost om Enåsengruvan (fig. 10 och 11). Vid Långtjärnen finns relativt stora blottningar av metasedimentära bergarter. På den magnetiska anomalikartan (fig. 10) syns en lokal högmagnetisk anomali som genereras av de metasedimentära bergartsleden. Profilmätningar gjordes med magnetometer och VLF-instrument (WADI) över de metasedimentära bergarterna medan de perifera delarna av profilerna är över granitisk berggrund (fig. 17). Från mätningarna syns bland annat att den metasedimentära sekvensen har både en förhöjd och heterogen magnetisering jämfört med omgivande granitisk berggrund. Det finns också en korrelation mellan en elektriskt ledande zon i berggrunden och relativt högmagnetiserad berggrund (vid cirka 210 m från start i fig. 17). Den elektriskt ledande zonen är synlig i VLF-data som en kraftig gradient i både real- och imaginärdelen. I nära anslutning till mätprofilerna finns järn- och sulfidmineraliseringen vid Långtjärnen.



Figur 17. Resultat från mätning av magnetiskt totalfält och elektromagnetiskt fält (VLF) längs profilerna vid Långtjärnen. Röda rektanglar i nederkant av figuren representerar granitisk berggrund medan den blå rektangeln motsvarar utsträckningen av de metasedimentära bergarterna.

Från området vid Långtjärnen har det samlats in sex prover från de metasedimentära bergartsleden för petrofysisk analys. Provernas densitet är inom intervallet 2 682–2 967 kg/m³ (medelvärde 2 819 kg/m³) och deras magnetiska susceptibilitet är inom 30–3 900 × 10⁻⁵ SI-enheter (medianvärde 102×10^{-5} SI-enheter). Från den granitiska berggrunden vid Långtjärnen togs två

bergartsprov för petrofysisk analys. Det ena provet har densiteten 2 614 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 16×10^{-5} SI-enheter och den naturliga remanenta magnetiseringen 59,7 mA/m. Det andra provet från graniten har densiteten 2 613 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 16×10^{-5} SI-enheter och den naturliga remanenta magnetiseringen 39,3 mA/m.

REFERENSER

- Arribas, A., 1995: Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. I: J. F. H. Thompson (red.): *Magmas, fluids and ore deposits*. MAC Short Course Volume 23, 419–454.
- Bergman Weihed, J., Bergström, U., Billström, K. & Weihed, P. 1996: Geology, tectonic setting, and origin of the Paleoproterozoic Boliden Au-Cu-As deposit, Skellefte district, northern Sweden. *Economic Geology 91*, 1073–1097.
- Bergman, S., Sjöström, H. & Högdahl, K., 2006: Transpressive shear related to arc magmatism: The Paleoproterozoic Storsjön-Edsbyn Deformation Zone, central Sweden. *Tectonics 25*, 1–16.
- Bierlein, F. P., Groves, D. I. & Cawood, P. A., 2009: Metallogeny of accretionary orogens the connection between lithospheric processes and metal endowment. Ore Geology Reviews 36, 282– 292.
- Chiba, H., Chacko, T., Clayton, R. N. & Goldsmith, J. R., 1989: Oxygen isotope fractionation involving diopside, forsterite, magnetite, and calcite: application to geothermometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta 53*, 2985–2995.
- Hallberg, A., 1993: Enåsen. Guide till Mineraljaktsexkursionen den 16 oktober 1993. MINK 96229, 8 s.
- Hallberg, A., 1994: The Enåsen gold deposit, central Sweden. 1. A Palaeoproterozoic highsulphidation epithermal gold mineralization. *Mineralium Deposita 29*, 150–162.
- Hallberg, A. & Fallick, A. E., 1994: The Enåsen gold deposit, central Sweden. 2. Light element stable isotope evidence of pre-metamorphic hydrothermal activity. *Mineralium Deposita 29*, 163–169.
- Hallberg, A., Bergman, T., Gonzalez, J., Larsson, D., Morris, G.A., Perdahl, J.A., Ripa, M., Niiranen, T. & Eilu, P., 2012. *I*: P. Eilu (red.): Metallogenic areas in Sweden. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. *Geological Survey of Finland, Special Paper 53*, 139–206.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. & Reynolds, T. J., 1998: Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology 93*, 373–404.
- Heinrich, C. A., 2005: The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. *Mineralium Deposita 39*, 864–889.
- Högdahl, K. & Bergman, S., 2020: Paleoproterozoic (1.9–1.8 Ga), syn-orogenic magmatism and sedimentation in the Ljusdal lithotectonic unit, Svecokarelian orogen. *I*: Stephens, M.B. & Bergman Weihed, J. (red.): Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs 50*, 131–153. https://doi.org/10.1144/M50-2016-30
- Högdahl, K., Sjöström, H. & Bergman, S., 2009: Ductile shear zones related to crustal shortening and domain boundary evolution in the central Fennoscandian Shield. *Tectonics 28*, TC1003. https://doi.org/10.1029/2008TC002277
- Mark, D. F., Lindgren, P., & Fallick, A. E., 2014: A high-precision ⁴⁰Ar/³⁹Ar age for hydrated impact glass from the Dellen impact, Sweden. *Geological Society, London, Special Publications, 378*, 349–366. http://dx.doi.org/10.1144/SP378.22
- Nysten, P. & Annersten, H., 1984: The gold mineralization at Enåsen, central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 106*, 245–256.
- Pals, D. W. & Spry, P. G., 2003: Telluride mineralogy of the low-sulfidation epithermal Emperor gold deposit, Fiji. *Mineralogy and Petrology 79*, 285–307.

SGU, 2021a: Berggrund 1:1 miljon – databas. Södra Norrland. 2021-11-25.

- SGU, 2021b: Berggrund 1:50 000-1:250 000 databas. Enåsenområdet. 2021-11-25.
- Simmons, S. F., White, N. C. & John, D. A., 2005: Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 485–522.
- Sjöström, H., Högdahl, K., Aaro, S. & Bergman, S., 2000: The Hassela shear zone in central Sweden, the western part of a Paleoproterozoic tectonic boundary across the Baltic shield? *In*: Eide, E. (Red.), *Abstracts, The 24 Nordiske Geologiske Vintermote*, s. 153.
- Sädbom, S., 1987: *Metamorfos och malmbildning i Enåsens guldgruva, Hälsingland*. MSc thesis, University of Uppsala, Department of Mineralogy and Petrology, 49 s.
- Tegengren, F., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. Sveriges geologiska undersökning Ca 17, 406 s.
- Trepka-Bloch, C., 1981: Enåsen geologi och malmberäkning. Rapport, Boliden Mineral AB. GP 81059-1981.
- Wagner, T. & Jonsson, E., 2001: Mineralogy of sulfosalt-rich vein-type ores, Boliden massive sulfide deposit, Skellefte district, northern Sweden. *Canadian Mineralogist 39*, 855–872.
- Wik, N.-G., Albrecht, L., Bergman, S., Kübler, L. & Sundberg, A., 2009: Malmer, industriella mineral och bergarter i G\u00e4vleborgs l\u00e4n. Sveriges geologiska unders\u00f6kning Rapporter och meddelanden 130, 310 s.
- Willdén, M., 1986: The Enåsen gold deposit. I: T. Lundqvist, M. Willdén, P. Kresten & K. Sundblad: The Enåsen Au deposit and the Alnö alkaline complex, 7th IAGOD and Nordkalott project meeting, Excursion guide No 9/10, Sveriges geologiska undersökning Ca 67, 14–19.