

Kvastar av decimeter-stora spodumenkristaller i LCT-pegmatit E (se kartan på motstående sida).



FOTO: KARIN HÖGDAHL

# Bergby – Sveriges nya litium-cesium-tantalpegmatitfält

Efter ett blockfynd gjort av studenter på fältkurs 2007 i Bergbyområdet i sydöstra delen av Gävleborgs län pågår en undersökning med fokus på dess litiummineraliserade granitpegmatiter. Sedan den första påträffades i fast klyft 2016 är nu inte mindre än tio olika litiumrika granitpegmatitsystem kända i området.

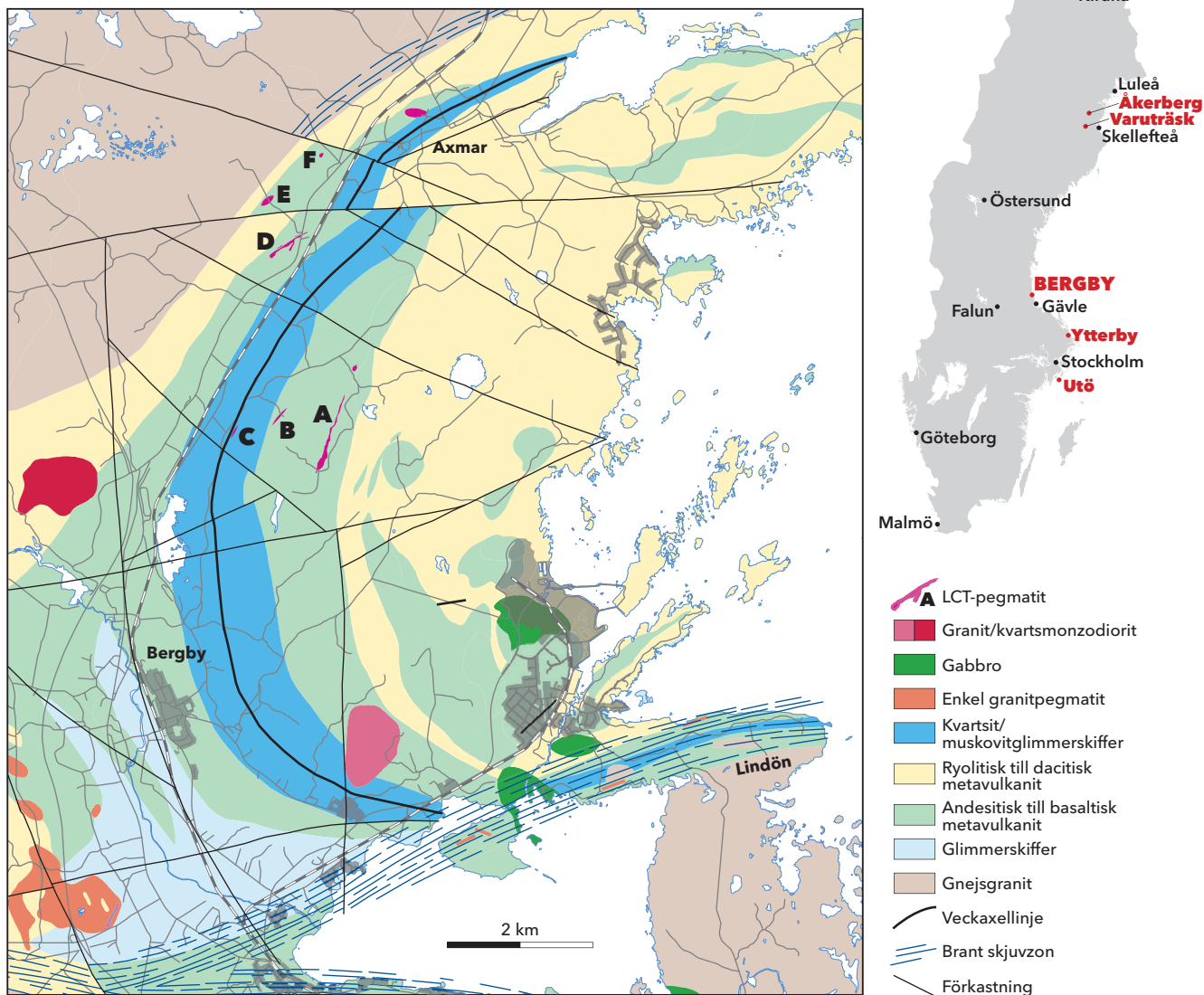
TEXT: KARIN HÖGDAHL, ERIK JONSSON, MAGNUS LEIJD, ANDERS ZETTERQVIST & PABLO PETRI

