

BARENTSPROJEKTET 2014

Regionalkartering i kartområdet 26L Pålkem, tidigare arbeten och resultat från fältarbetet 2014

Ulf Bergström, Stefan Bergman, Martiya Sadeghi,
Lena Persson & Johan Jönberger

februari 2015

SGU-rapport 2015:06



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Livasälven strax ovanför Skajteforsen
(7368941/806159). Foto: Joanna Holmgren.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning	5
Berggrundsgeologisk översikt	7
Geofysisk översikt	9
Resultat från fältarbetet 2014	14
Berggrundsenheter	14
Talljärvformationen	14
Råneågruppen och migmatit	14
Svekofenniska metavulkaniska bergarter	14
Haparandasviten	18
Pertitmonzonitsviten	18
Mafiska gångbergarter	18
Linassviten	19
Geokemi	20
Struktur och metamorfos	22
2D- och 3D-modellering av insamlade geofysiska data	23
Naturresurser	25
Bergtäkter	26
Referenser	27

INLEDNING

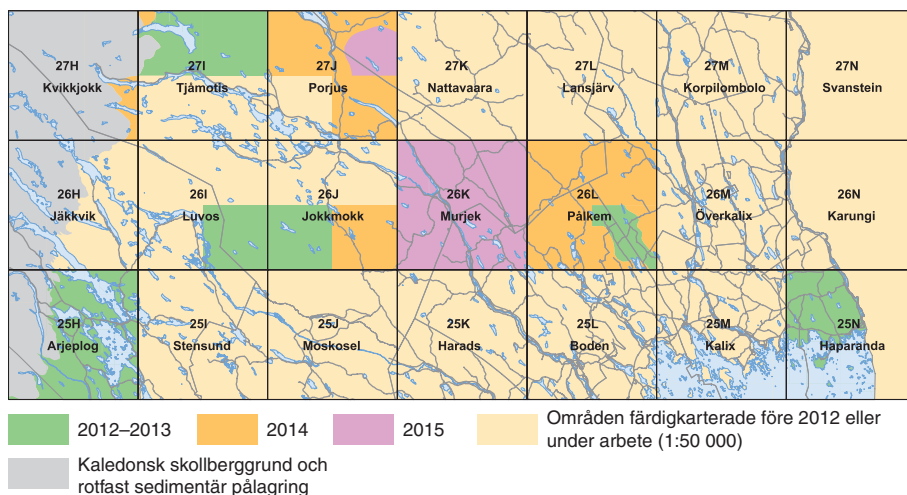
Denna rapport redovisar preliminära resultat från berggrundskartering och geofysiska mätningar i Pålkeområdet från sommaren 2014. I redovisningen ingår även resultat från inledande undersökningar 2011 och 2013. Arbetet ingår i en större regional undersökning av berggrunden i södra Norrbottens län, Barentsprojektet (<http://www.sgu.se/mineralnaring/barentsprojektet>), och omfattar RT90-indexrutan 26L Pålke (fig. 1). Syftet är att få ökad kunskap om berggrundens uppbyggnad och utveckling genom att ta fram grundläggande information, samt att sammanställa en karta i skala 1:250 000. Lägesbestämningar har gjorts i koordinatsystemet Sweref99TM.

En tolkning av fördelningen av områdets berghällar (berggrundsblottningar) togs fram med hjälp av flygbilder och höjddata. Ett urval av dessa hållar och sådana från äldre berggrundsgeologiska undersökningar besöktes och dokumenterades. Sammanlagt 523 berggrundsobservationer gjordes av Stefan Bergman, Ulf Bergström och Martiya Sadeghi och har lagrats i SGUs hälldatabas. Observationstätheten var större i områden med komplex berggrund än i områden med homogen berggrund.

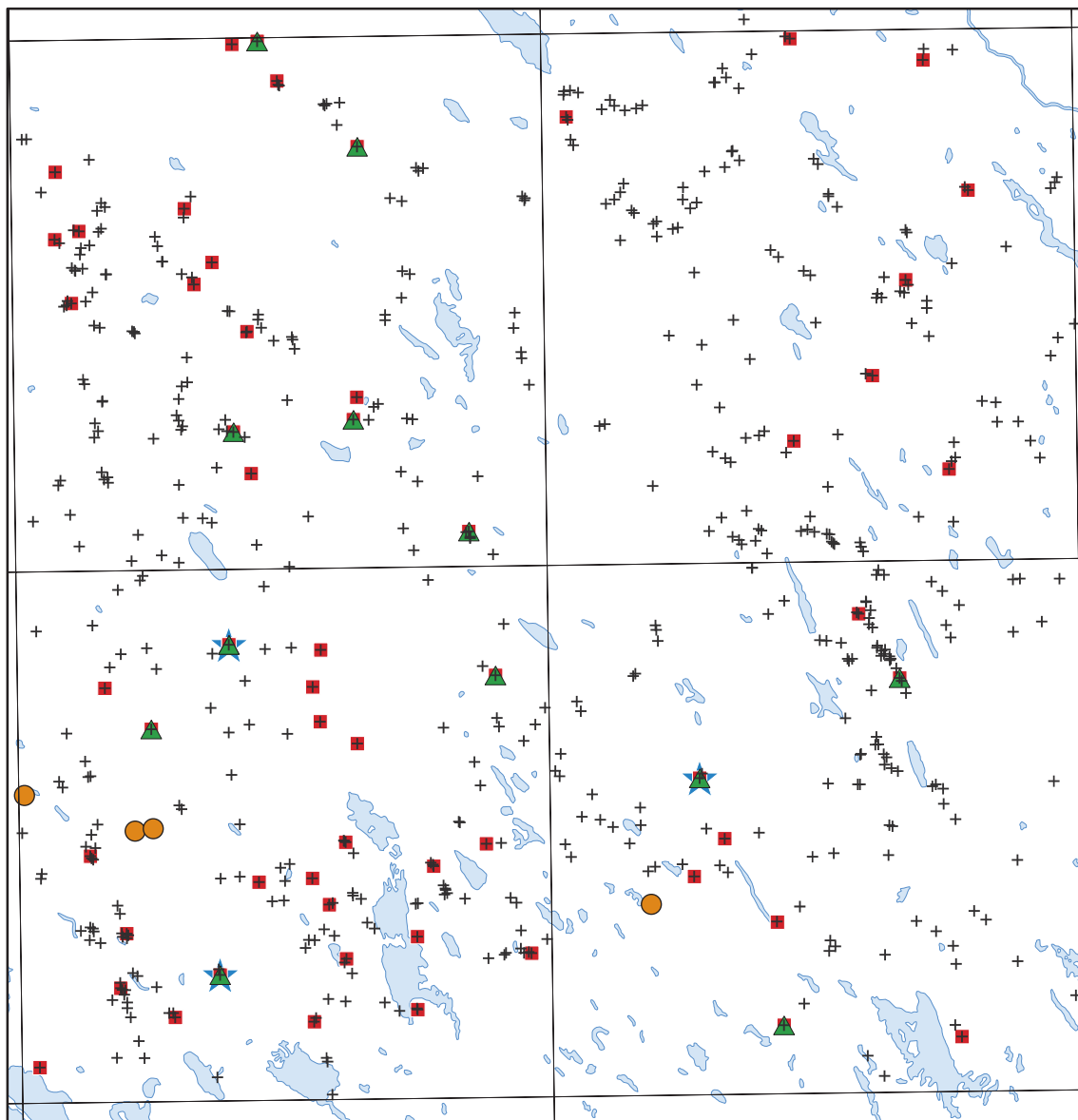
I samband med karteringen togs 82 prover för tunnslipstillverkning och 65 prover för lito-geokemisk analys. Utöver detta valdes tre prover ut för åldersbestämning och 13 prover för isotopanalyser av Sm-Nd. Hällar och provtagningslokaler visas i figur 2.

