

Mineraliseringar i området kring Los

– bakgrund och sammanfattning av fältarbete 2022

Stefan Bergman, Erik Jonsson, Johan Jönberger och Stefan Luth

november 2023

SGU-rapport 2023:16



Omslagsbild: Den stora bilden visar överbyggnaderna och museilokalerna över huvudschakten vid Los koboltgruvor. Den mindre infällda bilden visar rester av en mineraliserad kalcitgång under jord invid Adolfs schakt.
Fotograf: Erik Jonsson.

Författare: Stefan Bergman, Erik Jonsson, Johan Jönberger
och Stefan Luth

Granskad av: Helge Reginiussen

Ansvarig enhetschef: Magnus Ripa

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Berggrundsgeologisk översikt.....	6
Strukturer.....	7
Primära strukturer.....	7
Deformationsstrukturer	9
Mineraliseringar	11
Gruvdrift och malmer i Losfältet	11
Losmalmens mineralogi – bakgrund, tidigare arbeten och tolkningar.....	16
Andra mineraliseringar i området.....	19
Provtagning och analyser.....	22
Geofysik.....	22
Tidigare arbeten	22
Arbeten 2022	27
Referenser.....	35

SAMMANFATTNING

I denna rapport sammanfattar vi de berggrundsgeologiska och geofysiska undersökningar som gjordes i Losområdet i den västra delen av Ljusdals kommun under fältsäsongen 2022. Vi sammanfattar också den historiska gruvdriften och vad som hittills är känt om områdets malmer och mineraliseringar.

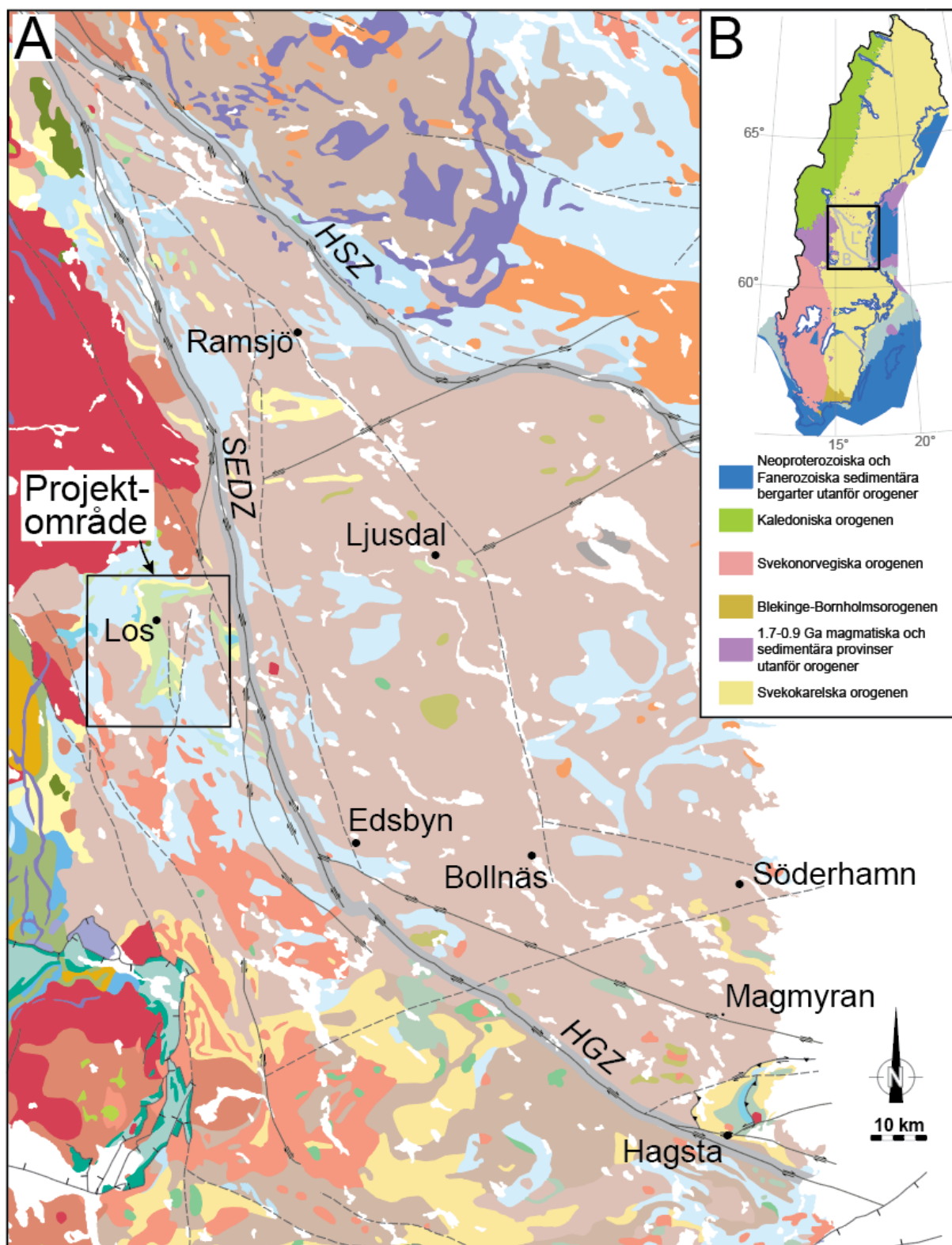
Undersökningarna fokuseras på Los koboltgruva och ett antal mindre mineraliseringar i området. Vissa av förekomsterna har undersökts och material från håll, varp och slagg har provtagits för litogeokemisk analys och malmpetrografisk undersökning; dessutom har historiska malmprov inlånats från Naturhistoriska riksmuseet för undersökning och analys. Vidare har strukturgeologiska undersökningar och geofysiska mätningar gjorts för att skapa underlag för 3D-modellering. Välbevarade primära strukturer har dokumenterats i både klastiska metasedimentära bergarter och mafisk metavulkanit. Den största strukturen är Lossynklinalen som har konstaterats att vara en D2-struktur eftersom den veckar en penetrativ foliation. De flygburna geofysiska mätningarna över Losområdet omfattar det jordmagnetiska totalfältet, markens naturliga gammastrålning och elektromagnetiska data (VLF, eng. *Very Low Frequency*) från två sändare. Förtätade tyngdkraftsmätningar på marken har gjorts i delar av området. Profilmätningar på marken med magnetometer och VLF-instrument (WADI) har genomförts i närheten av mineraliseringar och tvärs över deformationszoner. Prover från håll och varp har tagits för petrofysisk analys.

INLEDNING

Undersökningar av mineraliseringarna i Losområdet (fig. 1), i den västra 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, malmmineralogiska, malmgenetiska, 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 beslutsunderlag.

Los koboltgruva var i drift under drygt 30 år i mitten av 1700-talet (se till exempel Tegengren 1924). Malmen uppträder till dels i en upp till 30 cm bred sprickzon i metabasalt och kan följas åtminstone cirka 90 m (Blomberg 1895, Tegengren 1924, Lundqvist 1968). Det viktigaste koboltmineralet har bland annat rapporterats vara koboltglans, men detta är omdebatterat och malmassociationerna inkluderar sannolikt ett flertal mineral innehållande järn, kobolt, nickel, koppar, vismut och arsenik (se närmare redovisning och diskussion i avsnitt *Mineraliseringar*). Grundämnet nickel upptäcktes av Cronstedt år 1751 genom analys av ett malmprov från Los som ska ha innehållit mineralet gersdorffit (nickelglans). I Losområdet finns flera gruvfält och 43 mineraliseringar av sex olika typer är kända (SGU 2022b): kopparsulfid (Losfältet, Ställstensbergets koppargruvor), sulfid-koppar-kobolt-vismut-nickel-arsenid (Los koboltgruvor), sulfid-bly-zink-koppar-silver-guld (Nätsjögruvorna), koppar-nickel-koboltsulfid, järnsulfid (Risbergets gruvor) och järnoxid (Dåasgruvefältet, Risbergets gruvor, Björkbergs gruvor). Över lag finns alltså känd geologisk potential i området för åtminstone två kritiska metaller enligt EU:s klassifikation (se Blengini m.fl. 2020), kobolt och vismut.

De aktiviteter som planerats är att ta mineraliserade prover från håll, varp och eventuellt borrhälsdata från fyndigheter i området och karakterisera dessa bättre, genom bland annat petrografi, litogeokemisk analys och isotopanalys. Malmmineralogiska observationer och data från historiska prov från Losgruvorna ska också insamlas. Strukturgeologiska undersökningar och geofysiska mätningar genomförs för att tillsammans med borrhälsdata möjliggöra 3D-modellering i valda områden.



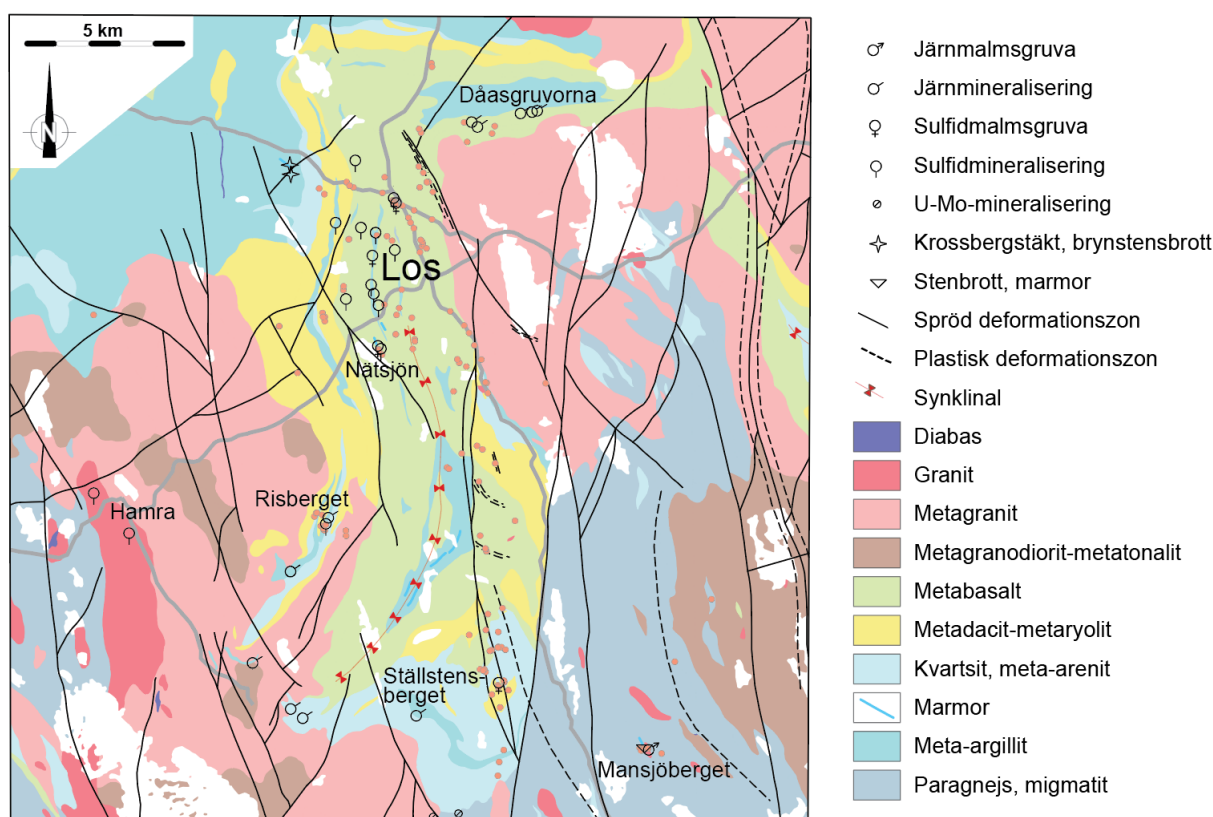
Figur 1. A. Berggrunden i och omkring Ljusdals litotektoniska enhet. De grå tjocka linjerna följer de deformationszoner som begränsar enheten: HSZ = Hasselaskjuvzonen, SEDZ = Storsjön-Edsbyndeformationszonen, HGZ = Hagsta gnejszon. Den svarta rektangeln visar läget för figur 2. Kartorna är modifierade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

I denna rapport sammanfattar vi bakgrundsinformation om malmerna och mineraliseringarna, i synnerhet i Losfältet, samt de undersökningar som gjordes i Losområdet under fältsäsongen 2022. Resultat från kompletterande fältundersökningar, analyser av olika slag, bearbetningar och 3D-modellering kommer enligt planerna att redovisas i en slutrapport under 2024. Alla namn på geologiska enheter och strukturer som används i denna rapport är informella (SGNK 2023). Koordinater anges i SWEREF99 TM.

BERGGRUNDSGEOLOGISK ÖVERSIKT

Losområdet ligger i den norra delen av Bergslagens litotektoniska enhet nära gränsen till Ljusdals litotektoniska enhet i nordost (fig. 1, 2; Högdahl & Bergman 2020). Gränsen mellan enheterna utgörs av Storsjön-Edsbyndeformationszonen (Bergman m.fl. 2006) och Hagsta gnejszon (Högdahl m.fl. 2009). 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 Losområdet och i Hamrångeområdet vid Hagsta är bergarterna bättre bevarade och primära strukturer är vanliga. Yngre granit (1,87–1,75 miljarder år gammal) med annan karaktär än Ljusdalsbatolitens bergarter förekommer som gångar och mindre massiv i hela området.



Figur 2. Berggrunden i det undersökta Losområdet. Orange prickar markerar årets berggrundsobservationer. Kartan är modifierad från databaserna Berggrund 1:50 000–1:250 000 (SGU 2022a) och Mineralresurser (SGU 2022b).

I Bergslagens litotektoniska enhet, som ligger väster och söder om Ljusdals litotektoniska enhet, finns liknande bergarter men det är en större andel ytbergarter och yngre granit.

Jämfört med Bergslagen i söder är regionen fattig på mineraliseringar och relativt få gruvor har varit i drift. Bland de större eller mera kända är ovan nämnda 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; Bergman m.fl. 2022).

STRUKTURER

Den lokala geologin i Losområdet är karakteriserad av en 5 till 7 km bred synklinal (Los-synklinalen) bestående av en sekvens metasedimentära bergarter samt basiska och sura metavulkaniter. Dessa har beskrivits i detalj i tidigare arbeten av von Eckermann (1936) och Lundqvist (1968).