**ETT FORSKNINGSPROJEKT** som påbörjades våren 2023 ska ta fram ytterligare kunskap om Bergbypegmatiterna och liknande komplexa litium-cesium-tantalrika granitpegmatiter i Sverige och utveckla metodik för att hitta och undersöka dem.

De märkliga gångbergarter som kallas granitpegmatiter är både fascinerande och de mest diversifierade av magmatiska bergarter. Inte nog med att de kan variera i kornstorlek mellan ytterst finkorniga och extremt grovkorniga, de är dessutom inte sällan anrikade på ovanliga grund-

ämnen, varav flera har sin enda ekonomiskt viktiga förekomst i denna unika bergartstyp.

Den stora geokemiska variationen och rikedomen på udda grundämnen har förstås också lett till att granitpegmatiter kan vara mycket mineralogiskt varierade. Till exempel



är uppemot 60 olika mineral kända från den klassiska Varuträskpegmatiten i Västerbotten. Och från granitpegmatiterna på Utö i Stockholms södra skärgård och deras reaktionszoner i sidoberget är 50–60 olika mineral kända.

Sverige är faktiskt välkänt internationellt för sina granitpegmatiter, inte minst eftersom flera av dem spelat en stor roll inom kemisk, mineralogisk och geologisk upptäckthistoria. Granitpegmatiten i Ytterby nära Vaxholm är en ohotad rekordhållare globalt vad gäller antalet upptäckta nya grundämnen, framför allt i form av sällsynta jordartsmetaller (yttrium, ytterbium, terbium, erbium som alla fått namn efter platsen) men också ”pegmatitmetallen” tantal.

Men det finns fler exempel: Granitpegmatiterna i Falutrakten var bland de först dokumenterade granitpegmatiterna med sällsynta mineral. De stora pegmatitgångarna vid järngruvorna på Utö stod både för upptäckten av alkalimetallen litium och av ett flertal mineral som idag har Utö som sin globala typlokal. Bland dessa finns litium-aluminiumsilikaterna spodumen och petalit. Utö är också global typlokal för petalit-subtypen av litium-cesiumtantalrikade granitpegmatiter (LCT-pegmatiter).

Varuträsk var under många decennier den absolut mest välundersökta granitpegmatiten i världen genom de detaljerade arbeten som utfördes av professor Percy Quensel och hans

**Ovan:** Geologisk karta över Bergbyområdet (modifierad från SGU:s databaser) med identifierade LCT-pegmatiter markerade med bokstäverna A-F.

studenter vid dåvarande Stockholms högskola mellan 1930- och 1950-talen. Det finns också flera andra, mindre välkända litiumförande pegmatiter i Sverige som Per Nysten nyligen beskrivit i Geologiskt forum 117.

### Kritiska metaller och mineral i litiumpegmatiter

Bakgrunden till intresset för litiumpegmatiter är givetvis det dramatiskt ökande behovet av litium för batteritillverkning i samband med elektrifieringen av transportsektorn.

Litium finns sedan 2020 på EU:s lista med kritiska råmaterial. Efterfrågan på litium förväntas att åtminstone fördubblas inom de närmaste fem åren och självförsörjningsgraden inom EU är mycket låg. Det finns idag inte någon europeisk produktion av litium av batterikvalitet.