Geofysiska fältundersökningar, huvudsakligen gammadetektor, magnetiska och elektromagnetiska (VLF) markprofilmätningar och mätning av magnetisk susceptibilitet, utfördes av Lena Persson, Mehrdad Bastani och Joanna Holmgren. För att bestämma bergarternas petrofysiska egenskaper, såsom densitet, magnetisk susceptibilitet och remanent magnetisering, togs 236 bergartsprover under 2013 och 2014. Det finns sedan tidigare äldre petrofysiska analysdata i SGUs databas från 293 bergartsprover. De har analyserats med avseende på densitet, magnetisk susceptibilitet och remanent magnetisering samt i vissa fall även remanensens riktning. En del av dessa äldre bergartsprover är dock tagna från block. Mätningar av berggrundens gammastrålning med handburen spektrometer gjordes på 320 lokaler.

På varje observationslokal gjordes åtta mätningar av den magnetiska susceptibiliteten på varje bergart. Läget för mätningarna (fig. 3) bestämdes med handburen GPS. Markmätningar av det magnetiska totalfältet utfördes längs 15 profiler med en total längd av drygt 27 km. Markmätning med VLF har utförts längs tre profiler med en total längd av 2,8 km. Syftet med markprofilerna var att följa upp några av de mest intressanta anomalierna från flygmätningen för att sedan modellera data och bestämma anomaliorsak.



Figur 1. Områden i södra Norrbottens län som är föremål för regional berggrundsundersökning inom Barentsprojektet.

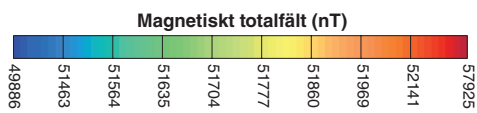
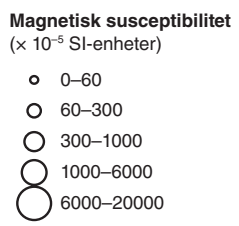
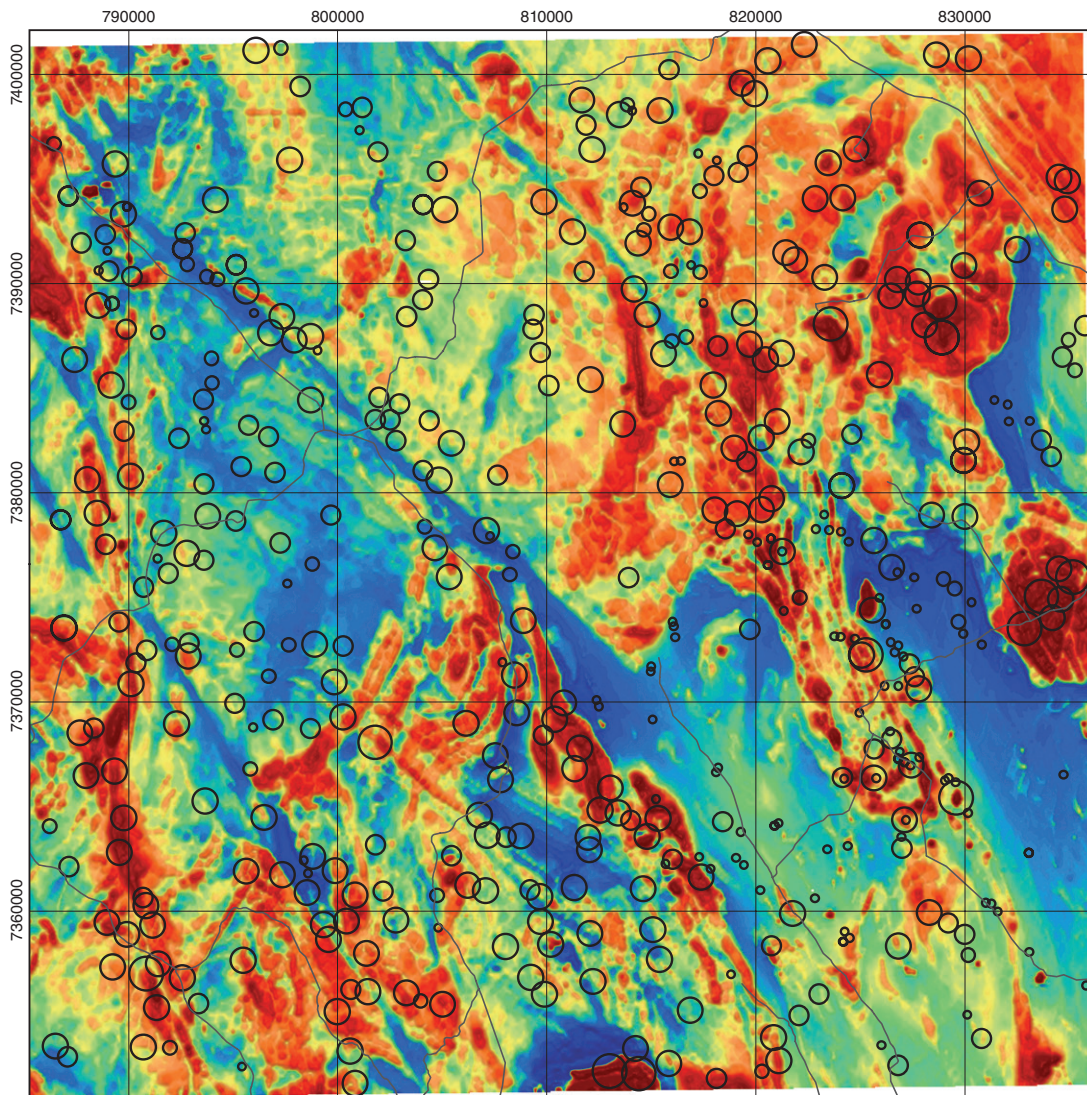


- Mineraliseringar i Mineralresursdatabasen (MDEPDB)
- + Hällobservationer 2013–2014
- ▲ Provpunkt för Sm-Nd-undersökning
- ★ Provpunkt för åldersbestämning
- Provpunkt för litogeokemi

10 km

Figur 2. Observerade hållar och provtagningslokaler inom kartområdet 26L Pålkem.