Primära strukturer

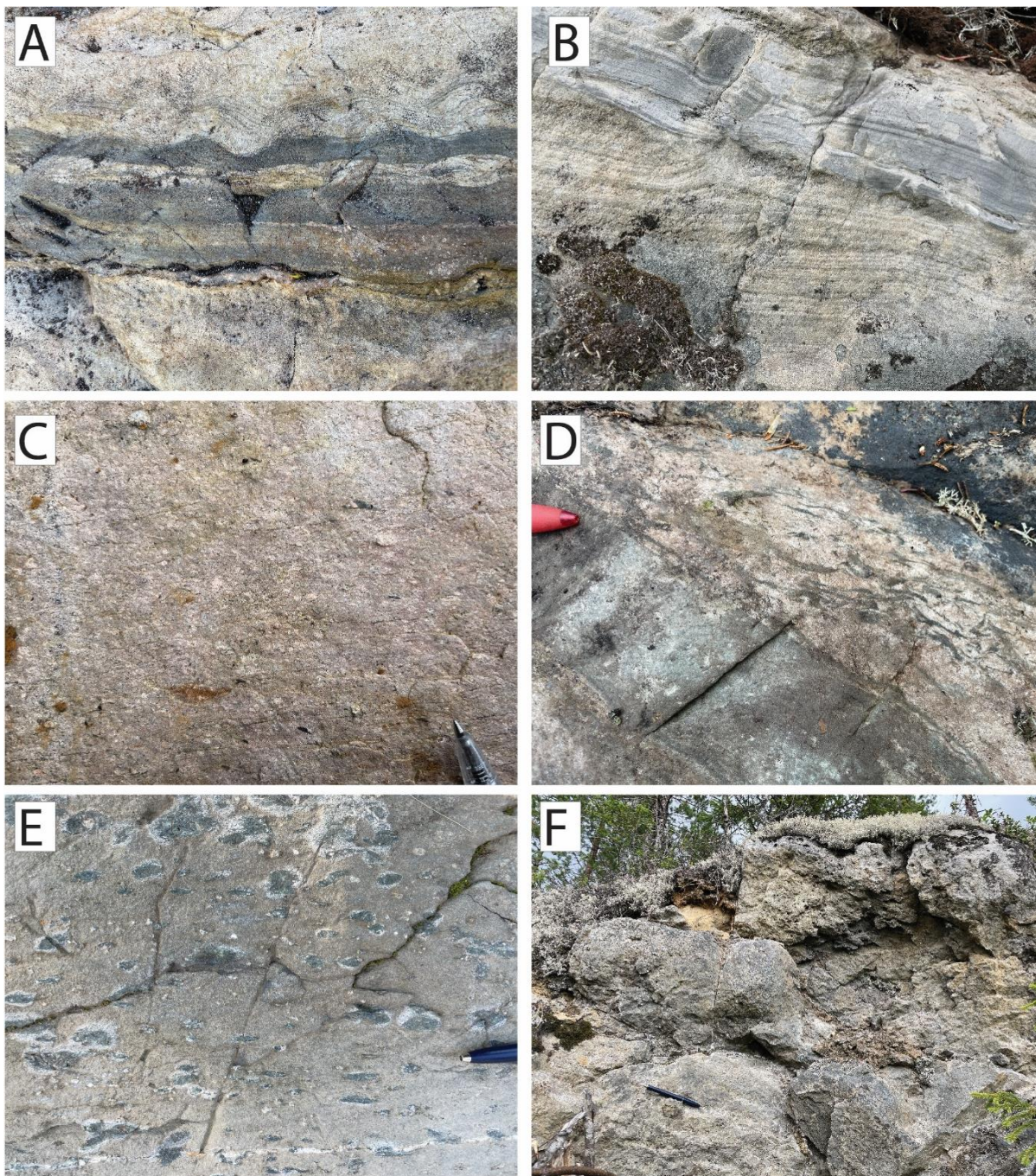
De metasedimentära bergarterna i Los utgörs huvudsakligen av meta-argillit och kvartsit med välbevarade lagringsstrukturer, korssiktning och skiffrig utbildning (fig. 3A). Några av de välbevarade sedimentära strukturerna ger möjlighet till stratigrafisk uppåtbestämning (fig. 3A, B). De metasedimentära bergarterna förekommer inom synklinalen i allmänhet som inlagringar i de basiska och sura metavulkaniterna. Inlagringarnas tjocklek varierar mellan 50 cm och flera hundratal meter.

Inom den sydöstra delen av synklinalen är de metasedimentära bergarterna starkt metamorfoserade och migmatisering har gjort det svårt att identifiera eventuella kvarvarande primära strukturer. Däremot bildades migmatitgranit (leukosom) med rester och sliror av meta-argillit vilken vanligtvis innehåller granat, sillimanit och cordierit. Dessa aluminiumrika mineral indikerar ett argillitiskt (lerigt) ursprung. Enligt Delin & Aaro (2000) är det en gradvis övergång mellan meta-argillit och migmatit, men vi har observerat att gränsen är skarp i den sydöstra delen av synklinalen och relaterad till en flera tiotals kilometer lång nord-sydlig skjuvzon, vilken förmodligen är en del av Storsjön-Edsbyndeformationszonen (fig. 1).

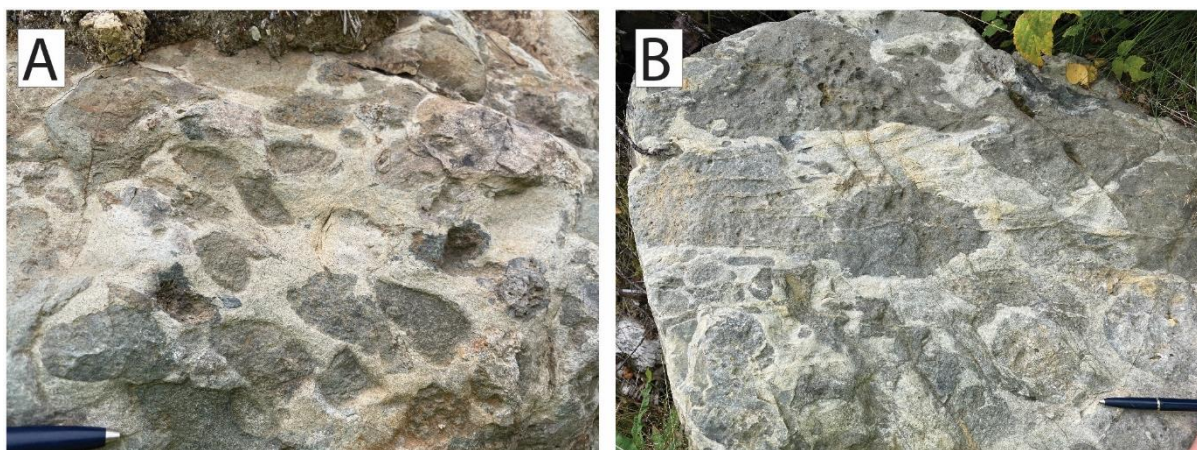
De metavulkaniska bergarterna domineras av metabasalt (Losgrönsten) och sur metavulkanit (Losporfyr). Den sistnämnda utgörs av en metaryolit med varierande proportioner av kvarts- och fältspatströkorn (fig. 3C). Vid Risberget, i den sydvästra delen av Lossynklinalen, finns sådana metaryoliter med välbevarade ignimbritiska texturer, vilka lokalt klipps av yngre mafiska gångar som innehåller kantiga fältspatfenokristaller (fig. 3D).

Den mafiska metavulkaniten har ett högre stratigrafiskt läge än metaryoliten och är därmed något yngre. Den dominerar i den centrala delen av Lossynklinalen och består främst av metabasaltisk mandelsten (Losgrönsten). Mandlarna är fyllda med kvarts eller epidot men även kalcit-, amfibol- liksom sulfidfyllda mandlar förekommer (fig. 3E). Ibland uppträder en primär flödesbandning som lokalt är veckad i samband med kuddavestrukturer (fig. 3F). Kuddarna varierar i storlek mellan 30 och 300 centimeter och är ofta elliptiska i ett 1:3-förhållande.

I den centrala delen av synklinalen, direkt väster om Los, påträffades ett hällområde bestående av konglomerat. Bergarten innehåller främst bollar av Losgrönsten men även mindre bollar av Losporfyr och meta-argillit har observerats i en amfibolitisk grundmassa (fig. 4A, B). Konglomeratet bildar antagligen den stratigrafiskt översta nivån i Lossynklinalen, baserat på dess centrala läge (se också Delin & Aaro 2000).



Figur 3. Primära strukturer i håll inom Lossynklinalen. **A.** Välbevarade våglagringsstrukturer mellan kvartsrik metasandsten (ljus) och biotitrik meta-argillit (mörk). Den "vågiga" kontakten antyder att det rör sig om "load casts" där det översta ljusa lagret tolkas som yngst. Bildens längdsida motsvarar cirka 40 cm. Observations-ID: SLH220047; (6837140/509914). **B.** Närbild av korssiktning i laminerad kvartsrik metasandsten. Bildens längdsida motsvarar cirka 30 cm. Observations-ID: SLH220048; (6837097/509970). **C.** Metaryolit (Losporfyr) med varierande proportioner av kvarts- och fältspatströkorn. Observations-ID: SLH220049; (6837821/510854). **D.** Metaryolit med ignimbritisk textur som klipps av en mafisk gång innehållande kantiga fältspatfenokristaller. Losporfyr vid Risberget. Observations-ID: SLH220001; (6835600/505740). **E.** Närbild av metabasaltisk mandelsten (Losgrönsten). Mandlarna är främst fyllda med kvarts eller epidot men även amfibol- (denna bild), kalcit- och sulfidfyllda mandlar förekommer. Observations-ID: SLH220098; (6845428/508292). **F.** Kuddlavestrukturer i metabasaltisk mandelsten (Losgrönsten). Observations-ID: SLH220118; (6842268/507944). Foto: Stefan Luth.



Figur 4. Primära strukturer i håll inom Lossynklinalen. **A.** Konglomerat (polymikt) väster om Los med bollar av Losgrönsten, Losporfyr, kvartsit och meta-argillit. Observations-ID: SLH220114; (6844274/508181). **B.** Konglomerat väster om Los med bollar som främst består av Losgrönsten. Observations-ID: SLH220114; (6844274/508181). Foto: Stefan Luth.

Deformationsstrukturer

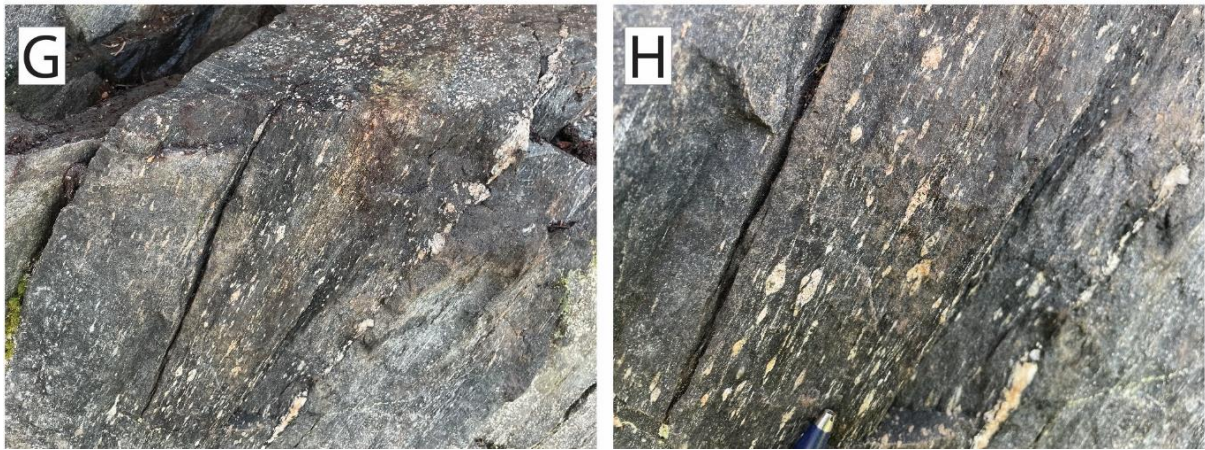
Berggrunden inom Losområdet är i allmänhet starkt deformerad vilket tagit sig uttryck i förskiffring, veckning och uppsprickning. Lossynklinalen tolkas här som ett F2-veck, baserat på veckning av den penetrativa foliationen och den metamorfa bandningen (S1). F2-veckan har flackt liggande veckaxlar och brantstående axialplan med nord-sydlig strykning. Norr om Los är Lossynklinalen veckad på en regional skala kring brantstående F3-veckaxlar och ett brant nordväst-sydöstligt strykande axialplan.

I många hållar kring Los observeras att S1 är orienterad parallellt med S0 (primär lagring). På vissa ställen är både S0 och S1 korsade av en ”spaced” foliation (S2) (fig. 5A, B) eller är krenulerade (fig. 5C). Lokalt är S0/S1 veckade och uppvisar småskaliga z- och s-veck som kan tolkas som parasitiska veck av både F2- och F3-generationerna (fig. 5D–F). Vissa av dessa veckstrukturer bildades antagligen som skjuvveck i samband med revers skjuvning under progressiv förkortning.

Spröd-plastisk deformation vid Los är främst lokaliserad längs nordväst-sydöstligt strykande skjuvzoner (fig. 5G, H).



Figur 5. Deformationsstrukturer i håll inom Lossynklinalen. **A.** Parallellt orienterade S0 och S1 (parallella med fotots långsida) är korsade av en "spaced" foliation S2 (45° vinkel). Bergarten är en meta-argillit. Observations-ID: SLH220132; (6848002/510451). **B.** Parallellt orienterade S0 och S1 (parallella med fotots långsida) är korsade av en "spaced" foliation S2 (45° vinkel). Bergarten är en meta-argillit. Observations-ID: SLH220048; (6837097/509970). **C.** Krenulering av parallellt orienterade S0 och S1 i en kvartsrik meta-argillit. Observations-ID: SLH220023; (6830390/511715). **D.** Förkastningsrelaterad veckning av S0/S1-foliation ("box fold"). Bildens långsida motsvarar cirka 80 cm. Observations-ID: SLH220029; (6831472/511513). **E.** Små veck av S0/S1-foliation, inklusive leukosom, lokalt påverkade av en senare förkastning. Observations-ID: SLH220106; (6840541/510241). **F.** Isoklinalt veckad kvartsådra. Notera att axialplanet är orienterat parallellt med S0/S1-foliationen. Observations-ID: SLH220132; (6848002/510451). Foto: Stefan Luth.



Figur. 5 (fortsättning). Deformationsstrukturer i håll inom Lossynklinalen. **G.** Lokal skjuvzon med mylonitisk textur i metabasalt (Losgrönsten). Skjuvzonen stryker nordväst–sydost. Bildens långsida motsvarar cirka 100 cm. **H.** Närbild av skjuvzonen i G. Observations-ID: SLH220064; (6835466/512052). Foto: Stefan Luth.

MINERALISERINGAR

Gruvorna vid Los i Hälsingland tillhör de historiska klassikerna i Sverige, framför allt på grund av att de var tidiga och för dåtiden stora producenter av kobolt i form av både malm och glas, samt för att det var ur malm härifrån som Axel Fredrik Cronstedt upptäckte och 1751 beskrev den nya metallen nickel. De kobolt-, nickel-, vismut- och kopparrika mineraliseringarna här utgör också en för regionen udda och oväntad typ, då mycket av den rikaste koboltmalmen satt i och med en i varierande grad karbonat- och kvartsförande gångmineralisering, det vill säga en mineraliserad sprickfyllnad, mera erinrande om betydligt yngre malmtyper som historiskt brutits i exempelvis Centraleuropa.

Gruvdrift och malmer i Losfältet

Gruvdrift torde först ha bedrivits i Los under sent 1600-tal och ett försök på kopparmalm var den första anledningen till gruvdrift här (Blomberg 1895). Enligt flera författare observerades en annan malmtyp av en slump under försök att på nytt finna mer kopparmalm under 1720-talet, något som man då trodde var en silvermalm på grund av dess ljusa färg (se till exempel Tegengren 1924).

Följande korta historiska sammanfattning av brytningen baserar sig huvudsakligen på Blomberg (1895) samt Tegengren (1924). På basis av nya undersökningar och provtagning kom man under senare delen av 1720-talet fram till att den ljusa malm som man först trott var silvermalm kunde vara en lovande vismutmalm. Assessorn och kommerserådet Henrik Kahlmeter, som 1733 förvärvade rätten att bryta gruvorna, såg 1736, efter exponering av malm som uppenbarligen också var rik på kobolt, till att fokuserad gruvdrift på koboltmalmen startade under 1737–1738. Brytningen expanderade ganska snabbt och det rapporterades 1750 att hela åtta gruvor bearbetades i Los. Medan man i Tyskland framställt koboltpigment sedan 1500-talet så representerade starten av brytning i Los den första produktionen av kobolt(-malm) i Sverige; ursprungligen försålles dock råmalmen från Los direkt till utlandet, men från 1744, då ett blåfärgsverk anlades vid Sophiendal omkring 8 km sydost om Los, startade också lokal produktion av blåfärgskoncentrat. Då färgning av glas och andra material utgjorde det huvudsakliga användningsområdet för kobolt under denna tid fanns ingen relevans i att renframställa kobolten som exempelvis metall eller oxid, utan det vanligaste var att man producerade ett glasigt koboltrikt material, kallat smalt, vilket sedan kunde nyttjas direkt för blåfärgning i glas- och porslinsindustrin. När gruvbrytningen var som mest

omfattande under 1750-talet framställdes mellan 13 och 17 ton av sådant koboltkoncentrat årligen i Los. Efter 1767 minskade dock aktiviteten och gruvorna lades i vila några år senare. Under 1820-talet upptogs gruvorna igen och länsades med ångmaskin; dock utan lycka, då ingen ytterligare malm i fast klyft kunde påträffas. De inmutades på nytt 1841 och flera gånger därefter, men ska då inte ha bearbetats.