Ungefär 90 procent av världspoduktionen kommer från Australien, Chile och Kina, samt en inte obetydlig mängd från Argentina och Brasilien. Kina står också för mer än hälften av förädlingen och upparbetningen av litiumråvaran till batterier. Importberoendet är alltså stort.

En viktig källa till litium är just LCT-pegmatiter, som kallas så efter grundämnena litium, cesium och tantal, vilka är anrikade i denna typ av granitpegmatit. Det är dock inte bara litium som är intressant. Tantal ingår i all möjlig elektronik som styr t.ex. krockkuddar och ABS-bromsar. Dessutom finns andra kritiska metaller som niob, beryllium och skandium i vissa typer av granitpegmatiter.

Fältspat, som är ett av jordskorpans vanligaste mineral, finns sedan 2023 med på EU:s lista över kritiska metaller och mineral. Det man avser då är fältspat med den renhet som

industrin efterfrågar. I granitpegmatiter förekommer ofta grovkristallin fältspat som kan vara ekonomiskt lönsamt att ta till vara. Detsamma gäller kvarts för framställning av kiselmetall (läs mer om kisel på s. 4). Idag framställs sådan framför allt av kvartssand och hydrotermalt utfälld kvarts, men intresset för pegmatitkvarts har ökat på senare år.

### Fynd och upptäckter i Bergby

Det första fyndet av litiummineral i Bergbyområdet gjordes av en grupp studenter under en berggrundsgeologisk fältkurs. Fyndet var ett handbollsstort block med en halv decimeter stor kristall av litiumpyroxenen spodumen, som är det globalt sett viktigaste malmmineralet för litiumproduktion ur fast berg. Fyndet skickades in till Mineraljakten i Gävleborgs län och erhöll då tredje pris under prisutdelningen senare samma år. Blockfyndet ledde till att prospekteringsbolag fick upp intresset för området och det sammanföll i tid med ett ökande globalt intresse för litium.

Ursprungligen var endast en pegmatitgång i fast klyft känd (nära blockfyndet), och denna bedömdes vara en simpel granitpegmatit uppbyggd av i huvudsak kvarts och fält-

spat. Detta visade sig dock snart vara fel då geokemiska analyser av pegmatiten gav förhöjda halter av både litium (0,5 viktprocent  $\text{Li}_2\text{O}$ ) och tantal (upp till 800 ppm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ).

Därefter hittades ytterligare en pegmatithäll och under den första borrhkampanjen 2017 påträffades spodumen både som större ljusgröna kristaller och som en sockrig sammanväxning med kvarts, så kallad SQUI (*spodumene quartz intergrowth*).

Spodumen i håll identifierades så sent som 2021 i samband med motsvarande fältkurs som 2007. Spodumen är i regel ganska lätt att få syn på med sin karaktäristiska gröngrå färg, tendens till prismatiska platta kristaller och mycket tydliga spaltning. Kristaller med en längd över 30 cm har påträffats, främst i block.

**Vänstra bilden:** Foto i korspolariserat påfallande ljus av en förhållandevis stor kristall av ett tantalitmineral (mörka partier) som delvis ersatts av ett mikrolitmineral (möjliggen oxykalciummikrolit) som genomlysbara, ljusa partier.

**Högra bilden:** Magnus Leijd med ett block som nästan uteslutande består av en singelkristall av litium-aluminiumsilikatet petalit.