Tyngdkraftsmätningar utfördes inom kartområdet 26L Pålkem av Anders Gustafsson, Patrik Johansson och Sverker Olsson i augusti 2014. Syftet med mätningarna var i första hand att göra en regional för tätning av tyngdkraftsinformationen i projektområdet, men vi valde också att utföra profilmätningar över vissa magnetfältsanomalier för att bestämma deras eventuella densitetsavvikelser jämfört med omgivande berggrund. Vid regional tyngdkraftskartläggning eftersträvas ett mätpunktsavstånd på ca 1–1,5 km. Vid profilmätningar är mätpunktsavståndet ca 200 m. Det finns tyngdkraftsmätningar sedan tidigare i projektområdet men de är dels relativt få till antalet, dels väldigt ojämnt fördelade. Totalt uppmättes 458 nya tyngdkraftspunkter. Vissa av de befintliga tyngdkraftspunkterna mättes om för att verifiera kvaliteten hos de äldre mätningarna.



Figur 3. Magnetiskt totalfält över kartområdet 26L Pålkem. Graderade symboler visar magnetisk susceptibilitet av bergarter från mätningar på hållar under somrarna 2013 och 2014.

BERGGRUNDSGEOLOGISK ÖVERSIKT

Den första berggrundskartan som publicerats över Pålkemområdet är länskartan över Norrbottens län i skala 1:400 000 (Ödman 1957). Mer detaljerad kartering av området har genomförts i samband med prospekteringsarbeten och resultaten sammanställdes i en opublicerad digital karta över urberget i norra Sverige av Tomas Sjöstrand och Herbert Henkel under den senare delen av 1980-talet vid SGU. En karta där den östra delen av Pålkemområdet ingår presenteras i Sjöstrand m.fl. (1984). Moderna berggrundskartor i skala 1:50 000 finns över omgivande områden mot norr och öster (Hellström m.fl. 2012, Åkerman & Kero 2012). Resultat från pågående undersökning av Bodenområdet söder om Pålkemområdet redovisas av Kathol m.fl. (2012).

Tidigare geologiska och geofysiska undersökningar inom kartområdet har vanligtvis varit kopplade till prospektering. Mycket av informationen är lokalspecifik och beroende av vilken inriktning prospekteringen haft. Det gäller t.ex. insatser mot guldprospektering (Lilljeqvist 1981, Carlson 1982, Lundmark & Johansson 1986, Ros m.fl. 1986) eller strukturer med potential för guld (Lake Resources 2003). Sjöstrand m.fl. (1984) presenterade en allmän geologisk och geofysisk bild av Överkalixområdet, och i Lundholm m.fl. (1985) följdes den upp med mer detaljerade geofysiska undersökningar och studier i prospekteringsmetodik. Einarsson (1998) diskuterade potential för byggnads- och ornamentsten inom Bodens kommun.

Gunnarsträckgabbbron, som ligger på gränsen mellan kartområdena 25L Boden och 26L Pålkem har nyligen undersökts med detaljerade tyngdkraftsmätningar (Aaro m.fl. 2012). En 3D-modellering baserad på tyngdkrafts- och magnetfältsdata finns presenterad i Antal Lundin m.fl. (2013).

Undersökningsområdet ligger inom den Svekokarelska orogenen, väster om Pajalaskjuvzonen. Förekomsten av stora veckstrukturer gör att berggrundsenheter på olika stratigrafiska och strukturella nivåer är blottade. Bergarterna bildades under paleoproterozoisk tid (siderium till orosirium). Arkeisk berggrund finns blottad i Luleå–Bodenområdet men har inte dokumenterats i Pålkemområdet. Sådan berggrund förmodas dock finnas på djupet och utgöra underlaget till den äldsta blottade enheten med kvartsrik metasandsten och amfibolit. Nya prover har tagits för att eventuellt spåra det arkeiska underlaget med hjälp av isotopanalyser av Nd. Denna stratigrafiskt äldsta enhet med metasandsten har benämnts Talljärv kvartsitformation av Sjöstrand m.fl. (1984) och den ingår i Sockbergetgruppen på berggrundskartan över Nordkalottområdet (Silvennoinen m.fl. 1987). Vi har kallat enheten Talljärvsformationen.

Stratigrafiskt ovanpå Sockbergetgruppen finns Råneågruppens bergarter (Silvennoinen m.fl. 1987), som domineras av metasiltsten och metagråvacka, i många fall utbildad som skiffer. Vulkaniska inlagringar i Råneågruppen är inte kända från undersökningsområdet. Råneågruppen brukar räknas till de svekofenniska ytbergarterna (yngre än ca 1,96 miljarder år). Svekofenniska metavulkaniska bergarter har stor utbredning i områdets sydvästra delar, och deras stratigrafiska relation till Råneågruppen är oklar.

Haparandasviten (Ödman m.fl. 1949) omfattar en rad intrusioner i de ovan nämnda bergarterna, och den består av metamorfoserad granodiorit, tonalit, dioritoid och gabbro med en ålder av ca 1,89–1,87 miljarder år. Öhlander (1984) använde geokemiska data och föreslog att Haparandasviten är av I-typ och bildades i en kompressiv miljö. Mellqvist m.fl. (2003) visade i en sammanställning av geokemiska data och Sm-Nd-isotopdata att Haparandasviten har en alkalin–kalkalkalin trend och huvudsakligen negativa $\epsilon_{Nd(t)}$ -värden. Slutsatsen var att bergarterna bildats i en kontinental magmatisk båge genom uppsmältning av arkeiskt kontinentalt och utarmat mantelmaterial vid subduktion av proterozoisk litosfärmantel.

En något yngre intrusionssvit, benämnd Pertitmonzonitsviten (Witschard 1984), har stor utbredning i Pålkemområdet och domineras av mer eller mindre folierad metagranit och kvartsmonzonit.

Den yngsta enheten är Linasviten (Linagranit, Holmqvist 1906) som enbart utgörs av ca 1,8 miljarder år gamla graniter.