Efter detta stod verksamheten still fram till 1930-talet, undantaget en länsdumpning och undersökning 1917 (von Eckermann 1936), och Bolidens dåvarande prospekteringsinsatser i området (Anon. 1932, Grip 1961); de senare verkar både ha varit inriktade mot sulfidmineraliseringar generellt i området (se nedan under *Andra mineraliseringar i området*) och specifikt mot området som hyser Los koboltgruvor. Ingen officiell dokumentation har hittills påträffats av det senare, men referens till att åtminstone(?) 15 borrhål upptagits i Los kring denna tidsperiod finns i form av ett brev från Harry von Eckermann daterat 1944 i Naturhistoriska riksmuseets (NRM) samlingar tillsammans med en bit mineraliserad borrhärna. Denna borrhärna torde kunna representera en del av den mindre malmzon med "high-grade nickeline-ore within the greenstone" som von Eckermann (1936) beskrev som påkommen under diamantborrning av Boliden 1933. Under 1980-talet genomfördes en del prospekteringsinsatser i området, främst av Sveriges Geologiska AB (SGAB), vilket också beskrivs i avsnitt *Andra mineraliseringar i området*. Det är uppenbart att man trots allt genom tiderna haft misstankar om att området har ytterligare malmpotential. Löfstrand skrev också "att grufvorna vid Los skulle vara utbrutna såväl i fält som mot djupet, är ... föga troligt" (i Blomberg 1895).

Mineraliseringen i Los är som noterat ovan av en i regionen avvikande och ovanlig typ då den ger intryck av att vara kopplad till en tektoniskt sen process och åtminstone till dels utgörs av en gångformig malm (fig. 6), även om olika typer av impregnationer, framför allt av sulfidmineral, också förekommer. Gruvhål och skärpningar föreligger här mer eller mindre på linje längs upp emot 200 m i nordväst-sydöstlig riktning, till synes i stor utsträckning konformt med de huvudsakliga värdbergarterna; i norr en amygdulär (mandelförande) basisk metavulkanit, väl en metabasalt, till en varierande kalcitförande och skiffrig metabasit i söder (se till exempel Tegengren 1924, Lundqvist 1968). Den mineraliserade zonen eller gången är mycket brant stupande i öster, nära vertikal. Blomberg (1895) skrev således att "den äldsta grufvan var, såsom förut omnämndt, Gamla grufvan, äfven kallad Adolfsgrufvan. Den visar ett donläge mot öster af några grader från lodlinien, samt höll, oafsedt något kopparmalm, en tre finger bred wismutränd, som vid närmare tre och en halv meters djup ersattes av derb koboltmalm..." och refererade till Tilas (1752). Namnsatta gruvor och skärpningar i Losfältet som omnämns och visas i Blomberg (1895) är, från norr till söder: Smibackens gruvor, Rymningen, Tryggens skärpning eller Gamla försöket, Gustafsgruvan eller Malmsänkningen, Adolfsgruvan eller Los gamla gruva, Lovisagruvan eller Nya gruvan, Vestra försöket, Nya försöket, Hans Pers försök, samt Bergens försök. Öster om fältets centrala del, ungefär i höjd med Adolfsgruvan, finns också en markering för en påbörjad stoll.

Att metabasiten (den så kallade Losgrönstenen) i och kring gruvområdet också är i varierande grad sulfidförande är en viktig observation, vilket också kan ses i det befintliga varpmaterialet vid gruvorna idag (fig. 7A, B) och i någon liten mån i exponerat berg i kanterna av några av gruvhålen. Det beskrevs av Löfstrand (i Blomberg 1895) som en varierande förekomst av "kis" i bergarterna – sparsamt som pyrit i den södra delen av området men med ett tilltagande uppträdande av både pyrit och magnetkis i den centrala delen, det vill säga i väggarna av Lovisagruvan, Adolfsgruvan, Gustafsgruvan, skärpningen norr om den senare, samt Tryggens skärpning/Gamla försöket, liksom även som kopparkis vid och i Adolfs- och Lovisagruvan. Det sistnämnda kan kopplas samman med de första gruvförsöken i Los på just en kopparmalm.



Figur 6. Kvarvarande rest av den mycket brantstående, östligt stupande ursprungliga kalcitgången (ljus gulvit) med associerade deformationsstrukturer under jord invid Adolfs schakt. Mindre mängder koboltmineral finns kvar vilket indikeras av lokal förekomst av sekundärmineralet erytrin, som kan skönjas som en vag och flammig rosa-röd färgning i kalcitgången högra kontakt mot sidoberget. Att omkringliggande metabasiska bergarter också lokalt deformerats parallellt med gången kan till viss del observeras. Ljusa till vita ytor på ömse sidor om kalcitgången utgörs av tunna utfällningar på gruvans väggar och har alltså sannolikt uppkommit efter gruvbrytningen. Kalcitgången varierar här i bredd från omkring 1–2 cm där den snörs av, till över 10 cm där den är som bredast i bilden. Foto: Erik Jonsson.

Mera konkret beskrevs också kopplingen mellan vad som bör representera främst sprödt-tektoniska strukturer och mineralisering i gruvorna, men inte enkom i den formen. I Blomberg (1895) beskrev G. Löfstrand – delvis något svårtolkat – tre huvudsakliga typer av förekomstsätt för koboltmalmen ("speiskobolt"; se nedan under *Losmalmens mineralogi...*) i Los:

1. "...speiskobolt...förekommer ymnigare insprängdt i mm.-stora kristaller...i den något skiffrika bergarten emellan Tryggens försök och Jonas grufva; på vissa ställen till och med i så stor mängd, att det torde kunna löna sig att förarbeta bergarten i dess helhet på kobolt."
2. "Det malmfyndiga området sträcker sig...omkring 90 meter...från och med Lovisagrufvan till och med Jonasgrufvan. Den speiskobolt som derå utvunnits, synes...hafva förekommit på en med de bekanta släpporna vid Klefva nickelgrufva fullständigt analog bildning"
3. "utsöndrad i större eller mindre körtlar i hängandet af den vid Jonasgrufvan och Rymningen synliga...slirebildningen".

Termen "släppa" användes, mestadels förr, typiskt för en kontakt- eller gränsszon mellan två olika bergarter eller genomdragande en och samma bergart, ofta i form av en spricka, gärna "fylld av lösare bergart än de omgivande sidorna" (Holmkvist 1941). Det framstår generellt som att "slirebildningen" inte är en del av den här nämnda släppan, utan en skiffrig och starkt kloritiserad

amfibolitisk bergart, sannolikt en omvandlings- och rörelsezon som utgör kontakten mellan Lövstrands ”kvartsdioritporfyr eller mandelsten” och ”gabbrodiorit med speiskobolt”, med andra ord mera likt vad som annars borde kunna gå under beteckningen ”sköl”. Denna så kallade slirebildning är dessutom orienterad i nord-syd och klipper således den strukturella trend som Losmineraliseringen uppvisar (grovt nordväst-sydost; nordnordväst-sydsydost specifikt angivet för den malmförande släppan enligt Blomberg 1895; se karta i Blomberg 1895; reproducerad i Tegengren 1924). Slirebildningen ska också utgöra en nordlig gräns eller avslutning på den verkliga koboltmineraliseringen. Det är också viktigt att notera att Lövstrand framhäver förekomsten av mineralisering i form av impregnation (typ 1 i punktlistan), liksom i ”utsöndrade körtlar” (typ 3), alltså inte bara i gångform (”släppan”).

Släppor utgörs med andra ord av olika typer av lokaliserade, huvudsakligen sprödtektoniserade zoner inklusive mineraliserade sprickfyllnader, vilka malmgeologiskt ofta kallats för ”gångar”, ”gångmineraliseringar” eller ”malmgångar”, alltså i tydlig kontrast till bruket av termen i fallet med magmatiska bergarter. Blomberg (1895) skrev också att ”Släppan har på ovannämnda sträcka [de cirka 90 m mellan Lovisagruvan/Adolfsgruvan i söder och Jonasgruvan i norr] fört från några cm till 0.30 m bred koboltmalm”.

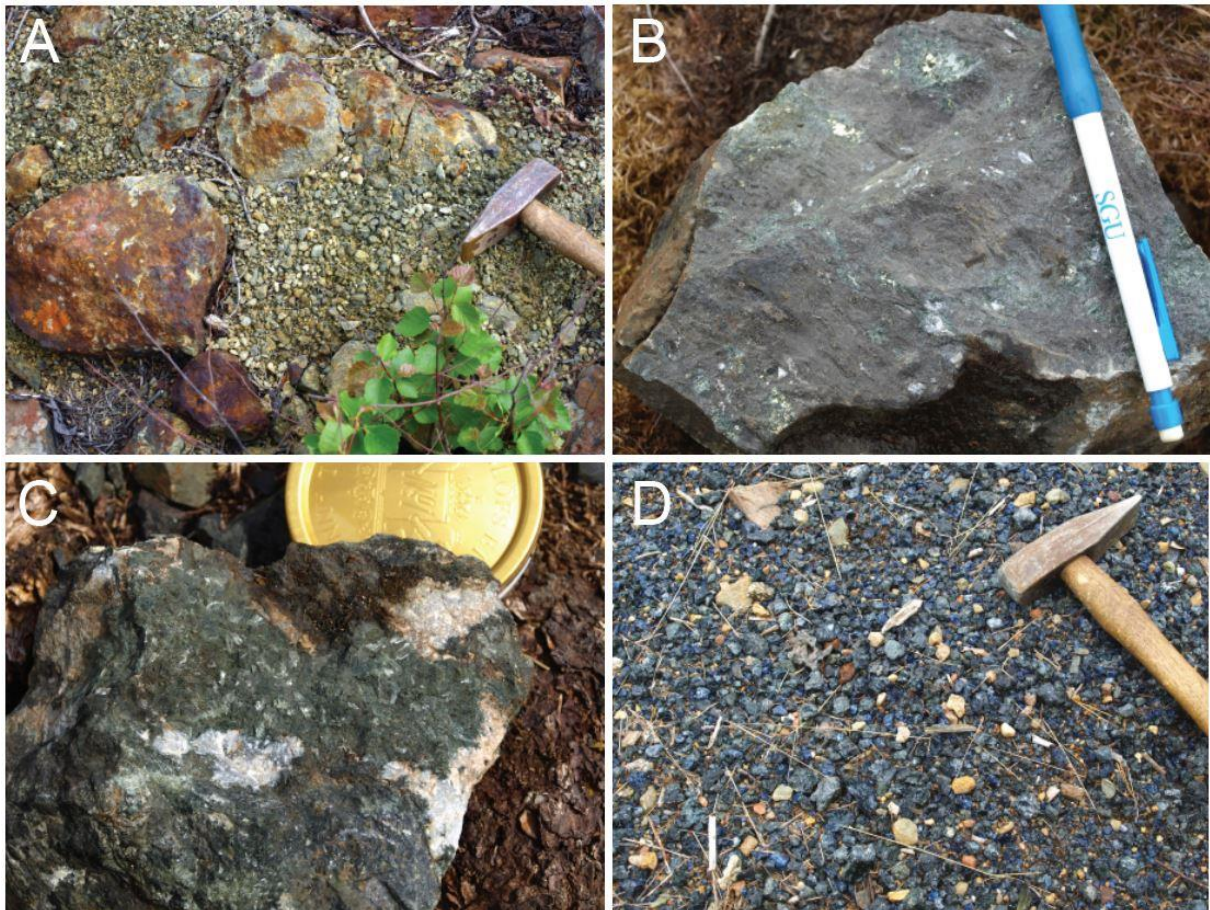
För att fortsatt citera Lövstrand så skrev han om förekomsten av kalcit (och kvarts) i sidoberg kontra malmgången:

”På samma ställe är i Lovisagrufvan den malmförande släppan uppfylld med kornig kalksten. Ett visst sammanhang eger sålunda rum emellan de mineral, som förekomma på släppan, och de som i form af insprängningar eller ögon förefinnas i den närmast omgifvande bergarten. Så förekommer äfven vid Jonasgrufvan qvarts på släppan intill den qvartsförande dioritmandelstenen. Likaledes finnes i den omgifvande bergarten vid Adolfsgrufvan kopparkis insprängd och har äfven från dagen utvunnits ur släppan.”

Förekomsten av såväl kvarts som kalcit i form av gångmaterial har också påvisats i material i varphögarna, i vissa fall tillsammans som någon typ av kompositgång, liksom spridda, tunna (omkring 1–3 cm breda), klippande kvartsådror, vilka dock huvudsakligen verkar sakna malm-mineral. Lövstrand förtydligar i flera fall att det rör sig om vad man kan tolka som någon form av repetitiv process under vad som rimligen var en sprödtektonisk regim, liksom att det finns en viss paragenetisk sekvens, exemplifierad av att kopparkisen förefaller honom äldst och vismutglans samt erytrin yngst. Kopplingen mellan (sen) tektonisering och malmbildning är uppenbar och kan både ses under jord och uttolkas från Lövstrands observationer:

”Den sprickbildning, som utgör släppan, synes hafva uppstått efter vissa mindre slireinlagringar af hornblende, åtföljdt af diverse malmer. Vid efteråt försiggångna förkastningar och skrufningar har släppan på vissa håll blifvit bredare och sedermera utfyllt af såväl malm som kalkspat eller kvarts.”

Kopplingen mellan en typ av grövre amfibolaggregat (”slireinlagringar af hornblende”; fig. 7C) till malmmineralisering och sliror och sprickfyllnad av framför allt kalcit har också observerats under fältarbetet i både kvarvarande varpmaterial och *in situ*, under jord (fig. 6). Typiskt verkar här vara att amfibolaggregaten närmast kalcitgången inte sällan innehåller spridd mineralisering i form av kopparkis. Lövstrand påtalade också att gedigen vismut påträffats i en ”hornblendesköl” vid Adolfsgruvan, medan vismutglansen mera typiskt ska ha uppträtt som ett sent mineral, men också tillsammans med kopparkis (något motsägelsefullt). Till kalcit och kvarts som gångmineral tillkommer också baryt i mindre mängder, vilket observerats i samlingsmaterial på NRM. Sedermera påtalade Welin (1966) också fluorit som ett mineral bildat i anslutning till kalcit och kvarts i/vid mineraliseringen i Los.



Figur 7. A. Kraftigt grusvittrande sulfidimpregnerat material i varpen vid Los gruvfält (omkring koordinat 6845487/508280). Sulfiderna domineras här av pyrit $\pm$ magnetkis. **B.** Spridda sulfidaggregat (pyrit, kopparkis) i metabasaltisk bergart, varphögarna i Los gruvfält (omkring koordinat 6845487/508280). En del av sulfidaggregaten ger intryck av att fylla ut amygduler (mandlar) i värdbergarten. **C.** Relativt grovstråliga, mörkgröna aggregat av amfibol associerade med ljus karbonat/kalcit; denna typ av association verkar typiskt följa den mineraliserade kalcitgången/-sprickfyllnaden åt och kan ofta ses innehålla varierande grad av kopparmineralisering. Varphögarna vid Los gruvfält (omkring koordinat 6845487/508280). Snusdosan är 7 cm i diameter. **D.** Relativt finkornig slagg blandat med annat material vid resterna av Sophiendals blåfärgsverk och glashytta, sydost om Los (omkring koordinat 6839787/512997). Den mättade blå färgen hos en del av det glasiga slaggmaterialet visar dess innehåll av kobolt. Foto: Erik Jonsson.

De olika malmtyper som framför allt Lofstrand och i viss mån Blomberg beskrivit (i Blomberg 1895) och som Tegengren (1924) senare gav ett sammandrag av, verkar alltså antingen ha bildats av olika processer eller av en process som uppvisat en markant variation i fysikokemisk karaktär över tid.