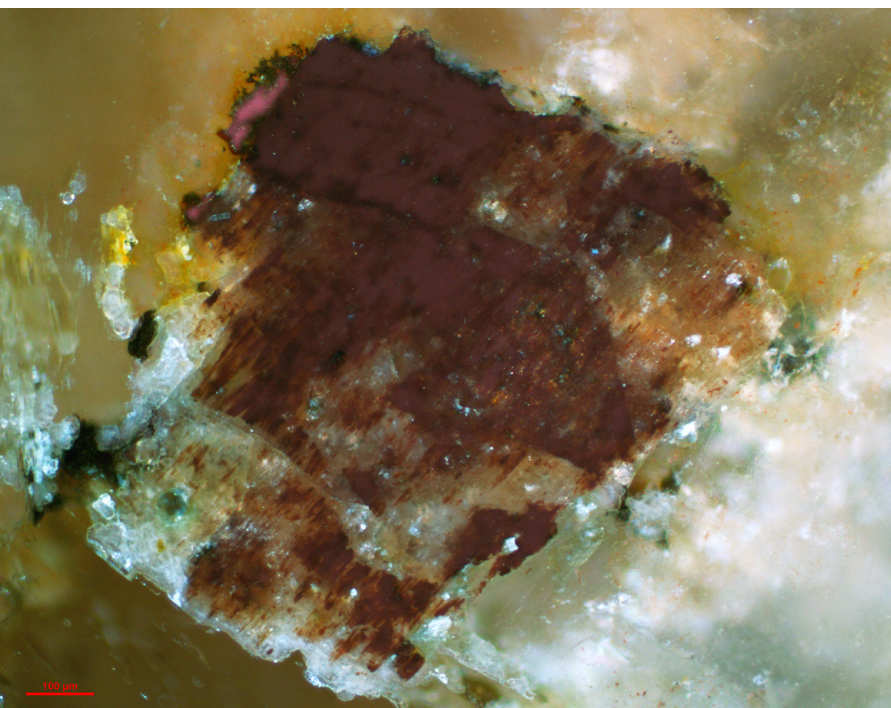


FOTO: ERIK JONSSON.

**Till höger:** Kärnborrning på LCT-pegmatit D i maj 2023.

Petalit, som också är ett potentiellt viktigt litiummalmineral, är mer anonymt och kan med sin vita färg och spaltning lätt misstas för fältspat. Petalit påvisades i block först 2016 (med analytisk bekräftelse) trots att den är mycket vanlig i blockmaterialet i området kring det ursprungliga spodumenfyndet. Mineralogiska undersökningar av dessa block visar att de till 70 procent består av kvarts och fältspat och att mängden spodumen och petalit utgör ca 10,5 respektive 5 procent. De största hittills observerade petalitkristallerna i blockmaterialet är över 20 cm.

### Discoverypegmatiten

Den först uppborrade pegmatiten har kommit att kallas *Discoverypegmatiten*. Den stupar flackt åt väster och är 10–25 m bred, åtminstone 800 m lång och fortsätter till ett djup av minst 50 m under markytan, men är öppen mot djupet. Förutom spodumen och petalit finns en mindre andel litium även i muskovit och turmalin och i små volymer i Li-Mn-Fe-fosfater, amblygonit-montebrazitmineral (litium-aluminiumfosfater) och cookeit (en litiumklorit).

Discoverypegmatiten är inte bara rik på litium. I enstaka borrhål har också höga halter av cesium konstaterats och cesiummineralet pollucit (cesium-aluminiumsilikat) har identifierats. Förekomsten av pollucit visar att denna granitpegmatit tillhör den allra mest fraktionerade typen av LCT-pegmatiter. Dessutom finns förhöjda tantalhalter, och flera olika tantal-niobrika oxidmineral tillhörande kolumbitsubgruppen, tapiolitgruppen och mikrolitgruppen har påvisats.

### Värdbergart och områdets geologi

De LCT-pegmatiter som vi hittills känner till i Bergby förekommer som gångar i veckade och metamorfoserade ytbergarter. Den äldsta av dessa, en finkornig glimmerskiffer som ställvis har cordierit-, andalusit- eller sillimanitporfyroblastar, har i håll bara påträffats i områdets södra delar.



FOTO: KARIN HÖGDAHL

Stratigrafiskt över glimmerskiffern förekommer olika typer av ungefär 1,90 miljarder år gamla metavulkaniska bergarter med allt från ryolitiska till basaltiska sammansättningar.