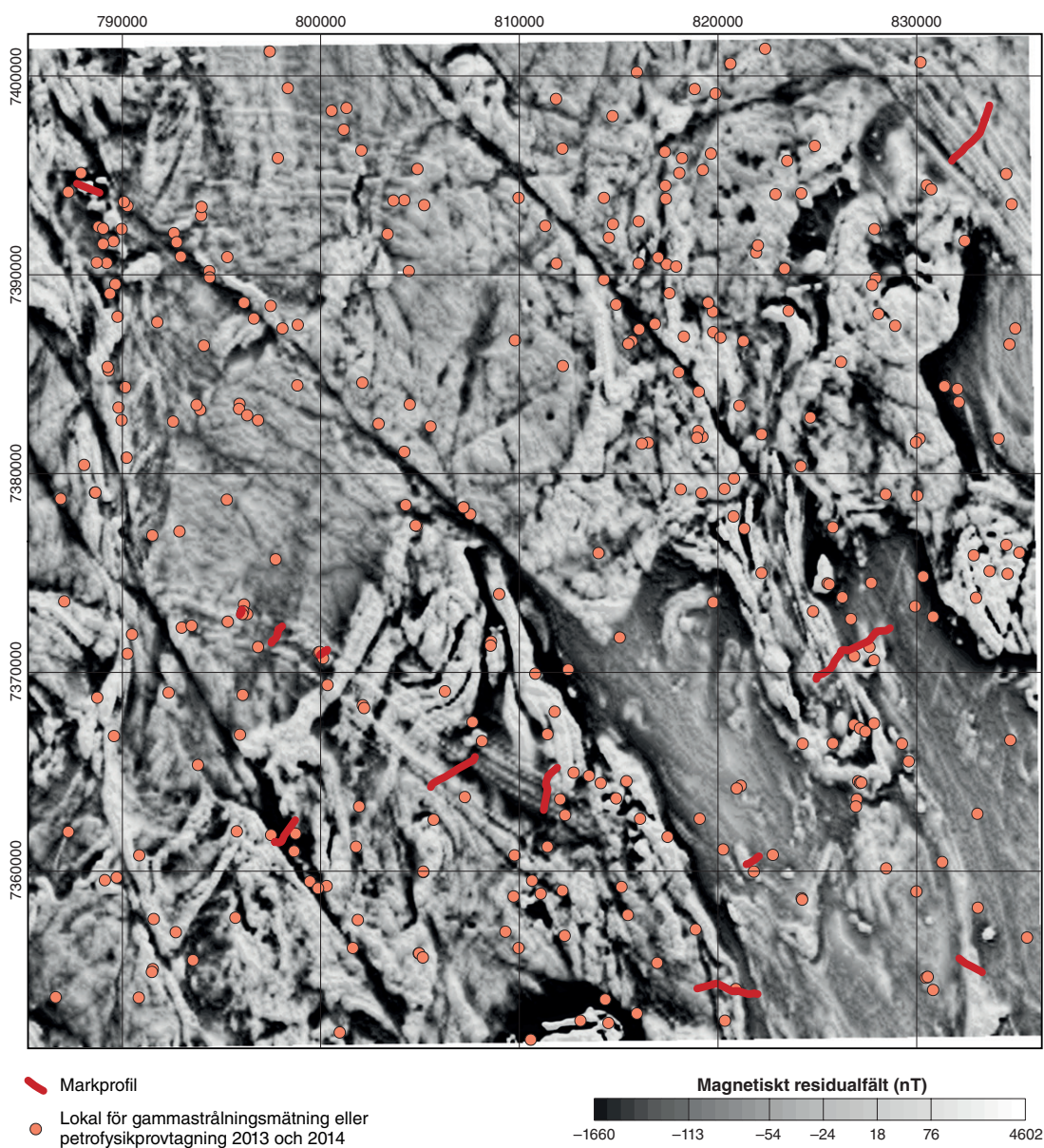
De viktigaste strukturerna är stora veck som styr geometrin för berggrundsensheterna och ett antal regionala deformationszoner som huvudsakligen har en nordvästlig–sydöstlig riktning (Talbot m.fl. 1989). Det finns en stor kontrast i metamorfosgrad mellan ett centralt område med migmatitiska bergarter och områden i öster och väster med lägre metamorfosgrad och bevarade primärstrukturer i ytbergarterna.

GEOFYSISK ÖVERSIKT

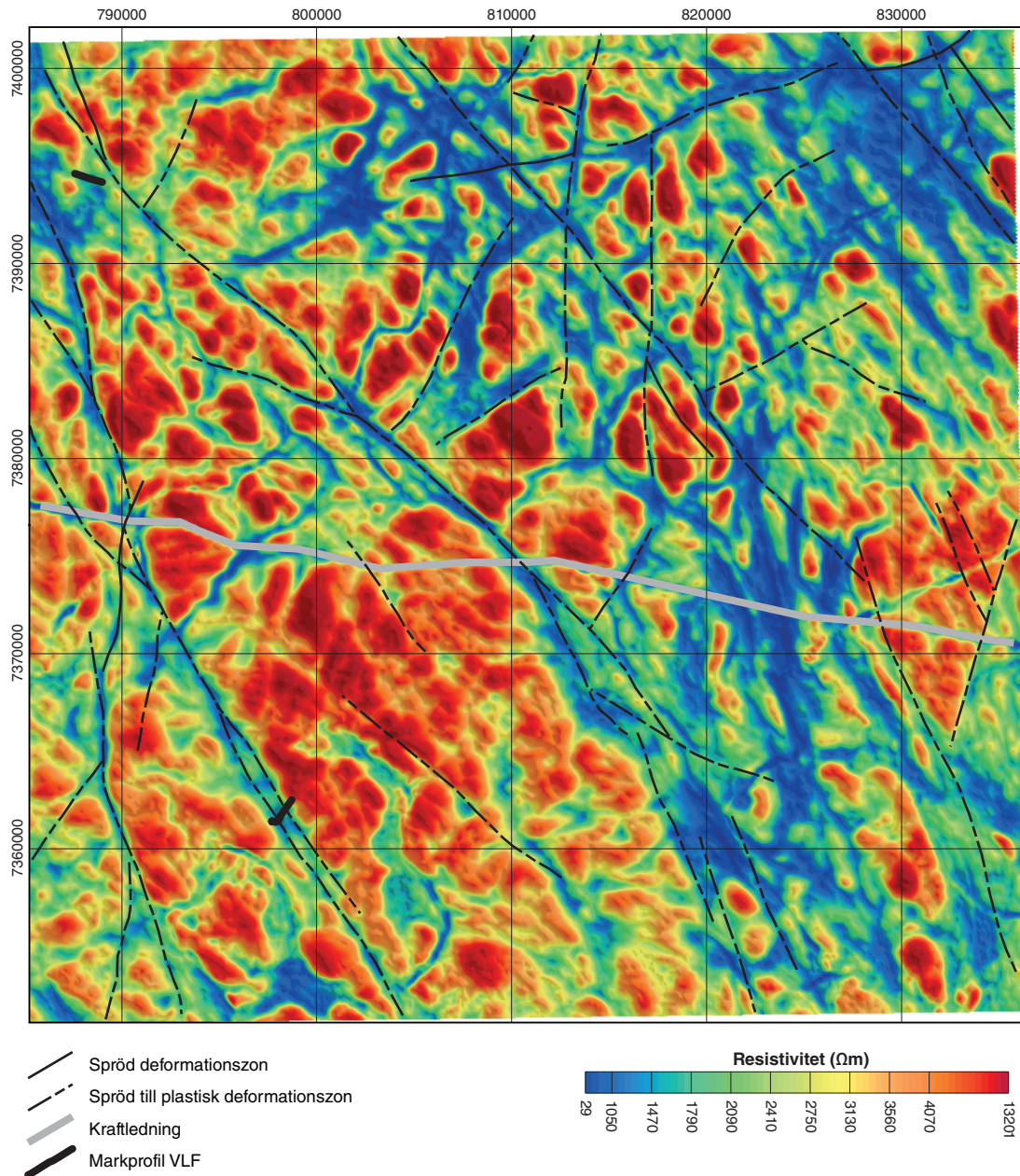
Över kartområdet 26L Pålkem finns flyggeofysiska mätningar av magnetfält, gammastrålning och elektromagnetiska fält (VLF) utförda år 2010 och 2012 med 200 m linjeavstånd och ca 60 m flyghöjd. Flygriktningen har varit öst–västlig.