Till synes finns det observationer som också pekar på att dessa malmtyper är olikartat representerade i både samlingar och studerat material i flera fall. Så noterade exempelvis Tegengren (1924), kopplat till Lofstrands observationer av kobolt i form av impregnationsmalm och Gustaf Flinks undersökningar av svenska koboltmineral (Flink 1910), att:

”Lofstrand betecknar koboltmineralet vid Los som speiskobolt. Flink anser emellertid, att mineralet är varken svavelfritt eller homogent utan inblandat med sulfider av koppar och järn m.m. Då Flinks iakttagelsematerial synes ha varit begränsat till museistuffer härrörande från den sprickbildning varpå gruvdriften anlagts, samt alltså icke omfattat det nu beskrivna förekomstsättet, är det fortfarande möjligt att Lofstrands uppgift är riktig”.

Detta kan ha varit en del av den bakomliggande problematiken vad gäller tidig karakterisering och bestämningar av malmmineralen i Los (se närmare om det nedan, under avsnitt *Losmalms mineralogi...*).

Intressant nog beskrev också samme Löfstrand (i Blomberg 1895) nickelrik mineralisering av samma karaktär utanför det huvudsakliga gruvområdet:

”...nickelglans...iaktogs äfven något ymnigare af mig sommaren 1881 i en numera genom trädgårdsanläggning igenfylld skärpning, omkring 75 m. ostnordost om Lovisagruvan nedanför Smibackens hällar”.

Han fann här också karakteristiska associerade mineral i form av annabergit, kalcit och amfibol, som i huvudgruvornas malmförande ”släppa”. Skärpningen ska sannolikt ha upptagits dels på grund av den observerade mineraliseringen, dels för att påbörja en stoll därifrån i sydvästlig riktning till Lovisagruvan. Det är en mycket viktig observation, inte minst eftersom skärpningen sedermera alltså försvunnit: den innebär att kobolt-nickelrik gångmineralisering uppträder i minst ett system till, mest sannolikt uppträdande i ganska brant vinkel till det som huvudsakligen brutits i Losgruvorna, alternativt att den representerar ytterligare en ”parallell” mineralisering på den grovt nordväst-sydostliga trenden. Löfstrand pekar dock på att denna mineralisering (mineraliserade släppa) hade en annan orientering, alltså omkring ostnordost till västsydväst.

Losmalms mineralogi – bakgrund, tidigare arbeten och tolkningar

Moderna undersökningar av Losmalmen och dess mineralogiska, kemiska och texturella karaktär saknas till synes fullständigt, men kommer att genomföras inom föreliggande projekt baserat på både fältinsamlat material och historiska prov. Tidigare undersökningar har genomförts med varierande metodik liksom grad av noggrannhet och referenser till huvudmalmmineralen varierar likaså en del, beroende vem som sett och gjort vad och när detta skett. Av de äldre, mera detaljerade beskrivningarna torde den av Blomberg, samt Löfstrand i densamma (Blomberg 1895), vara den mest fullödiga, medan Grips betydligt senare (1961) och mycket kortfattade sammanfattning av malmmineralen är mera osäker sett till dess källa eller källor (anges ej med någon tydlighet). Welins (1966) observationer och analyser är delvis utförda med mera modern metodik, men innefattar också de en del frågetecken och otydligheter.

Blomberg (1895) beskrev förekomsten av ”koboltblomma” (erytrin), ”nickelgrönt” (i äldre tid oftast refererad till som ”nickelblomma”; idag annabergit), ”koboltnickelkis eller nickelglans”, kopparkis, magnetkis, svavelkis (pyrit), ”speiskobolt”, samt refererandes tillbaka till Hisinger (1826), också gedigen vismut och vismutglans. På grund av dåtidens mineralogiska nomenklatur (och delvis dess brist på sådan) och analytiska kapacitet är dock betydelsen av merparten av de angivna malmmineralen, i synnerhet de kobolt-nickelförande, inte helt enkla att översätta till dagens klassifikation och namnsättning (tabell 1). Så är i fallet ”koboltnickelkis eller nickelglans” betydelsen svårtolkad; enligt modern mineralogisk nomenklatur bör dåtidens ”koboltnickelkis” vara antingen siegenit, nickelrik linnéit eller kobolttrik polydymit (Bayliss 2000), alternativt enkom siegenit (Clark 1993), medan ”nickelglans” (Nickelglanz) tämligen entydigt anges motsvara gersdorffit (se till exempel Dana 1914, Clark 1993, Bayliss 2000). I fallet med ”speiskobolt” är det också en bitvis tvetydig term; detta mineralnamn användes flitigt under dåtiden och idag anges normalt att det ska motsvara mineralet skutterudit (Bayliss 2000), medan Clark (1993) gör gällande att det är en synonym till ”smaltit” (ett i sig problematiskt namn) och/eller koboltarseniden safflorit. ”Speiskobolt”, angiven som en förment kubisk koboltarsenid (CoAs₂), beskrevs också av Erdmann (1853) som förekommande i Losmalmen.

Tabell 1. Sammanställning av namn, ideala kemiska formler och kristallsystem för idag accepterade mera ovanliga malmmineral och oxidationsprodukter, vilka omnämns i texten.

Mineral	Kemisk formel	Kristallsystem
Annabergit	$\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Monoklin
Erytrin	$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Monoklin
Gersdorffit	NiAsS	Kubisk
Jaipurit	CoS	Hexagonal
Koboltglans	CoAsS	Ortorombisk
Linnéit	Co_3S_4	Kubisk
Nickelin	NiAs	Hexagonal
Polydymit	Ni_3S_4	Kubisk
Safflorit	CoAs_2	Ortorombisk
Siegenit	CoNi_2S_4	Kubisk
Skutterudit	CoAs_3	Kubisk
Tennantit	$\text{Cu}_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{As}_4\text{S}_{13}$	Kubisk
Tetraedit	$\text{Cu}_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	Kubisk
Vismut, gedigen	Bi	Trigonal
Vismutglans	Bi_2S_3	Ortorombisk

G. Löfstrand (i Blomberg 1895) anger också att J. Berzelius, enligt ett handskrivet manuskript av L. P. Walmstedt, ska ha besökt gruvorna och där påträffat ”koboltkis”, av vilket det dock endast skulle finnas en stuff. Detta namn ska idag motsvara linnéit (Bayliss 2000), men kan enligt Clark (1993) förutom det senare mineralet också vara jaipurit. Det är ett i sig något tveksamt mineral med beteckningen ”questionable” av International Mineralogical Association (IMA 2023). Berzelius själv skriver redan 1824 att en singular stuff av ”Schwefelkobalt” ska finnas i Vetenskapsakademiens samling, ett namn som också idag tillskrivs just linnéit eller möjligen ovannämnda jaipurit (Clark 1993, Bayliss 2000). Även Erdmann (1853) anger att ”koboltkis” (syn. ”svafvelkobolt”) förekommer i Los.

Det är anmärkningsvärt att enligt Löfstrand (i Blomberg 1895) så saknar påståendet om förekomst av koboltglans i Los ”påtagligen all grund”, och han skrev också att ”några stuffer af koboltglans från denna fyndort finnas icke heller i museerna”. Så nämnde inte heller varken Erdmann (1853) eller tidigare nämnda Flink (1910), något om förekomst av koboltglans i Los (medan det anförs av Grip 1961. Till detta adderade också Welin (1966) som följer:

”Smaltite (Skutterudite) has been considered to be the main cobalt mineral but has apparently been confused with cobaltite since all the examined samples from the collections labelled smaltite-chloantite are in reality cobaltite.”

Frågetecken kring identiteten kvarstår dock eftersom Welin här kompletterade med en mycket tidig och ofullständig mikrosondanalys, vilken skulle bevisa mineralets identitet som koboltglans. Då koboltglans och gersdorffit är isostrukturella så är röntgendiffraktometrisk analys dock en problematisk analysmetod för att säkert skilja dem åt och den partiella kemiska analysen

motsvarar till synes varken koboltglans eller gersdorffit. Analysen säger inte mer än att det åtminstone inte torde handla om det senare mineralet på grund av den höga kobolthalten (27 %) och låga nickelhalten (3,9 %).

Ett annat problematiskt mineral(-namn) är som tidigare nämnts ”smaltit” – med andra använda äldre synonymer som ”smaltin” och ”cheleutit” (Clark 1993). Namnet härrör från just tillverkningen av koboltglasmaterial, så kallad smalt, och det därmed direkt relaterade nyttjandet av rika koboltmalmer/malmmineral, som även de ibland kallades ”smalt”. Namnet ”smaltit” har bevisligen genom historien använts för ett flertal olika, mestadels nickel-arsenik-koboltförande faser eller blandningar av sådana. Det är i sammanhanget också värt att notera att enligt Rinman (1789) har även termen ”safflor” använts för sådant eller likartat material, vilket gett mineralnamnet safflorit. Dana (1914) sammanfattar smaltiten inom en ”chloanthit-smaltitgrupp” med diffusa gränser och ett flertal ytterligare synonymer, medan Hintze (1904) – för att ytterligare komplicera bilden – behandlar smaltiten i en gruppering med ”Speiskobalt (smaltin)” och ”Chloanthit”. Enligt Clark (1993) ska ”smaltit” som mineralogisk term under 1800- och 1900-talen ha motsvarat en kubisk CoAs_2 (se även ”speiskobolt” eller ”Speiskobalt”, ovan), ett mineral som dock inte existerar efter vad som är känt idag. ”Smaltit” skall dock till dels också kunna motsvarat just ”Speiskobalt” eller ”arsenikkobolt” (som i sig ska motsvara safflorit idag), men Clark (1993) konkluderar också att namnet sedermera huvudsakligen nyttjats som benämning på en arsenikfattig skutterudit. Bayliss (2000) anger entydigt att ”smaltit” motsvarar skutterudit.

Som tidigare påpekats av exempelvis Enghag (1998) så har det funnits olika uppfattningar om identiteten på det malmmineral som Cronstedt upptäckte metallen nickel i; antingen nickel-arseniden nickelin (”rödnickel”, ”Rotnickel” eller ”Kupfernickel”; se också Clark 1993) eller den ovan nämnda, i varierande grad koboltförande nickel-arseniksulfiden gersdorffit (nickelglans). Cronstedt (1751) kallade själv mineralet för ”Niccolum ferro et cobalto arsenicatis et sulphuratis”, vilket i sig anknyter till sammansättningarna för ett flertal mineral. Erdmann (1853) skrev att ”arseniknickelglans”, med av honom angivna synonymer ”nickelarsenikglans”, ”nickel-arsenikkies” samt just ”nickelglans”, i Sverige endast påträffats i Los. Kombinationen av de använda namnen (”nickelglans”, ”arseniknickelglans” m.fl.), det faktum att symmetrin angavs som kubisk, och de av Erdmann angivna resultaten från kemiska analyser (en från Los, en från Lobenstein, Tyskland) pekar sammantaget på att det rör sig om en nickel-arsenik-svavelrik fas liknande gersdorffit. Också Grip (1961) påtalade specifikt att Cronstedts upptäcktsmineral var just gersdorffit, refererande tillbaka till Tegengren (1924). Andra källor uppger dock att upptäcktsmineralet var nickelin ”...niccolite, or nickel arsenide...” (Anon. 1965). Baserat på de sammantagna beskrivningarna verkar onekligen gersdorffit eller ett gersdorffit närstående mineral vara det mest sannolika ”upptäcktsmineralet”. Vad gäller den faktiska förekomsten av nickelin i Los kan även denna sägas vara problematisk, åtminstone som en makroskopiskt identifierbar fas; vid genomgång av de som detta mineral etiketterade proven på NRM förefanns inget där man säkert kunde observera/identifiera mineralet. Detta till trots så nämnde exempelvis von Ecker-mann (1936) detta mineral som förekommande i Los.

De malmmineral som i senare tid beskrevs av Wik m.fl. (2009); ”malmen, bestående av koboltglans, kopparkis, vismutglans, arsenikkis, samt kobolt-nickelarseniden skutterudit...” (på annan plats nämns dock också att gersdorffit troligen förekommer), torde representera en begränsad referens till ospecificerad litteratordata. Just förekomsten av koboltglans i Los omfattas alltså också av motstridiga uppgifter. Så beskrev Tegengren (1924) som huvudsakligt koboltmineral ”speiskobolt eller smaltit” liksom förekomsten av erytrin, kopparkis, magnetkis, svavelkis (pyrit), vismutglans, gedigen vismut ”samt, som en sällsynthet nickelglans” (se föregående textavsnitt vad gäller betydelsen av flera av dessa mineralnamn från förr). Som nämnts tidigare så gjorde Tegengren också den viktiga observationen att det kan vara främst material från

gångmineraliseringen ("släppan") som finns representerat i mycket av det undersökta materialet, och inte sådant som härstammade från den impregnationstyp av malm som också ska ha brutits. I den mycket korta sammanfattningen av Grip (1961), som heller inte specificerar källan till informationen, påtalades malmmineralen i Los vara pyrit, magnetkis, kopparkis, zinkblände, blyglans, arsenikkis, nickelin ("niccolite"), "smaltit", koboltglans, gedigen vismut, vismutglans, gersdorffit samt "fahlerz". Beteckningen "fahlerz" omfattar sulfosaltmineral i vad som idag benämns tennantitgruppen, främst tetraedrit och tennantit (se tabell 1). Av studerade malmmineral från Los i Ramdohr (1980) anges endast gedigen vismut och vismutglans. Welin (1966) beskrev, på basis av då existerande litteratur samt egna undersökningar, främst av historiska prov, i sin tur gersdorffit, kopparglans, blyglans, zinkblände, nickelin, "smaltit", gedigen vismut och "fahlerz" (troligen baserat på Grip 1961), samt av honom själv identifierade (medelst röntgen-diffraktometriska analyser och polarisationsmikroskopi) arsenikkis, hematit, kopparkis, koboltglans, magnetkis, markasit, "pechblände", pyrit och vismutglans. Primärt så undersökte Welin förekomsten av uranmineral i Los, den faktiska huvudanledningen till arbetet. Han påvisade också uraninit/pechblände som förekommande i mineraliseringen och (främst) i sidoberget, vilket föranledde en rimlig tolkning att uranet introducerats med den fluid som sannolikt också bar med sig de relevanta malmmetallerna.

Welin (1966) sammanfattade sina observationer i form av en grov form av paragenetisk utveckling för mineraliseringen:

"From the observations it is concluded that mineral deposition began with the formation of uraninite and was followed by the deposition of the sulphides and the granular pitchblende. Bismuthinite was probably the youngest sulphide deposition partly occurring in the center of the vein filling in a gangue of calcite, quartz and subordinate baryte. A later event than the main deposition of sulphides is represented by the replacement of pyrrhotite by marcasite."

Intressant nog gjorde Welin också de till synes första och hittills enda någorlunda detaljerade undersökningarna av mineralogin i värdbergarterna närmast och i malmzonen i Los. Han observerade baryt utöver de tidigare kända kalcit och kvarts som huvudgångmineral samt som omvandlingsmineral i metabasiten, men nämnde också en mera accessorisk förekomst av turmalin och fluorit i båda dessa miljöer, utöver allmänt spridd amfibol ("hornblende") i malmzonen, att metabasitens amfibol är delvis kloritiserad, fältspaten är sericitiserad, medan exempelvis epidot och titanit är opåverkade av omvandling.

Flertalet observationer så långt ger distinkta, om än tentativa, kopplingar till malmer av så kallad fem-elementtyp (eng. *Five-element veins*), alltså nickel-kobolt-arsenik-silver-vismutrika gångmineraliseringar som ofta men inte alltid också hyser uran (se till exempel Kissin 1992 och referenser däri). Det som dock skiljer sig ganska dramatiskt i fallet Los är den synbarliga avsaknaden av avrapporterade silvermineral, vilka är nyckelfaser i sådana förekomster världen över. Detta till trots rapporterade Falk (1983) om analys av ett prov med en respektabel silverhalt om 2 200 ppm från Nätsjö koppargruvor (se nedan under *Andra mineraliseringar i området*), så silver finns åtminstone närvarande i vissa mineraliseringar i området.