Äldst är ursprungligen vattenavsatta ryolitiska och dacitiska askor och annat pyroklastiskt material. I dessa finns inlagrade karbonathorisonter som ställvis omvandlats till skarn. Till de tidiga vulkaniska bergarterna räknas också en massiv, fragmentförande kvartsporfyr som tolkats som en subvulkanisk intrusion.

Med tiden blev utbrottsprodukterna mer mafiska och utgörs av omvandlade andesiter och basalter som avsatts både som aska och lava. Välbevarade kuddlavor är relativt vanliga liksom vulkaniska breccior, lapilli och uppbrutna lavafloöden.

Efter ett tidsgap på tiotals miljoner år avsattes de yngsta ytbergarterna i området som sand och leror vilka senare omvandlats till kvartsit respektive muskovitskiffer. I kvartsiten finns korsskiktning och torksprickor bevarade som båda visar att den ursprungliga sanden sedimenterat i en strandnära miljö. Förekomsten av klargrön kromförande glimmer ("fuchsit") i kvartsiten tyder på att

källan till sedimenten även omfattat kromrika mafiska bergarter.

Ytbergarterna veckades under två olika deformationfaser. Den första veckningen bildade en synklinal (med tillhörande överskjutningar) som är överstjälpd åt väster. Denna har i sin tur veckats som ett östligt stupande öppet veck. Senare plastisk deformation för ca 1,80 miljarder år sedan har påverkat utkanten av detta stora veck med bildning av kilometerbredda skjuvzoner.

Utmed den välblottade Lindö-zonen i söder förekommer ett stort antal pegmatiter, inklusive spodumenförande varianter, som samtliga är mer eller mindre påverkade av skjuvningen. Detta ger alltså en fingervisning om åldern på dessa litiumförande pegmatiter.

Axmarzonen i norr är endast sparsamt blottad, men har genomtivrats på djupet i samband med prospekteringsborrning i områdets norra delar. Även här är de observerade LCT-pegmatiterna plastiskt deformationerade.

Utöver granitpegmatiter finns ett antal mindre intrusioner i ytbergarterna i Bergby som alla bildats efter veckning och metamorfos, men ännu finns inga säkra åldersbestämningar av dem. Bland intrusionerna ingår



FOTO: LARS GUSTAFSSON

**Ovan:** På jakt efter litiummineral under en exkursion anordnad av Svenska mineralogiska sällskapet i september 2023 under ledning av Karin Högdahl, Anders Zetterqvist och Magnus Leijd, som på bilden är i samspråk med Erik Jonsson.

mindre gabbrokroppar som i gnejsgraniten väster om det omveckade ytbergartsområdet är associerade med granitpegmatiter. De senare har troligen bildats genom lokal uppsmältning när de varma gabbroiska magmorna trängde in.

Granitpegmatiter är överlag tämligen vanliga i ytbergartsområdet, särskilt i de västra delarna, och förekommer i både felsiska och mafiska metavulkaniter. De mera fraktionerade LCT-pegmatiterna har å andra sidan bara påträffats i kvartsit och metabasalt, vilka förmodligen betedde sig sprött och alltså sprack upp (istället för att deformeras plastiskt) under det tidsintervall då pegmatitmagmorna intruderade. På så sätt öppnades det alltså upp utrymmen som smältan kunde använda sig av under sin väg uppåt liksom för att kristallisera inuti.

### Senare litiumpegmatitupptäckter

Under de första prospekteringsåren upptäcktes spodumenförande block väster och nordväst om Discoverypegmatiten. Eftersom isrörelseriktningen i området är mot sydsydost visade detta fynd att det rimligen måste finnas fler LCT-pegmatiter i området och en blockletningskampanj initierades. Tusentals block hittades och blocksvansmönstret resulterade i att ytterligare fem LCT-pegmatitsvärmar kunde lokaliseras väster och norr om Discoverygången. Dessa pegmatitsvärmar har fått de fantasieggande namnen B, C, D, E och F (se kartan på s. 13).