Inom kartområdet 26L Pålkem SV finns också ett mindre område med äldre flyggeofysiska mätningar av magnetfält, gammastrålning och elektromagnetiska fält (VLF och slingram) utförda år 1985 av Vattenfall.

Figur 4 visar det magnetiska residualfältet över kartområdet 26L Pålkem tillsammans med läget för undersökta hällar och profilmätningar. Mest iögonfallande i den magnetiska anomali-bilden med gråskala är de lågmagnetiska deformationszoner i nordvästlig–sydöstlig riktning som skär igenom hela kartområdet. Deformationszonerna i området framträder också tydligt i resistivitetskartan baserad på elektromagnetiska VLF-mätningar (fig. 5). I områdets centrala del



Figur 4. Magnetiskt residualfält över kartområdet 26L Pålkem. Symbolerna visar lägen för provtagningslokaler och markprofiler.

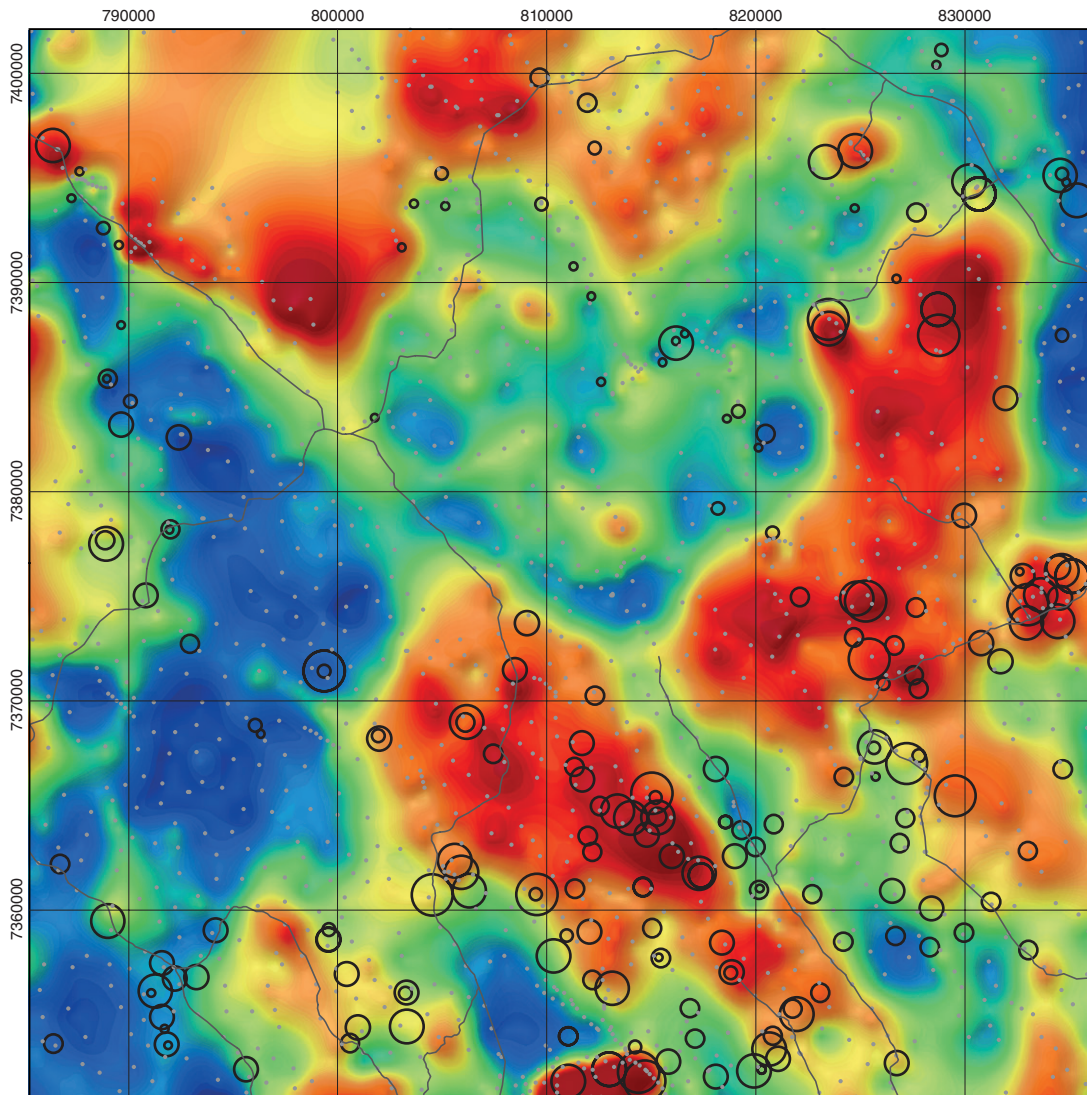


Figur 5. Karta över markens resistivitet över kartområdet 26 L Pålhem.

finns ett antal högmagnetiska band som böjer av i anslutning till deformationszonerna och som tyder på en komponent av sinistral rörelse (fig. 3 och 4).

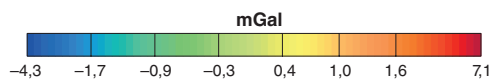
Svärmar med diabasgångar förekommer på flera ställen. I den nordvästra delen av området finns ett stråk med högmagnetiska anomalier med öst–västlig riktning. Längst i nordost förekommer ett stråk med flera parallella gånger i nordvästlig–sydostlig riktning och i den södra delen av kartområdet finns ytterligare ett stråk med diabasgångar i nordvästlig–sydostlig riktning.

Mätningar på hällar visar att den magnetiska susceptibiliteten är högst för ultramafit (ca $1000\text{--}12\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter, medelvärde $2\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter) samt diorit och gabbro (ca $50\text{--}10\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter, medelvärde $3\,300 \times 10^{-5}$ SI-enheter, fig. 5).



Densitet (kg/m³)