Andra mineraliseringar i området

I området kring Losfältet finns också ett antal ytterligare kända mineraliseringar, av vilka några brutits tidigare men mestadels i liten skala, medan andra i princip är outvecklade prospekteringsfynd. Grip (1961) nämnde kort Bolidens prospektering i området kring Los på 1930-talet, under vilken ett flertal nya mineraliseringar upptäcktes, undersöktes geofysiskt samt borrades, vilket också delvis avrapporterades (Anon. 1932). Vissa prospekteringsinsatser har också gjorts senare,

bland annat av SGAB för Nämnden för Statens Gruvegendom (NSG; Falk 1983, Wik m.fl. 2009), inklusive geofysiska undersökningar under 1970- till 1990-talen (se avsnitt *Geofysik*). Blockletning fokuserad på guld genomfördes också under 1980-talet, men utan större framgång (Ros m.fl. 1986). Ett större område från Los i nordväst till Hamrånge i sydost provtogs och analyserades också avseende guld i morän (Nilsson m.fl. 1988). I den senare avrapporteras mindre guldanomalier i Losområdet, delvis tillsammans med antimon, arsenik och vismut, vilket föranledde en mera detaljerad moränprovtagning kring Los (Nilsson 1989).

Vad gäller mineraliseringarnas generella uppträdande och karaktär i Losområdet så visar inte minst gruvorna i Nätsjö samt skärpningarna Kyrkbytjärnen, Älgsjöberget och möjligen Kvarnsjögruvan, ett möjligt släktskap med de som brutits i Losfältet. Beroende på faktisk process kan ytterligare koppar(-nickel)-mineraliseringar också vara genetiskt relaterade. Grip (1961) särskilde mellan två huvudsakliga mineraliseringstyper i området; en disseminerad nickel-magnetkistyp, exemplifierad av förekomsten i Rullbo, samt en nickel-arseniktyp, vilken förekommer som gångar med signifikanta halter av arsenik samt också kobolt. Rimligen är Los gruvor det mest uppenbara exemplet av den senare typen, även om man då också borde ha inkluderat vismut som en av karaktärsmetallerna, och Grip (1961) noterade i anslutning till denna typ att gersdorffit synes vara det dominerande nickelmineralet, medan koboltglans skulle vara den dominerande värdfasen för kobolt.

Nätsjö gruvor, också kallade Los koppargruvor, ligger dryga 3 km sydsydväst om Los och påbörjades 1837 varefter de drevs några år under 1840-talet på en kopparrik sulfidmineralisering och 1847 ska ”en vacker malm” hållande 4% Cu ha påträffats; någon tid senare nedlades gruvdriften dock, för att försöksvis återupptas flera gånger, senast 1861 enligt uppgift (Löfstrand i Blomberg 1895, Tegengren 1924, Wik m.fl. 2009). Mineraliseringen i Nätsjögruvorna domineras av kopparkis och pyrit, vilka förekommer som impregnationer i och med kvarts- och kalcitliror i en metabasisk bergart (lokalt till och med ”malmkvartsitisk”; Falk 1983) och undersöktes på nytt av SGAB/NSG medelst bland annat kärnbörning och markgeofysiska undersökningar under 1980-talet (Falk 1983; Wik m.fl. 2009). Från SGAB:s undersökningar redovisades analyser av rika prov med 7,3 % koppar, 15 % zink och 4,98 % bly; ett prov gav också 2 200 ppm silver och 1,9 ppm guld; utöver nämnda kopparkis och pyrit noterade man också förekomsten av magnetkis, blyglans, zinkblände, gedigen koppar och kuprit; något koboltglans samt gediget guld (Ag-haltig, ”elektrum”) påträffades också mikroskopiskt (Falk 1983). Baserat på slingramätningar föreslogs däri att mineraliseringen i Nätsjö möjligen kunde fortsätta 300–400 meter söder om befintliga gruvor och skärpningar och man påträffade också mineraliserade block både söder och norr om Nätsjögruvorna.

Kyrkbytjärnen, omkring 1 km västnordväst om Los, utgörs av kopparkis och svagt kobolt-nickelförande magnetkismineraliseringar i mafisk metavulkanit påvisade i två mindre skärpningar samt tre kärnborrhål från 1990 (Wik m.fl. 2009).

Älgsjöberget ligger omkring 3 km sydväst om Los och är en mindre skärpning på svagt nickelförande koppar- och magnetkismineraliserad metabasit (Wik m.fl. 2009).

Kvarnsjögruvan ligger knappa 4 km nordnordväst om Los och uppvisar mineralisering i form av kopparkis, zinkblände, blyglans samt ”spår av koboltglans”, i två tunna linser (Wik m.fl. 2009). De senare samt Grip (1961) angav att Boliden upptäckte och undersökte mineraliseringen med kärnbörning och en mindre skärpning under 1930-talet. Analyser av borrhämnor upptagna av Boliden vid Kvarnsjögruvan gav upp till 4 % koppar, 0,52 % kobolt, 84 ppm silver och 1 ppm guld, samt i ett singulärt borrhål 4,96 % nickel (Anon. 1932). Analys av en sektion från ett av deras borrhål i Kvarnsjögruvan gav enligt Grip (1961) 11 % svavel, 0,12 % kobolt, 0,11 % nickel,

2,79 % koppar, 65 ppm silver samt 0,5 ppm guld. Grip beskrev också att malmen här är bandad och rik på malmsliror, vilka är i varierande grad anrikade på antingen bly-zink-koppar eller nickel, samt att kobolt lokalt kan dominera över nickel.

Hästtjärnsgruvan, omkring 2 km nordväst om Los, utgörs av kopparmineraliseringar i dels skarnig mafisk metavulkanit, dels i glimmerskiffer, vilka påvisades av Boliden på 1930-talet med borrhning samt i en mindre skärpning (Wik m.fl. 2009). Analyser av borrhärna från Östra Hästtjärn upptagen av Boliden gav 0,28 % koppar, 0,03 % kobolt, 6 ppm silver samt spår av guld (Anon. 1932).

Fräktjärngruvan och Södra Fräktjärngruvan ligger omkring 2 km sydväst om Los och utgörs av kopparkismineralisering i glimmerskiffer som uppträder i flera mindre gruvor eller skärpningar samt ett antal borrhål slagna av Boliden Gruv AB under 1930-talet, från vilka det rapporterats analysresultat med kopparhalter upp till cirka 6,3 %, 0,25 % kobolt, samt spår av guld vid Fräktjärngruvan; upp till 2,89 % koppar, 0,16 % kobolt, 30 ppm silver samt 0,5 ppm guld i Södra Fräktjärn; 1,22 % koppar vid Norra Fräktjärn (Anon. 1932, Wik m.fl. 2009). SGAB genomförde för NSG:s räkning under 1980-talet blockletning fokuserad mot guld-kopparmineraliseringar i området kring Fräktjärn, men utan större framgång (Ros m.fl. 1986).

Ryggskogsgruvan ligger 3 km västnordväst om Los och utgörs av en kopparkismineraliserad zon i glimmerskiffer som påvisades med kärnborrhningar av Boliden på 1930-talet (Wik m.fl. 2009). Analyser av borrhärnor upptagna av Boliden gav upp till 6,49 % koppar, 0,08 % kobolt, 30 ppm silver samt 1,6 ppm guld; medelhalten koppar för två borrhål ska ha uppgått till 6,1 %, vilket är signifikant (Anon. 1932).

Hamrarna är en kopparkisdominerad mineralisering i skarnförande metagråvacka sydost om Rullbo som upptäcktes och undersöktes av SGAB medelst borrhning och dikesgrävning under 1980-talet (Wik m.fl. 2009).

Rullbo magnetkisanledning (Tegengren 1924), kallade ”Rullbo nickelgruvor” av Blomberg (1895), ligger cirka 2 km nordost om Rullbo by och utgörs av ett par mindre gruvor eller försök på en magnetkisförande kvartsindränkt skiffer, i eller med amfibolit. Tidigare analyser av malmen ska ha givit mellan 0,57 och 2,37 % Ni, men enligt Tegengren (1924) ska ett av honom 1908 insamlat generalprov ha givit 0,39 % Ni och 0,1 % Cu och han konkluderade också att detta knappast meriterar beteckningen som ”nickelmalm”.

Ställstensbergets gruvor (Gammal- och Nygruvorna) mellan Tenskog och Nedre Lomsjöhed bröts på koppar och ska ha varit aktiva under 1700-talet och senast brutna under 1830- till 1840-talen (Blomberg 1895, Wik m.fl. 2009). Den brutna mineraliseringen utgjordes av kopparkis som förekom i kvartsrika partier och skölar i en i varierande grad glimmeromvandlad kvartsporfyrisk bergart (Wik m.fl. 2009).

Hamra gruva, någon km nordväst om Hamra, är en mindre gruva eller skärpning med sulfidmineralisering dominerad av pyrit med spår av kopparkis i en amfibolitslirig, pegmatitförande och kvartsindränkt granit (liknande mineralisering ska också ha påträffats i block sydväst om Hamra 2006; Wik m.fl. 2009).

Kronojäregruvan ligger omkring 1 km sydsydost om Hamra och är en mindre gruva eller skärpning på magnetkis- och pyritdominerad, svagt kopparkisförande sulfidimpregnation i en kvartsindränkt rödaktig granit (Wik m.fl. 2009). Den beskrivs av Blomberg (1895) som en magnetkismineralisering ”uti en qvartsgång” tillsammans med grovkristallin amfibol.

Risbergets gruvor (också kallade Risbergs gruvor) ostsydost om Hamra utgörs av järngruvor i vilka det huvudsakliga malmmineralet var magnetit; utöver denna uppträder också sulfider, främst

pyrit samt något kopparkis (Wik m.fl. 2009). Järnoxidmineraliseringen uppträder i ett amfibol-skarn med kvarvarande sliror av marmor i kontakten mellan kvartsit och glimmerrika meta-sedimentära bergarter (Wik m.fl. 2009).

Dåasgruvorna ligger omkring 4–5 km nordost om Los och är upptagna på magnetitmineraliserat skarn (delvis med associerad karbonatsten) i basisk metavulkanit längs en sträcka av cirka 2,5 km (Wik m.fl. 2009). Enligt de senare ska mineraliseringen ha undersökts med bland annat kärnborrning av Korsnäs AB under 1950-talet.

Björkbergs gruvor utgörs av tre spridda skärpningar norr och östsydost om Björkberg, vilka försöksbröts på skarnbunden magnetitmineralisering i metasedimentära bergarter (meta-argillit och kvartsit; Wik m.fl. 2009).

Provtagning och analyser

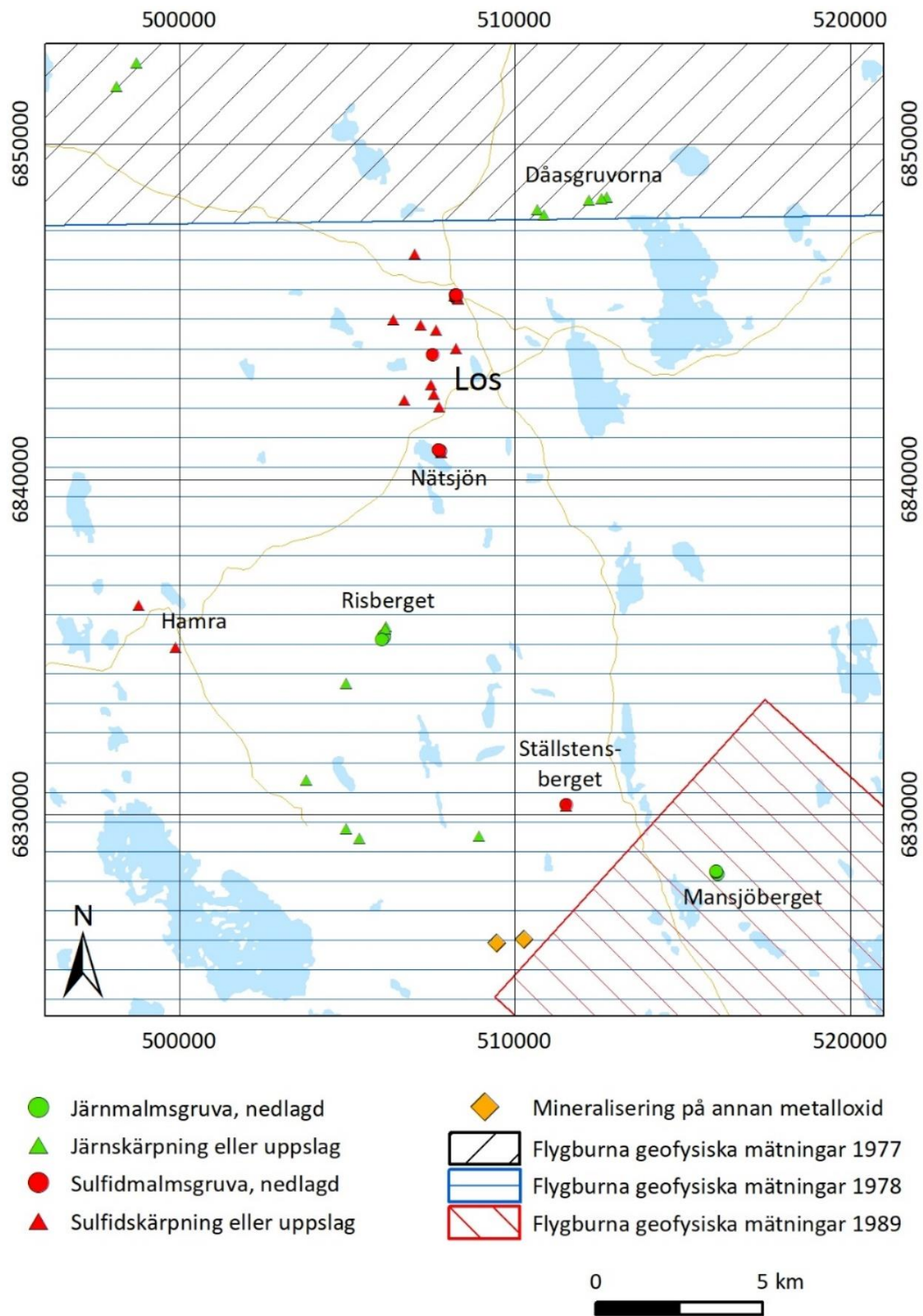
Provtagning genomfördes 2022 i och kring Los gruvor, både i varpmaterial och under jord, samt i form av slagg från Sophiendal (fig. 7D). Kemiska analyser ska genomföras på ett urval av i varierande grad mineraliserade prov och provpreparering (polerprov samt polerade tunnslip) är under färdigställande från detta material samt sådant som specifikt för detta projekt lånats in från Naturhistoriska riksmuseets samlingar samt svenska privatsamlingar.

GEOFYSIK

Tidigare arbeten

Det har tidigare genomförts fyra flygburna geofysiska mätningar av SGU och NSG över området kring Los med omnejd (fig. 8, tabell 2). De två första genomfördes 1977 och 1978 i Losområdet av SGU i öst–västlig riktning, längs parallella flygstråk med 200 m linjeseparation och på 30 m höjd över markytan. Mätningarna samlade in information rörande det jordmagnetiska fältet, markens naturliga gammastrålning och elektromagnetiska data (VLF, eng. *Very Low Frequency*) från en sändare.

Området i den sydöstra delen av figur 8 blev föremål för en flygburen geofysisk mätkampanj av NSG under 1989. Undersökningsområdet sträcker sig vidare åt sydost och det var främst grafitförekomsterna vid Voxna som var föremål för undersökningen. Mätningarna utfördes längs parallella flygstråk i ungefär nordostlig–sydvästlig riktning (43 grader). Avståndet mellan flygstråken var 200 m och flyghöjden var 30 m över markytan. Den här mätningen samlade in information rörande det jordmagnetiska fältet, markens naturliga gammastrålning, elektromagnetiska data från både VLF (två sändare) och slingram. Den fjärde och senaste flygburna mätningen över Losområdet ägde rum 2021 då SGU samlade in data över hela det geografiska området som visas i figur 8. Datamängderna som samlades in berörde det jordmagnetiska fältet, markens naturliga gammastrålning och elektromagnetiska data (VLF) från två sändare. Det sistnämnda gör det möjligt att beräkna markens skenbara resistivitet och strömtäthet oberoende av riktningen till dessa sändare. Observera att även kraftledningarna syns i det här dataunderlaget som områden med hög strömtäthet. I figur 9 och 10 visas magnetfältsanomalierna respektive markens strömtäthet över området vid Los med omnejd. Datamängderna som visas i dessa figurer baseras på den flygburna informationen som SGU samlade in under 2021.