Pegmatitsvärm B är inte blottad utan har bara påträffats genom borrhningar i en storblockig terräng. Den har en kvartsit som värdbergart till skillnad mot Discoverypegmatiten som intruderat i en metabasalt. B-svärmen har samma strykning som lagringen i kvartsiten, men stupar brant åt väster och därmed i hög vinkel till värdbergartens stupningsriktning.

Den mest grovkristallina LCT-pegmatiten i B-svärmen är

ca 10 m bred och 300 m lång, och litium är nästan uteslutande bundet i spodumen. Turmalin saknas nästan helt och de typiska LCT-metallerna tantal och cesium är mycket lägre än i Discoverypegmatiten.

Pegmatitsvärm C består av ett stort antal upp till 5 m breda spodumenförande gångar, vilka även dessa uppträder i kvartsit i storblockig terräng. Borrhningar har visat att svärmen är minst 300 m lång, men dess fulla utbredning åt söder är ännu okänd. En av de tunnare C-gångarna har observerats i håll.

Gångsvärmar D, E och F ligger längre norrut i en metabasalt i det västra veckbenet av det första överstjälppta vecket. Gångsvärmar E och F är separerade från D av en öst-västlig förkastning och det är inte omöjligt att de utgör en och samma svärm som blivit förskjutet på grund av rörelser utmed denna förkastning. Pegmatiterna här är ofta grovkristallina med upp till 30 cm långa spodumenkristaller, även om spridda mindre kristaller också förekommer. Utöver spodumen förekommer litium också i form av SQUI och mot djupet

har en mindre mängd petalit påvisats. Tantal- och cesiumhalterna är i regel ganska låga, men varierar stort mellan individuella gångar.

En av de få pegmatiter som tidigare var känd i området ligger strax norr om Axmar by. Även den sitter i en metabasalt i första veckets västra veckben. Efter en skogsbrand i juni 2023 är pegmatiten relativt välblottad och man ser att den stupar flackt och täcker ett område med en radie på över 50 m.

Pegmatiten domineras av kvarts, fältspat och muskovit, medan turkos apatit (troligen fluorapatit) och svart turmalin är tämligen vanliga. Det hittills enda säkert identifierade litiummineralet är en blek och ibland något orangerosafärgad spodumen. Den uppträder i form av skiviga och relativt finkorniga aggregat i spridda partier av pegmatiten.

### Tre typer av litiummineralisering

Redan under prospekterings inledande fas, när mängder av block provtogs i närheten av det första spodumenfyndet, konstaterades att litium (och tantal) inte bara fanns i uppenbar och grovkristallin pegmatit utan även i en ljus och jämnkornig granitisk bergart som man då antog kom från en intrusion relaterad till pegmatiterna.

Med all den information som borrhningarna gett har det dock visat sig att de fin- till medelkorniga granitiska bergarterna förekommer som enheter i annars grovkristallin pegmatit. Med tiden har det visat sig att litiummineraliseringarna i Bergbyområdet uppträder i tre huvudsakliga former eller associationer, vilka alla kan förekomma i samma pegmatitgång.

En av formerna är just den ljusa granitiska varianten som ofta uppträder som upp till 6 m breda zoner i pegmatiterna. Dessa har relativt höga litiumhalter (1–2 viktprocent  $\text{Li}_2\text{O}$ ). Det är ännu oklart vilket eller vilka mineral som är den viktigaste värden för litium, men en del av dessa ”granitiska” enheter innehåller rikligt med petalit.

En annan malmform utgörs av SQUI i vilken spodumen förekommer som små kristaller samman-

växta med kvarts. SQUI anses vara en senmagmatisk omvandlingsprodukt av primär petalit som fyllt ut utrymmet mellan grov kvarts och fältspat eller aggregat av muskovit, kvarts och fältspat. SQUI-malm-typen är litiumrik med upp till 4,6 viktprocent  $\text{Li}_2\text{O}$ .