- 2568–2630
- 2631–2680
- 2681–2740
- 2741–2820
- 2821–2970
- 2971–3162

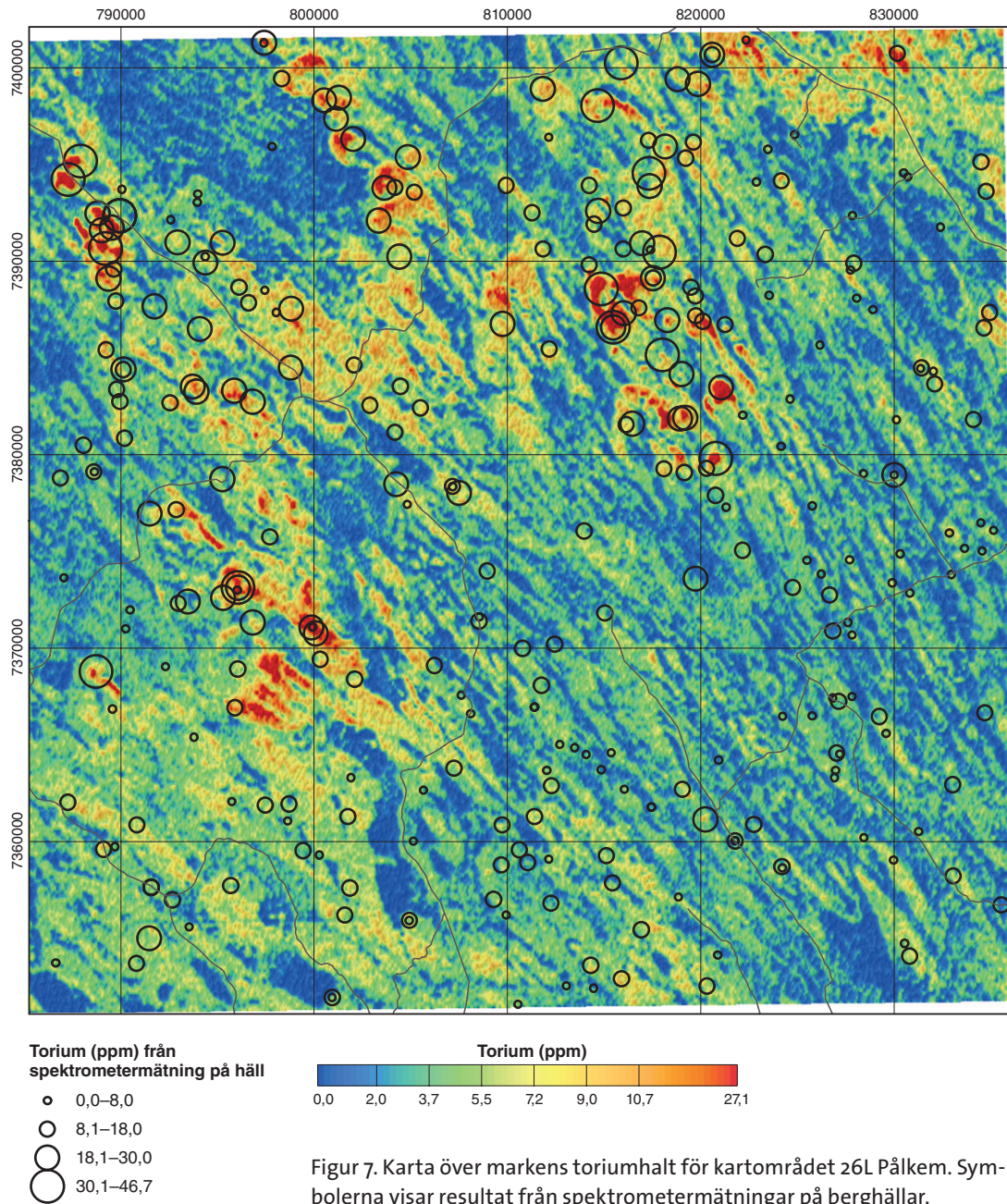


Figur 6. Det residuala tyngdkraftsfältet över kartområdet 26L Pålkem uttryckt som differensen mellan Bougueranomalin och en analytisk fortsättning uppåt till 2 km. Graderade symboler visar densiteten bestämd på bergartsprov från fältarbetet 2013 samt äldre provtagning inom området. Grå punkter visar lägen för tyngdkraftsmätningar.

Större kroppar av mafiska intrusivbergarter förekommer inom kartområdet, dels längst i söder (norra delen av Gunnarsträskgabbbron), dels i den östra delen. Dessa syns tydligt i magnetfält- och tyngdkraftskartorna som positiva anomalier (fig. 3 och 6).

Även vulkaniterna i området har hög susceptibilitet (medelvärde ca 1600×10^{-5} SI-enheter). De flesta graniter har relativt hög susceptibilitet (medelvärde ca 1000×10^{-5} SI-enheter) medan Linagraniten uppvisar något lägre susceptibilitet (medelvärde ca 400×10^{-5} SI-enheter).

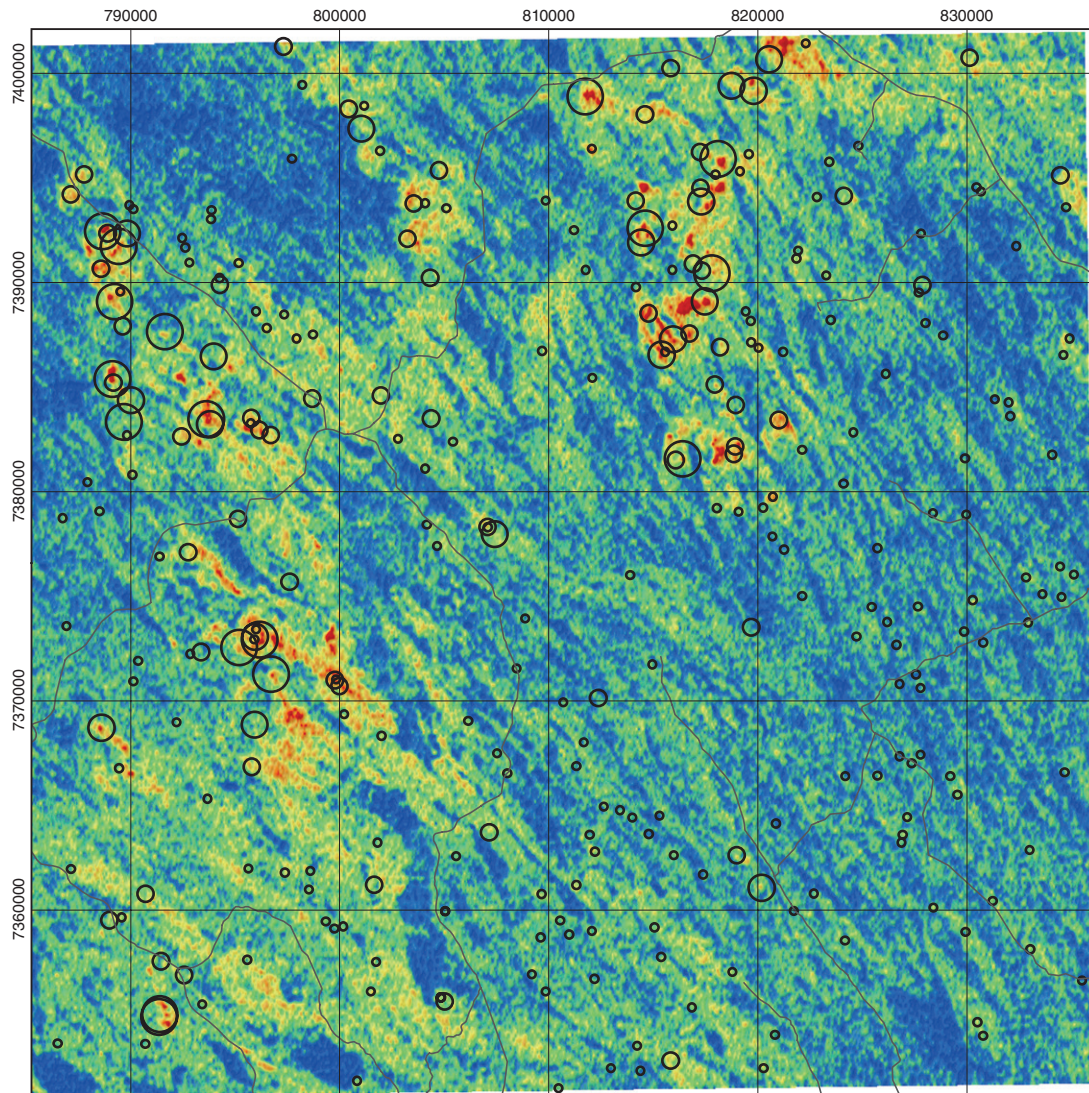
I den sydöstra delen av området förekommer de enda bergartsgrupperna som har låg magnetisk susceptibilitet: sandsten (medelvärde 5×10^{-5} SI-enheter) och metagråvacka (medelvärde 50×10^{-5} SI-enheter). Den högsta magnetiska anomalien inom kartområdet är uppmätt i den