Figur 8. Tidigare genomförda flygburna geofysiska mätningar av SGU och NSG över området vid Los med omnejd. Observera att hela det geografiska området som visas i figuren också var föremål för en flygburen mätkampanj av SGU under 2021.

Tabell 2. Datamängder som har samlats in under tidigare genomförda flygburna geofysiska mätningar över området vid Los med omnejd.

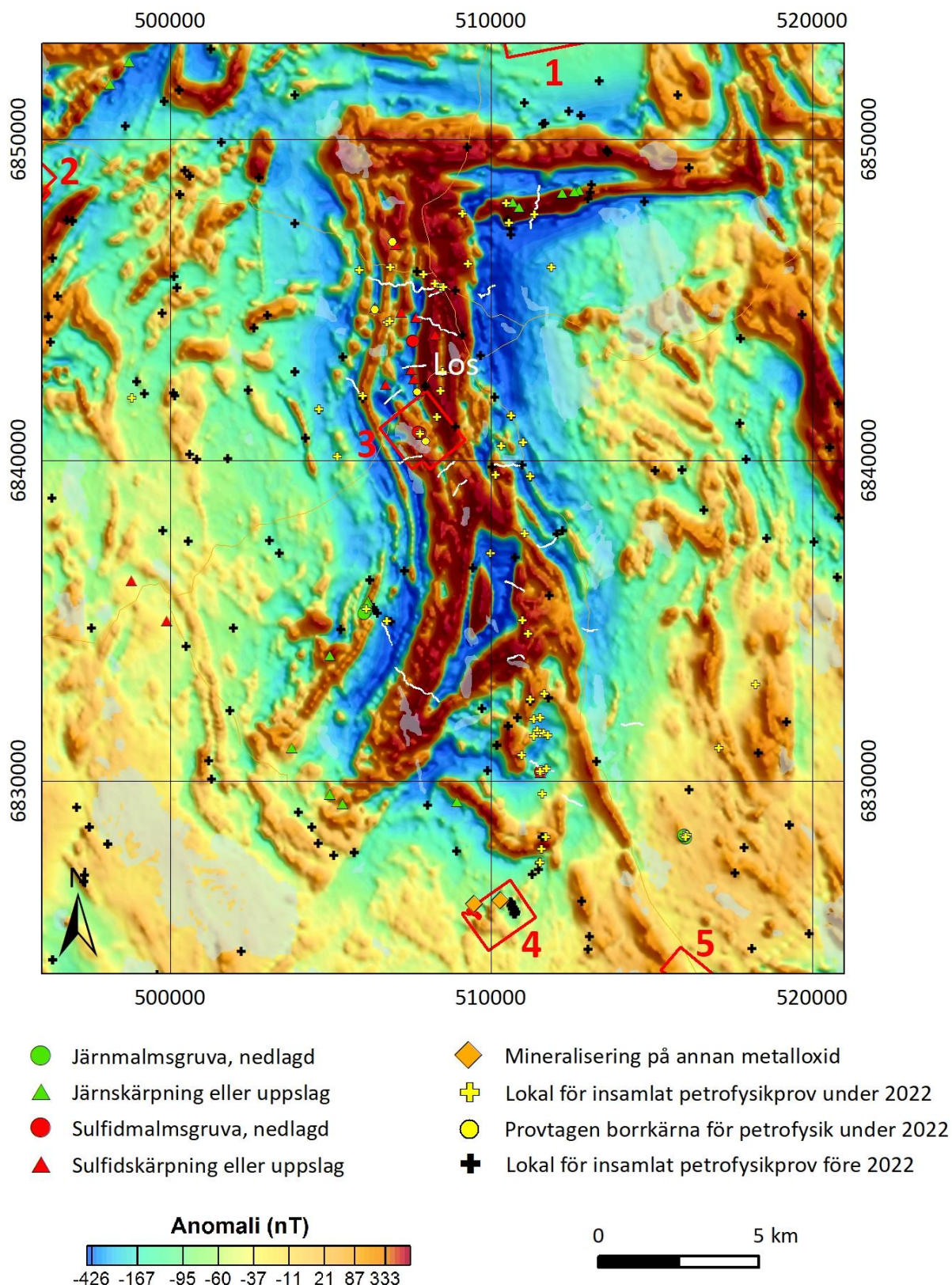
Mätår	Operatör	Insamlade geofysiska data	Flygriktning	Flyglinje-avstånd (m)	Flyghöjd över markytan (m)
1977	SGU	Magnetfält, gammastrålning, VLF (från en sändare)	Öst–väst	200	30
1978	SGU	Magnetfält, gammastrålning, VLF (från en sändare)	Öst–väst	200	30
1989	NSG	Magnetfält, gammastrålning, VLF (från två sändare), slingram	43–223 grader (cirka nordost–sydväst)	200	30
2021	SGU	Magnetfält, gammastrålning, VLF (från två sändare)	Öst–väst	200	60

Vid Los och i omgivande områden (fig. 8–11) fanns det 970 tyngdkraftsmätningar innan årets fältinsamling. De här mätningarna hade samlats in under åtta mätkampanjer mellan åren 1978 och 1995. Avståndet mellan de här mätpunkterna varierar mellan 100 m längs vissa profiler och 4 km i ett område i sydöst.

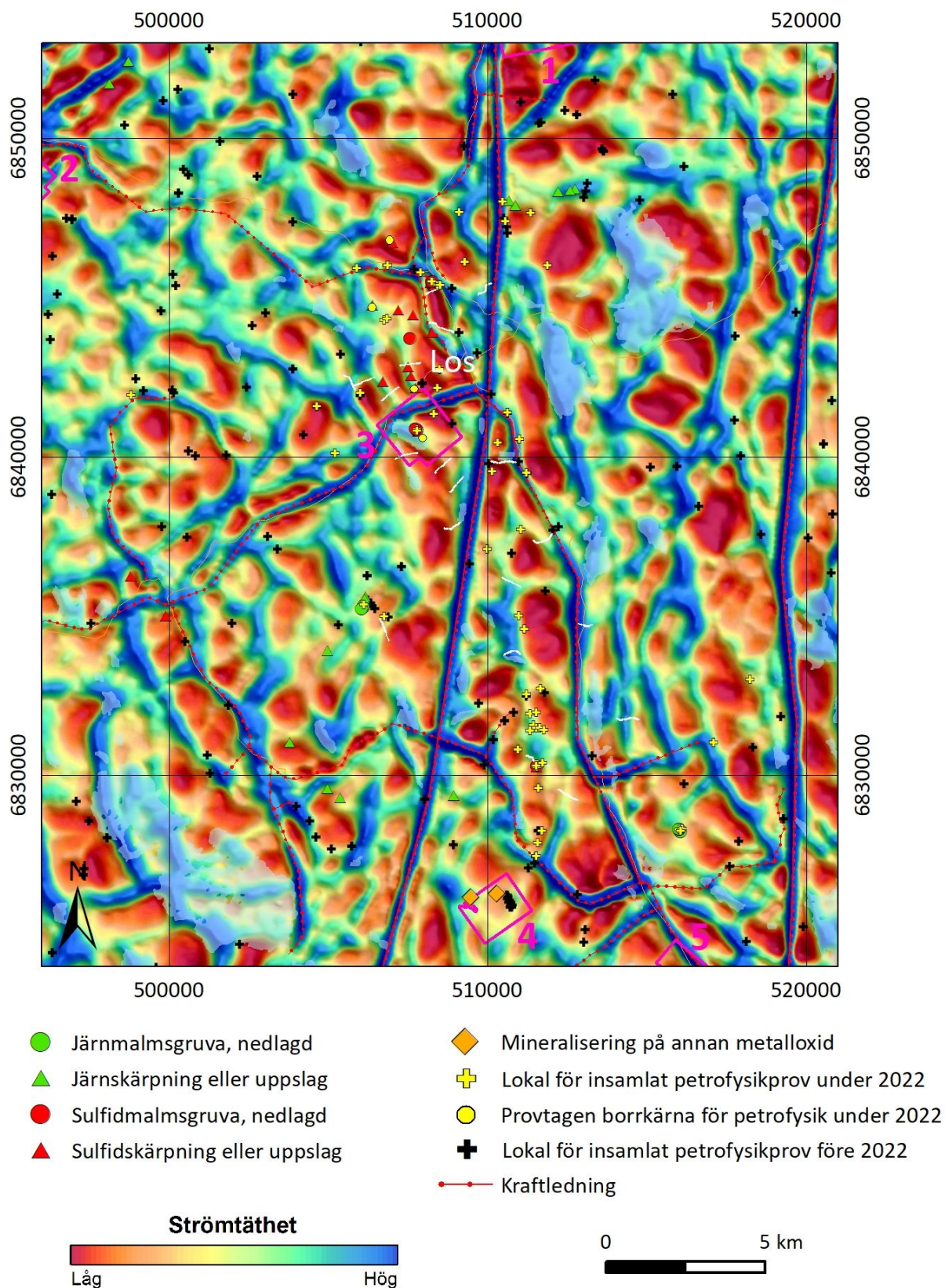
Sedan tidigare finns 184 insamlade och analyserade petrofysikprov från området vid Los med omnejd, motsvarande det geografiska området i figurerna 8–11. Lägena för dessa prov är angivna i figurerna 9–11 samt 14 och 15.

I det geofysiska dataunderlaget framträder metabasalten vid Los tydligt i både magnetfälts- och tyngdkraftsdata. Metabasalten innehåller relativt mycket magnetit och har en hög densitet. I kartan som visar magnetfältsanomalierna (fig. 9) sammanfaller utbredningen av metabasalten till övervägande del med det höganomala området som stäcker sig i nord–sydlig riktning förbi Los. Noterbart är att även felsiska vulkaniter med varierande innehåll av magnetit förekommer underordnat i det här området. Norr om Los syns utsträckningen av metabasalt i öst–västlig riktning som ett höganomalt stråk i magnetfältsunderlaget. Längs den här öst–västliga magnetfältsanomalin finns Dåasgruvorna där järn bröts tidigare. Metabasalten ger upphov till ett utpräglat massöverskott i tyngdkraftsunderlaget (fig. 11), där både den nord–sydliga utbredningen förbi Los samt den öst–västliga utlöparen norr om Los kan observeras.

På ömse sidor om metavulkaniterna domineras berggrunden av olika typer av granitoider eller metasedimentär berggrund. Eftersom de här bergarterna generellt innehåller lägre halter av magnetit än metavulkaniterna framträder de över lag som låganomala områden i kartan över magnetfältsanomalierna (fig. 9). De lägre densiteterna hos främst graniterna, jämfört med metabasalterna, och att de sannolikt har ett betydande djupgående, gör att deras utbredning syns som framträdande massunderskott i tyngdkraftsunderlaget (fig. 11).



Figur 9. Karta över magnetfältsanomalierna vid Los med omnejd. Anomalierna är uttryckta som differensen mellan det polreducerade magnetiska totalfältet och en analytisk uppåträkning till 1 km för att framhäva mer ytnära källor till anomalierna. Dataunderlaget baseras på flygburna magnetfältsmätningar utförda av SGU under 2021. Vita linjer visar profiler för magnetfältsmätningar som utfördes på marken under 2022. De röda numrerade polygonerna visar utbredningen för tidigare genomförda yttäckande markbundna magnetfältsmätningar (tabell 3).



Figur 10. Karta över markens strömtäthet vid Los med omnejd. Strömtätheten är beräknad från de flygburna VLF-mätningarna som SGU genomförde 2021. Vita linjer visar profiler för VLF-mätningar som utfördes på marken under 2022. De rosa numrerade polygonerna visar utbredningen för tidigare genomförda yttäckande elektriska eller elektromagnetiska markmätningar (tabell 3).

I kartan över markens strömtäthet (fig. 10) syns flera områden med högre elektrisk ledningsförmåga (hög strömtäthet). Detta kan bero på vattenförande strukturer, sprickzoner eller elektriskt ledande mineraliseringar i berggrunden. Även viss infrastruktur kan ge upphov till sådana signaturer i dataunderlaget.

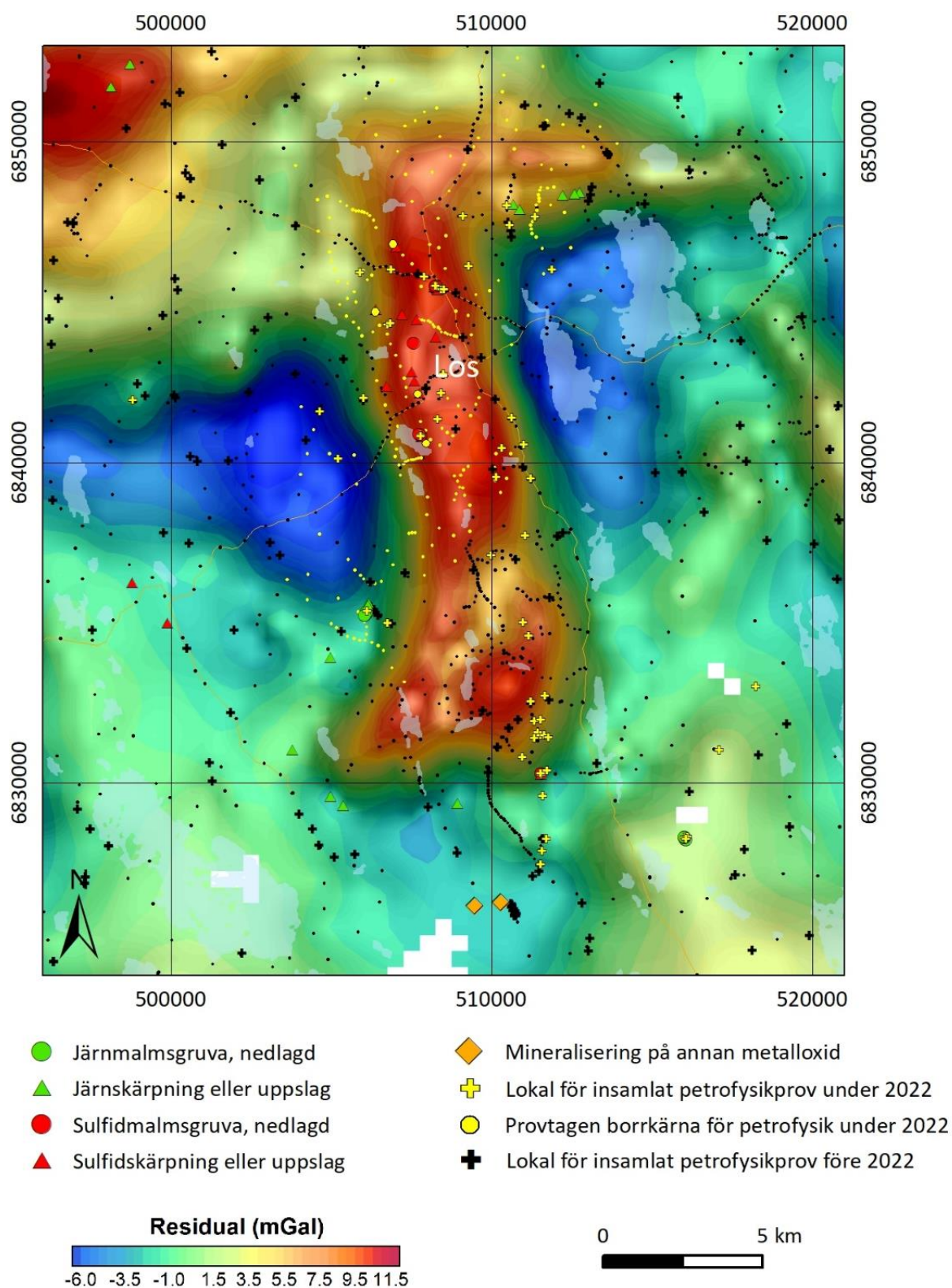
Det har tidigare genomförts mätpunktstäta, markgeofysiska undersökningar i flera områden kring Los (fig. 9, 10, tabell 3). Ett av områdena är beläget vid Nätsjön som befinner sig cirka 3 km sydsydväst om Los tätort. Vid Nätsjöns östra strand finns en tidigare koppargruva som bröts under 1800-talet (Falk 1983, Johansson 1984; se också ovan, under ”Mineraliseringar”). De sista försöken till gruvdrift avbröts under 1860-talet när man nådde en förkastning som klippte av malmen. Då hade gruvan nått ungefär 30 m djup. Under början av 1980-talet genomfördes geofysiska mätkampanjer i området för att försöka spåra malmens fortsättning söderut. De här mätningarna utfördes längs flera parallella profiler, ungefär 1,5 km långa och med ett inbördes avstånd mellan 40 och 80 m. Längs profilerna gjordes mätningar med 20 m mellanrum, under vilka bland annat magnetfälts- och slingramsdata samlades in. I figurerna 14 och 15 visas resultatet från de mätningarna vid Nätsjön.