Den tredje formen har typisk pegmatittextur med upp till 30 cm stora, ofta välutvecklade spodumenkristaller och stora volymer med petalitkristaller i en grundmassa av kvarts, fältspat och muskovit, ofta tillsammans med mörk turmalin. De största spodumenkristallerna verkar företrädesvis förekomma nära kontakterna till sidoberget.

### Tantal-niob med potential?

Förutom den uppenbara och centrala litiummineraliseringen i dessa granitpegmatiter så förekommer även tantal-niobrika oxider i varierande grad, ibland tillsammans med tennoxidmineralet kassiterit. Det rör sig främst om små kristaller och aggregat av kolumbit-, tantalit- och tapiolitmineral och i något fall också mikrolitmineral som är omvandlingsprodukter av en primär tantalitfas.

Halterna av tantal och niob är mycket varierande både mellan och inom de olika pegmatitgångarna. För tantal skiljer sig halterna från några enstaka till flera hundra ppm. SQUI-typen är ofta fattig på tantal, medan den granitiska malmvarianten ofta har en mer homogen och tämligen hög tantalhalt på 100–200 ppm. Niobhalterna är inte så höga, vilket är normalt för LCT-pegmatiter, men det är tydligt att förhöjningarna följer tantal, något som också återspeglas i mineralogin.

Trots att halterna är relativt låga kan tantal-niob-mineralen komma att utgöra en relevant biprodukt om pegmatiterna skulle brytas för sitt litiuminnehåll. Detsamma gäller för kvarts, fältspat och kanske till och med glimmer, vilka tillsammans utgör den största volymen av pegmatiterna. Detta förutsätter dock att deras kornstorlek är grov och renheten tillräckligt hög för keramiska, metallurgiska eller andra industriella tillämpningar.

### Sveriges mest lovande litiumprospekt?

LCT-pegmatiterna i Bergby är idag sannolikt på väg mot att bli det mest lovande litiumprojektet i Sverige och skulle kunna ha potential att bli den första gruvan i landet som producerar litiumråvara av batterikvalitet. Prospekteringsborrning pågår för fullt och många av de nya pegmatiter som upptäcks är litiumförande. De flesta av dem förekommer i ett obebyggt område där det bedrivs aktivt skogsbruk, så om en gruva blir verklighet kommer verksamheten att ligga långt från både bebyggelse och områden med höga naturvärden.

I närheten finns dessutom en djuphamn som skulle kunna fungera för utskippning av malmen. Skogen används dock för rekreation, inte minst längs den s.k. kyrkstigen som går genom skogslandskapet från Bergby till Axmar, och för jakt på olika vilt. Trots det gynnsamma läget kommer det att bli en stor utmaning att få lokalbefolkningen att acceptera en gruva i ett område som tidigare endast upplevt historisk, småskalig försöksdrift av traditionella malmer. ♦

### Läs mer

- Jonsson, E., Högdahl, K. & Arvanitidis, N. 2015. Sällsynta och kritiska metaller i vanliga och ovanliga mineral. Geologiskt forum 85, 6–12.
- Jonsson, E., Högdahl, K. & Arvanitidis, N. 2015. De sällsynta jordartsmetallerna – eftersökta svenskätlingar. Geologiskt forum 86, 22–27.
- Nysten, P. 2023. Litium – ett litet grundämne med stor betydelse. Geologiskt forum 117, 14–20.

Karin Högdahl, Uppsala universitet, Erik Jonsson, SGU och Uppsala universitet, Magnus Leijd och Anders Zetterqvist, Bergby Lithium AB, Pablo Petri, Uppsala universitet.

✉ Karin.Hogdahl@geo.uu.se

Detta projekt finansieras av anslag från Swedish mining Innovation (2022-03373) och SGU (36926/2022) och ingår i Smart Exploration Research Centre som finansieras av SSF (CMM22-0003). Och detta bidrag är SE-publikation nr 001.