nordvästra delen vid Härkmyran, 15 km norr om Pålkem. Anomalin har en utsträckning på ca 400 × 700 m och en modellering av anomalin presenteras i avsnittet 2D- och 3D-modellering av insamlade geofysiska data.

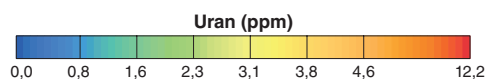
I tyngdkraftskartan (fig. 6) framträder intrusionerna av metagabbro i området som tydliga tyngdkraftsoverskott. Även metavulkaniter med dacitisk till andesitisk sammansättning samt Haparandasvitens bergarter kännetecknas av relativt höga densiteter. Granit tillhörande Pertitmonzonitsviten samt Linagranit orsakar tyngdkraftsunderskott i de norra och västra delarna av området.

Figurerna 7 och 8 visar flygradiometriska data (torium och uran) för kartområdet tillsammans med resultat från spektromettermätningar på hällar. Anomalibilden i figurerna 7 och



Uran (ppm) från spektromettermätning på håll

- 0,0–3,0
- 3,1–8,0
- 8,1–16,0
- 16,1–61,5



Figur 8. Karta över markens uranhalt över kartområdet 26L Pålkem. Symbolerna visar resultat från spektromettermätningar på berghällar.

8 styrs delvis av förekomsten av kalt berg. Områden med tjockare jordtäcken visar normalt inga anomalier. De flesta bergartsgrupper kännetecknas av relativt låg gammastrålning. Höga uran- och toriumhalter har framför allt uppmätts på Linagraniten och Pertitmonzonitsvitens granit och pegmatit.

RESULTAT FRÅN FÄLTARBETET 2014

Resultat från fältarbetet 2014 sammanfattas nedan. En preliminär berggrundskarta över undersökningsområdet visas i figur 9.

Berggrundsenheter

Talljärvformationen

Kvartsrika metasandstenar förekommer i ett nordnordvästligt strykande stråk vid sjöarna Muggträsket och Talljärv inom kartområdet 26L Pålkem SO. Dessa tolkas tillhöra Sockbergetgruppen som är det äldsta bergartsledet inom kartområdet med en sannolik ålder kring 2,1 miljarder år.

Strukturellt utgörs stråket av en antiklinal där metasandstenarna på bägge sidor omges av Råneågruppens yngre sedimentära bergarter. Observationer av kontaktrelationer visar att det är en primär avsättningskontakt mellan enheterna.

Metasandstenarna är mycket finkorniga, ljusgrå till vita och har i många fall bevarade lagringstexturer som laminering. Den metamorfa överpräglingen har i stort sett förvandlat bergarterna till kvartsit. Som relativt få och tunna (ca 1–10 m mäktighet) inlagringar finns laminerade, grå, glimmerrika metagråvackor. Det finns också tunna, basaltiska, mörkt gröngrå inlagringar som bildats som tunna lavahorisonter eller subvulkaniska lagergångar (fig. 10).

Stråket med Talljärvformationen bergarter står ut ganska tydligt mot de omgivande områdena med Råneågruppens bergarter genom sin betydligt högre magnetiska signatur (fig. 5). Metasandstenarna har mycket låg magnetisk susceptibilitet, medan däremot olika gråvackeartade och basaltiska inlagringar uppvisar en högre magnetisk susceptibilitet. Det bandade magnetiska mönster som uppträder framför allt på antiklinalens östra sida antyder förekomst av uthålliga basaltlager i metasandstenarna. Vid Västerdalen finns en grovt plagioklasporfyrisk, koherent metaandesit–metadacit som verkar uppträda som lagergångar. Vid flera lokaler vid Muggträsket förekommer en finkornig, kvartsdioritisk bergart som också intruderat som lagergångar. Alla dessa olika intrusioner och inlagringar har normalt betydligt högre magnetisk susceptibilitet än metasandstenarna. De kan däremot sakna uthållighet i strykriktningen varför de inte ger upphov till ett tydligt bandat mönster i magnetkartan. Dessutom finns en mörkt grågrön gabbroid till ultramafisk bergart söder om Muggträsket som ligger som en högmagnetisk lins i metasandstenarna. En kombination av alla dessa intrusiva bergarter kanske är den troligaste förklaringen till den högre magnetiska signaturen i stråket.