Tabell 3. Information rörande tidigare insamlade markgeofysiska data i området vid Los med omnejd. Numreringen av polygonerna motsvarar de som finns i figur 9 och 10.

Polygon nr	Område	Operatör	Insamlade geofysiska data	Mätår
1	Romberget	SGU	Magnetfält, VLF	1979
2	Rullbo	NSG	Magnetfält, slingram	1983
3	Nätsjön	NSG	Magnetfält, slingram, IP, resistivitet	1983
4	Hästtjärn	NSG	Magnetfält, IP, resistivitet	1982
5	Mattsmyra	NSG	Magnetfält, slingram	1990, 1992

Arbeten 2022

Vid Los med omnejd, motsvarande kartomfånget i figurerna 8–11, förtätades tyngdkraftsinformationen med 231 mätpunkter under 2022. Tyngdkraftsmätningarna fokuserades till den norra delen av metabasalten i området, men även regional förtätning i direkt anslutning till denna ägde rum. Över vissa framträdande magnetfältsanomalier, identifierade från de flygburna mätningarna, genomfördes profilmätningar med cirka 100 m avstånd mellan mätpunkterna. I figur 11 visas det residuala tyngdkraftsfältet, baserat på samtliga mätpunkter, över Los med omnejd.



Figur 11. Karta över det residuala tyngdkraftsfältet vid Los med omnejd. Det residuala tyngdkraftsfältet är uttryckt som differensen mellan Bougueranomalin och en analytisk uppåträkning till 3 km för att framhäva mer ytnära massförhållanden. Små svarta prickar representerar tidigare utförda tyngdkraftsmätningar medan små gula prickar visar lägena för 2022 års tyngdkraftsmätningar.

Det tolkningsgeofysiska fältarbetet vid Los med omnejd under 2022 fokuserades på profil-mätningar med magnetometer och VLF-instrument (WADI) samt provtagning av berggrunden för petrofysisk analys. Mätningarna med magnetometer och VLF-instrument bedrevs dels i närheten av befintliga järn- eller sulfidmineraliseringar, dels över deformationszoner för att undersöka deras geometri. Den informationen kommer sedan att användas i ett struktur-geologiskt arbete för att förstå berggrundens uppbyggnad.

Under 2022 genomfördes totalt 22 markbundna profil-mätningar med magnetometer i området kring Los. Utbredningen för dessa mätningar är angivna i figur 9. Antalet markbundna profil-mätningar med VLF-instrument uppgick till 21. I figur 10 finns dessa mätprofiler markerade. Totalt samlades det in 72 berggrundsprov för petrofysisk analys. Lokalerna för dessa provtagningar finns markerade i figurerna 9–11 samt 14 och 15. Utöver det så provtogs fyra borrhärdar från området för petrofysisk analys. Borrhärdarna finns i SGU:s borrhärdarkiv i Malå. De provtagna borrhärdarnas lägen finns markerade i figurerna 9–11 samt 14 och 15.

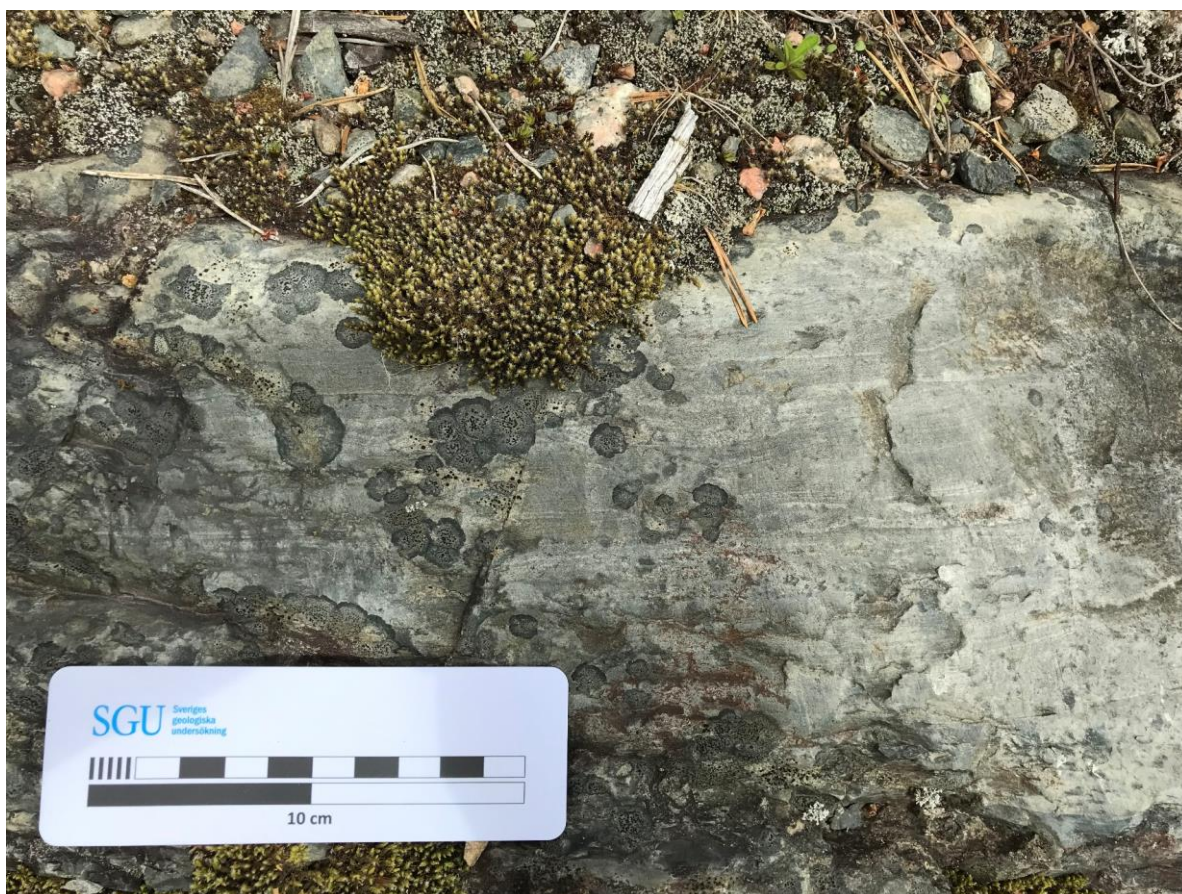
Vid Los koboltgruva provtogs den mandelförande metabasalten för petrofysisk analys (fig. 12). Gruvan är belägen i den högmagnetiska metabasalten, vilken framträder väl i kartan över magnet-fältsanomalierna (fig. 9). Provtagningen ägde rum både från häll och från en av varphögarna vid gruvan. Bergarten har en relativt hög halt magnetit som också avspeglar sig i den magnetiska susceptibiliteten vilken uppmättes inom intervallet $1\,240\text{--}12\,900 \times 10^{-5}$ SI ($n = 18$), med medianvärdet $6\,340 \times 10^{-5}$ SI.



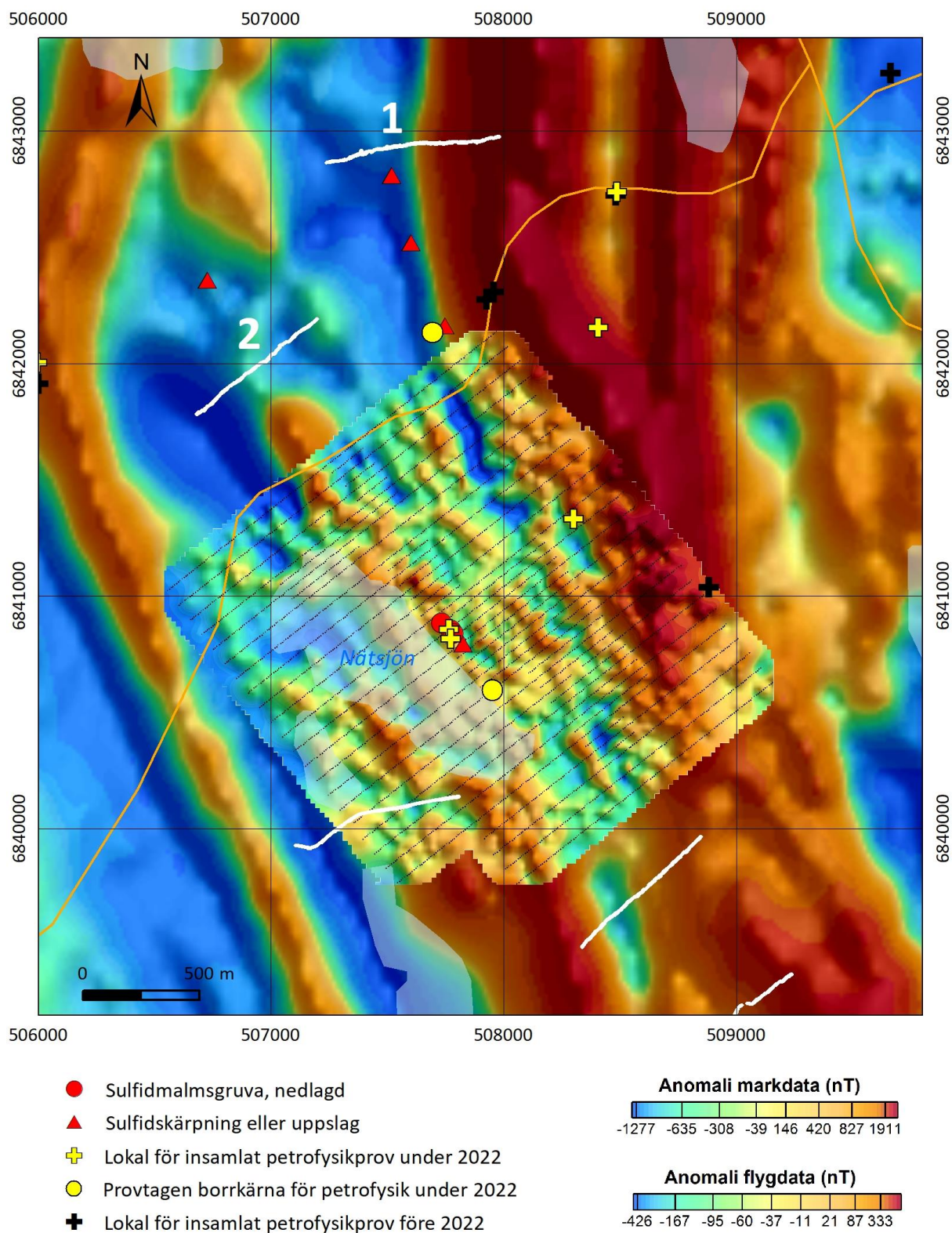
Figur 12. Mandelförande metabasalt med hög magnetisk susceptibilitet vid Los koboltgruva (6845381/508409). Foto: Johan Jönberger.

Knappt 2 km söder om Los tätort finns ett stråk med relativt lågmagnetisk metasedimentär berggrund (fig. 13), omgivet av metabasalt. Det här metasedimentära stråket sträcker sig cirka 1 500 m i nord-sydlig riktning och 200 m i öst-västlig riktning. Ett petrofysikprov samlades in från den metasedimentära bergarten vars magnetiska susceptibilitet uppmättes på hälletan till $178\text{--}1\,160 \times 10^{-5}$ SI ($n = 10$), med medianvärdet 475×10^{-5} SI.

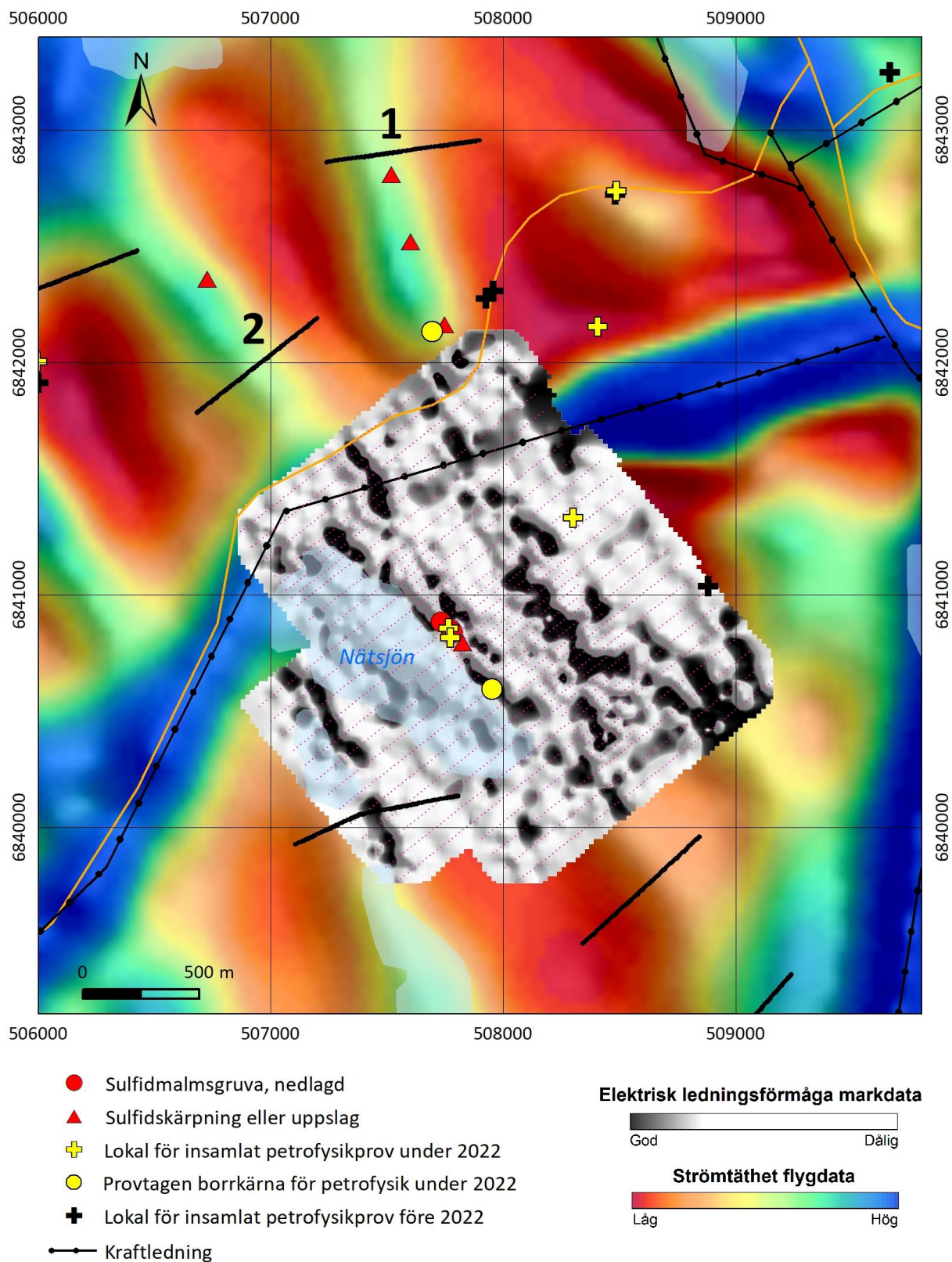
Vid Nätsjön genomfördes flera markprofilmätningar med både magnetometer och VLF-instrument. Två av dessa profilsträckningar finns norr om Nätsjöområdet (fig. 14, 15) där mätningar gjordes över elektriskt ledande zoner, identifierade från de flygburna geofysiska mätningarna. I närheten av profilsträckningarna finns också sulfidmineraliseringar. I figurerna 16 och 17 visas magnetfältmätningar och resistivitetsmodell längs dessa profiler. I modellerna som visar markens resistivitet syns längs båda profilerna punktformade, högkonduktiva strukturer som kan vara sulfidmineraliseringar.



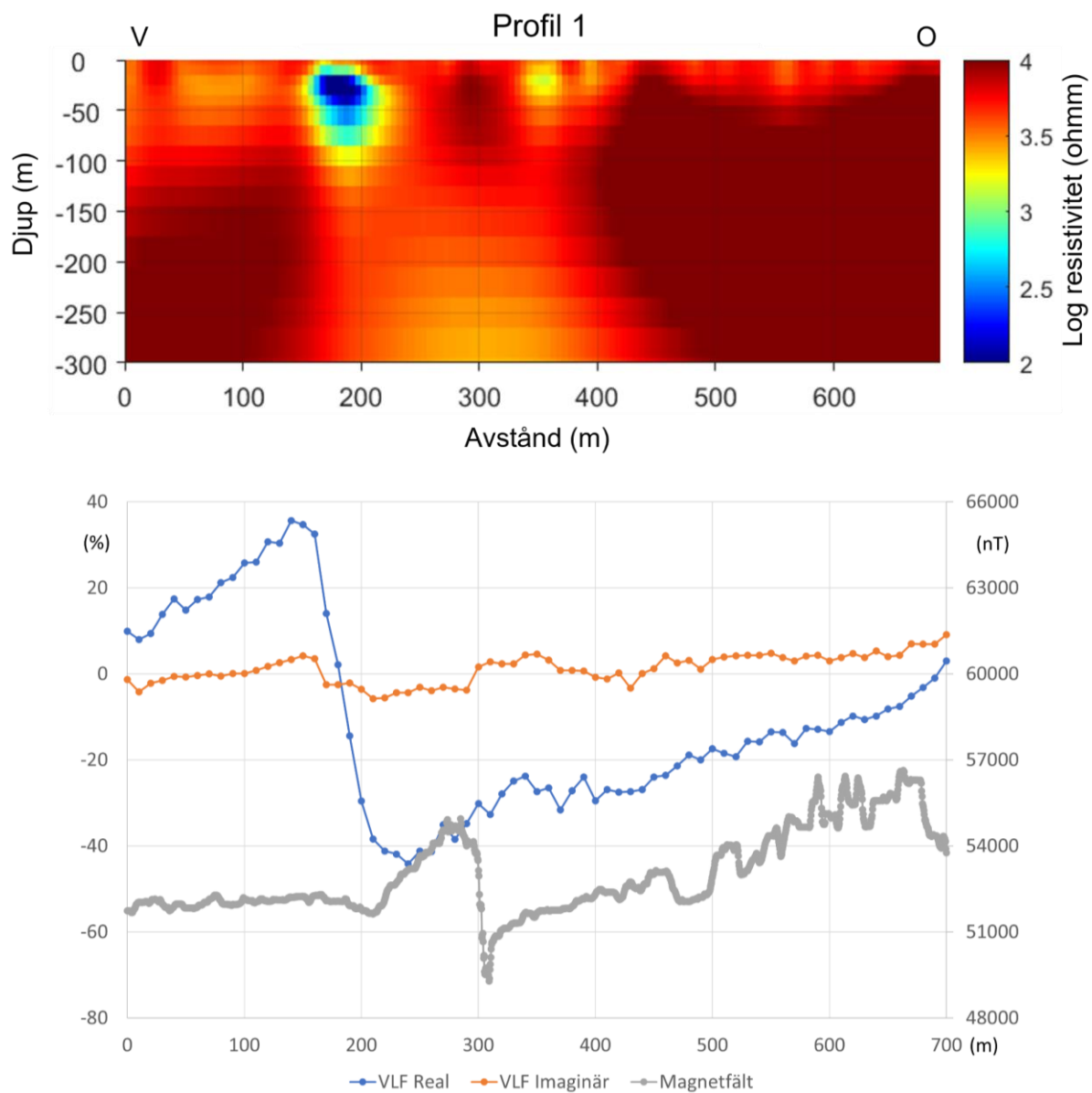
Figur 13. Metasedimentär berggrund med relativt låg magnetisk susceptibilitet. Bergarten uppträder som ett smalt stråk i metabasalten (6842154/508408). Foto: Johan Jönberger.



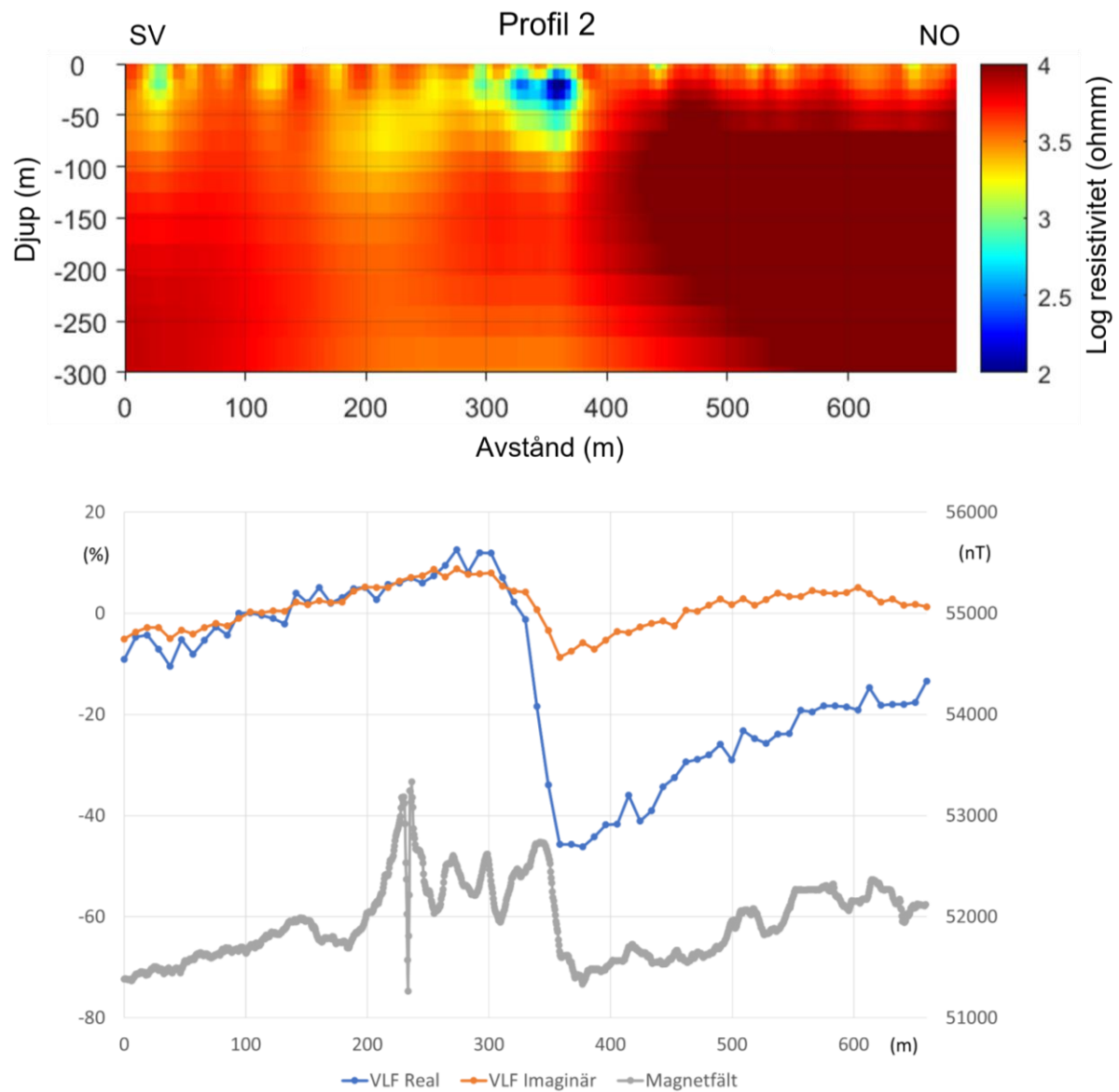
Figur 14. Karta över magnetfältsanomalier vid Nätsjön baserat på både markbundna och flygburna magnetfältsmätningar. Svarta linjer visar mätpunkternas lägen för de markbundna mätningarna som gjordes 1983. Vita linjer visar profiler där magnetfältsmätningar utfördes på marken under 2022. Resultaten från de numrerade mätprofilerna finns redovisade i texten. Bakgrundsbilden visar magnetfältsanomalier baserat på SGU:s flygburna mätningar under 2021.



Figur 15. Karta över markens elektriska ledningsförmåga vid Nättsjön baserat på både markbundna slingrammätningar och flygburna VLF-mätningar. Den monokroma bilden visar imaginärdelen från slingrammätningarna där mörkare områden indikerar elektriskt ledande zoner i marken. Rosa punkter visar mätpunkternas lägen för slingrammätningarna som utfördes 1983. Svarta linjer visar profiler där VLF-mätningar utfördes på marken under 2022. Resultaten från de numererade mätprofilerna finns redovisade i texten. Bakgrundsbilden visar markens strömtäthet baserat på SGU:s flygburna VLF-mätningar under 2021.



Figur 16. Tvärprofil som visar markens resistivitet ner till 300 m under markytan. Resistiviteten är beräknad genom inversion av VLF-data längs markprofil 1 i figur 14 och 15. Diagrammen visar resultat från mätning av magnetiskt totalfält och elektromagnetiskt fält (VLF) längs samma profil.



Figur 17. Tvärprofil som visar markens resistivitet ner till 300 m under markytan. Resistiviteten är beräknad genom inversion av VLF-data längs markprofil 2 i figur 14 och 15. Diagrammen visar resultat från mätning av magnetiskt totalfält och elektromagnetiskt fält (VLF) längs samma profil.

REFERENSER

- Anon., 1932: Västerbottens malmfyndigheter jämte Svartliden och Lavers fynd i Norrbotten och Los i Gävleborgs län. Opublicerad rapport BRAP 00422, 42 s.
- Anon., 1965: Discoverer of nickel: Axel Fredrik Cronstedt. Nature No. 5007 (October 16, 1965), 229.
- Bayliss, P., 2000: Glossary of obsolete mineral names. The Mineralogical Record Inc., Tucson. 235 s.
- 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.
- Bergman, S., Jonsson, E., Jönberger, J. & Luth, S., 2022: Mineraliseringar i området kring Enåsen – sammanfattning av pågående undersökning 2021. SGU-rapport 2022:05, 29 s.
- Berzelius, J., 1824: Jahres-Bericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften. Dritter-vierter Jahrgang. Heinrich Laupp, Tübingen. 270 s.
- Blengini, G.A., Latunussa, C.E.L., Eynard, U., Torres de Matos, C., Wittmer, D., Georgitzikis, K., Pavel, C., Carrara, S., Mancini, L., Unguru, M., Blagoeva, D., Mathieux, F. & Pennington, D., 2020: European commission, study on the EU's list of critical raw materials, Final Report. 152 s.
- Blomberg, A., 1895: Praktiskt geologiska undersökningar inom Gefleborgs län. *Sveriges geologiska undersökning C* 152. 209 s.
- Clark, A. M., 1993: Hey's mineral index. Third edition, Natural History Museum Publications, Chapman & Hall. 852 s.
- Cronstedt, A. F., 1751: Rön och försök gjorde med en malm-art, från Los kobolt grufvor i Färila socken och Helsingeland. *Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar* 12, 287–292.
- Dana, E. S., 1914: *The system of mineralogy by James Dwight Dana. Descriptive mineralogy*. Sixth edition, updated to 1909. John Wiley & Sons, Inc., New York. 1134 s. + app.
- Delin, H. & Aaro, S., 2000: Berggrundskartan 15 F Voxna NV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ai* 140.
- Enghag, P., 1998: *Jordens grundämnen och deras upptäckt. Några viktiga teknikmetaller*. Industrielitteratur AB, Stockholm. 248 s.
- Erdmann, E., 1853: *Lärobok i mineralogien*. Zacharias Haeggström, Stockholm. 480 s.
- Falk, L., 1983: Prospekteringsrapport 15F Voxna NV. Uppföljande arbeten, Nätsjöområdet. *Sveriges geologiska undersökning PRAP* 83546, 29 s.
- Flink, G., 1910: Bidrag till Sveriges mineralogi (I). Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi 3, 1–80.
- Grip, E., 1961: Geology of the nickel deposit at Lainijaur in northern Sweden and a summary of other nickel deposits in Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C* 577. 79 s.
- 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.
- Hintze, C., 1904: *Handbuch der Mineralogie*. Erster Band. Verlag von Veit & Co., Leipzig. 1208 s.
- Hisinger, W. 1826: *Versuch einer mineralogischen Geographie von Schweden*. Umgearbeitete und Vermehrte Auflage. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig. 250 s.
- Holmkvist, E., 1941: *Bergslagens gruvspråk*. A.-B. Lundequistska Bokhandeln, Uppsala. 105 s.
- 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.
- 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.
- IMA, 2023: The new IMA list of minerals. International Mineralogical Association, Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification, 232 s.
- Johansson, L., 1984: Nätsjön, geofysisk mätning. *Sveriges geologiska undersökning PRAP 84058*, 14 s.
- Kissin, S. A., 1992: Five-element (Ni-Co-As-Ag-Bi) veins. *Geoscience Canada* 19 (3), 113–124.
- Lundqvist, T., 1968: The Loos-Hamra region. *Sveriges geologiska undersökning Ba* 23, 255 s.
- Nilsson, B., 1989: Geokemisk uppföljning inom Los-området 1989. *SGAB PRAP 89532*, 15 s.
- Nilsson, B., Luppichini, E.-L. & Ros, F., 1988: Hamrångefjärden-Los, *SGAB PRAP 88503*, 71 s.
- Ramdohr, P., 1980: *The ore minerals and their intergrowths, volume 2*. 2nd English edition. Pergamon Press, Oxford. 1205 s.
- Rinman, S., 1789: *Bergverks Lexicon*. Johan A. Carlbohm, Stockholm. 1248 s.
- Ros, F., Claesson, L.-Å., Ehrenborg, J. & Svensson, T., 1986: Regional guldprospektering i Hälsingland. Sveriges Geologiska AB, Division prospektering, *PRAP 86514*. 93 s.
- SGNK, 2023: *Geologiska namn i Sverige*, Svenska geologiska namnkommittén. <www.sgu.se/om-geologi/geologiska-namn-i-sverige/> Åtkommen 21 mars 2023.
- SGU, 2021: Berggrund 1:1 miljon – databas. Södra Norrland. 2021-11-25.
- SGU, 2022a: Berggrund 1:50 000–1:250 000 – databas. Losområdet. 2022-10-10.
- SGU, 2022b: Mineralresurser – databas. Losområdet. 2022-10-10.
- Tegengren, F., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 17, 406 s.
- Tilas, D., 1752: Loos Coboldverck i Ferilla sochn och Helsingland 1752. *Opublicerad handskrift*.
- Welin, E., 1966: Two occurrences of uranium in Sweden – the Los cobalt deposit and the iron ores of the Västervik area. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 87, 492–508.
- Wik, N.-G., Albrecht, L., Bergman, S., Kübler, L. & Sundberg, A., 2009: Malmer, industriella mineral och bergarter i Gävleborgs län. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 130, 310 s.
- von Eckermann, H., 1936: The Loos-Hamra region. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 58, 129–343.