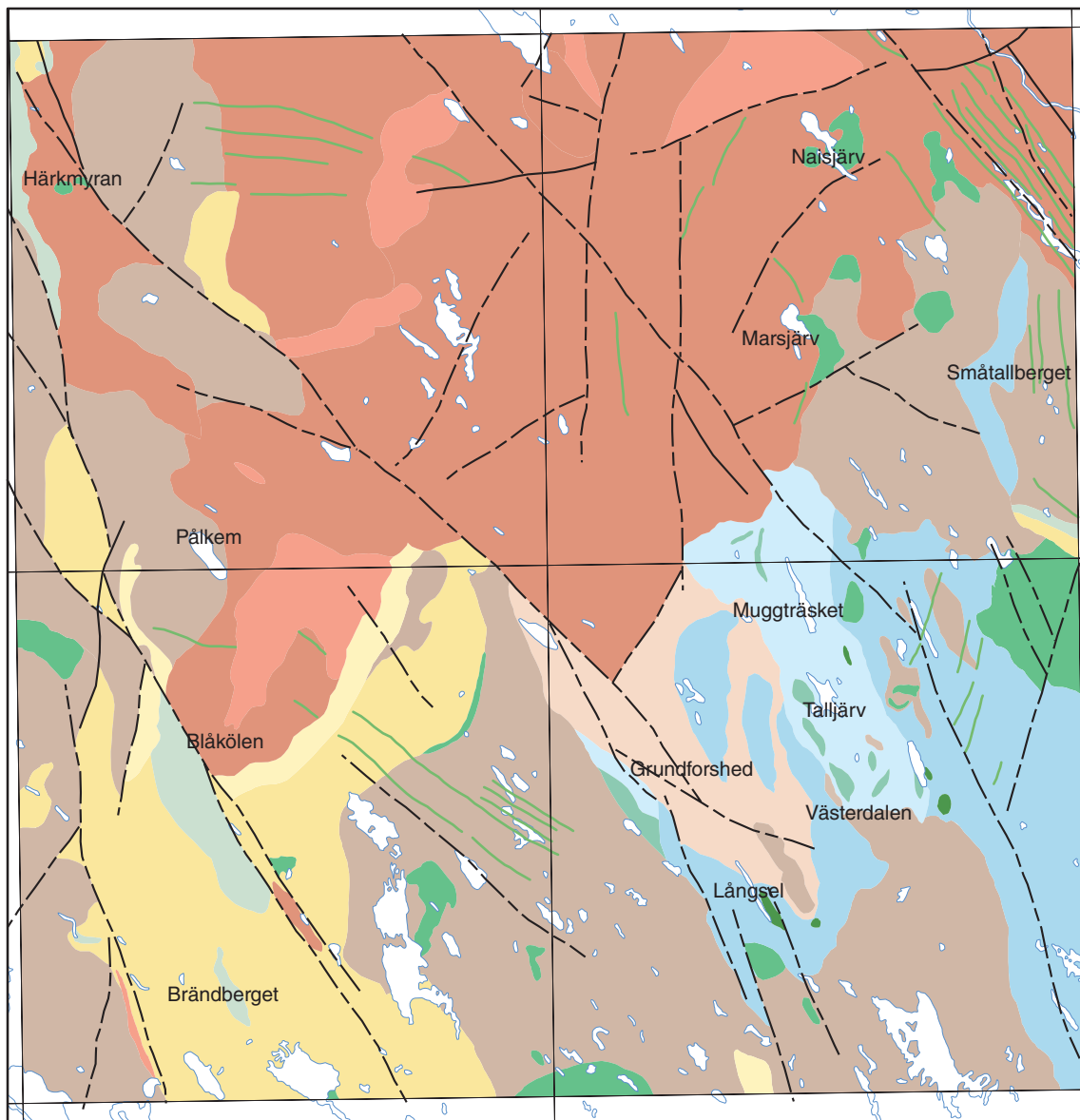
Råneågruppen och migmatit

Råneågruppen består av metaslamsten och metagråvacka (fig. 11a). Tydlig lagring eller skiktning (fig. 11b) är vanlig i det största utbredningsområdet i kartområdets sydöstra del där metamorfosgraden är som lägst. Porfyroblaster av cordierit eller muskovit förekommer lokalt och kvartsådring är vanlig.

Mot väster är metamorfosgraden högre och kvarts-fältspatådror förekommer rikligt. I ett område finns diatexit där berggrunden har genomgått kraftig uppsmältning och bitar av biotitrik gnejs ligger i ett mobilisat med granitisk eller granodioritisk sammansättning (fig. 11c). I sin avancerade form ser diatexiten ut som en medelkornig (omkristalliserad) granodiorit med xenoliter av ”bevarad” metagråvacka.

Svekofenniska metavulkaniska bergarter

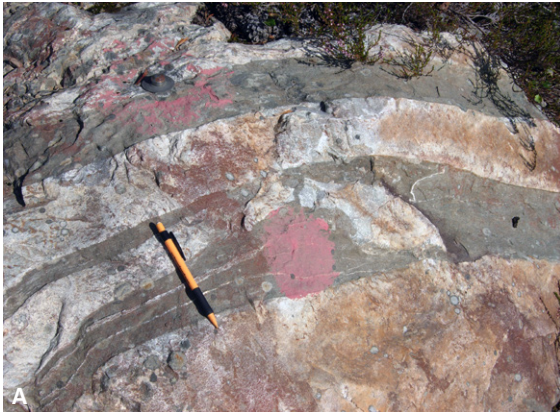
Metavulkaniska bergarter dominerar i kartområdets sydvästra delar. De räknas till de svekofenniska enheterna och har en ungefärlig ålder mellan 1890 och 1870 miljoner år. En trolig tolkning är att den vulkaniska perioden sammanfaller ganska väl tidsmässigt med avsättningen av



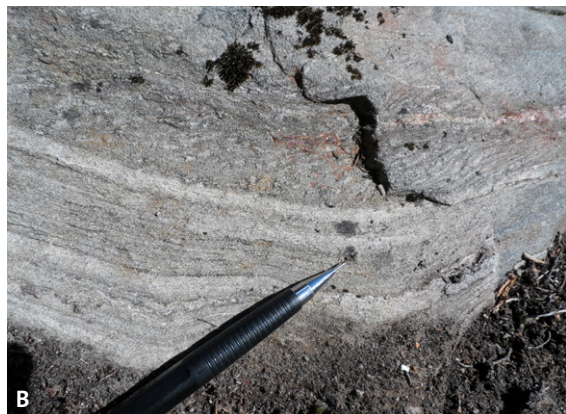
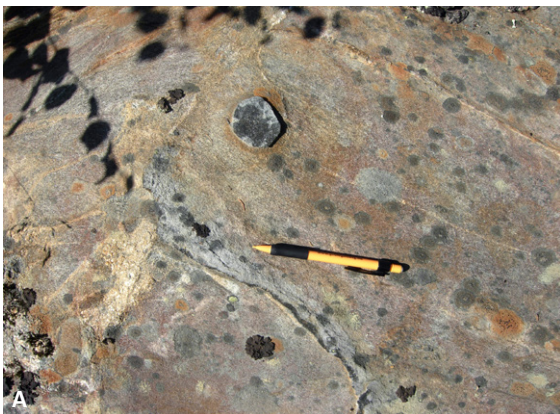
- Spröd deformationszon
- Spröd eller plastisk deformationszon
- Mafisk gång
- Diatexitisk migmatit
- Granit, pegmatitgranit, ca 1,8 miljarder år (Linaviten)
- Metagranit–metakvartsmonzonit–metagranodiorit, 1,88–1,86 miljarder år (Pertitmonzonitsviten)
- Metatonalit–metagranodiorit–metakvartsmonzodiorit, 1,89–1,87 miljarder år (Haparandasviten)
- Metagabbro–metadiorit
- Metaultramafisk bergart
- Metaryolit–metadacit, 1,89–1,87 miljarder år (porfyritgruppen)
- Metadacit–metaandesit, 1,89–1,87 miljarder år (porfyritgruppen)
- Metabasalt–metaandesit, 1,89–1,87 miljarder år (porfyritgruppen)
- Metagråvacka–metasiltsten(–paragnejs), 1,96–1,87 miljarder år (Råneågruppen)
- Metagabbroid–metadioritoid, ca 2,1 miljarder år
- Metasandsten, ca 2,1 miljarder år (Sockbergetgruppen)

10 km

Figur 9. Preliminär karta över berggrunden inom kartområdet z6L Pållem.



Figur 10. Bergarter i Talljärvformationen. A. Kvarsitisk metasandsten med basaltinlagringar. B. Kvarsitisk metasandsten nära kontakten till ett granitiskt massiv tillhörande Pertitmonzonitsviten. C. Plagioklasporfyrisk andesitisk till dacitisk metaintrusiv bergart. Foto: Ulf Bergström.



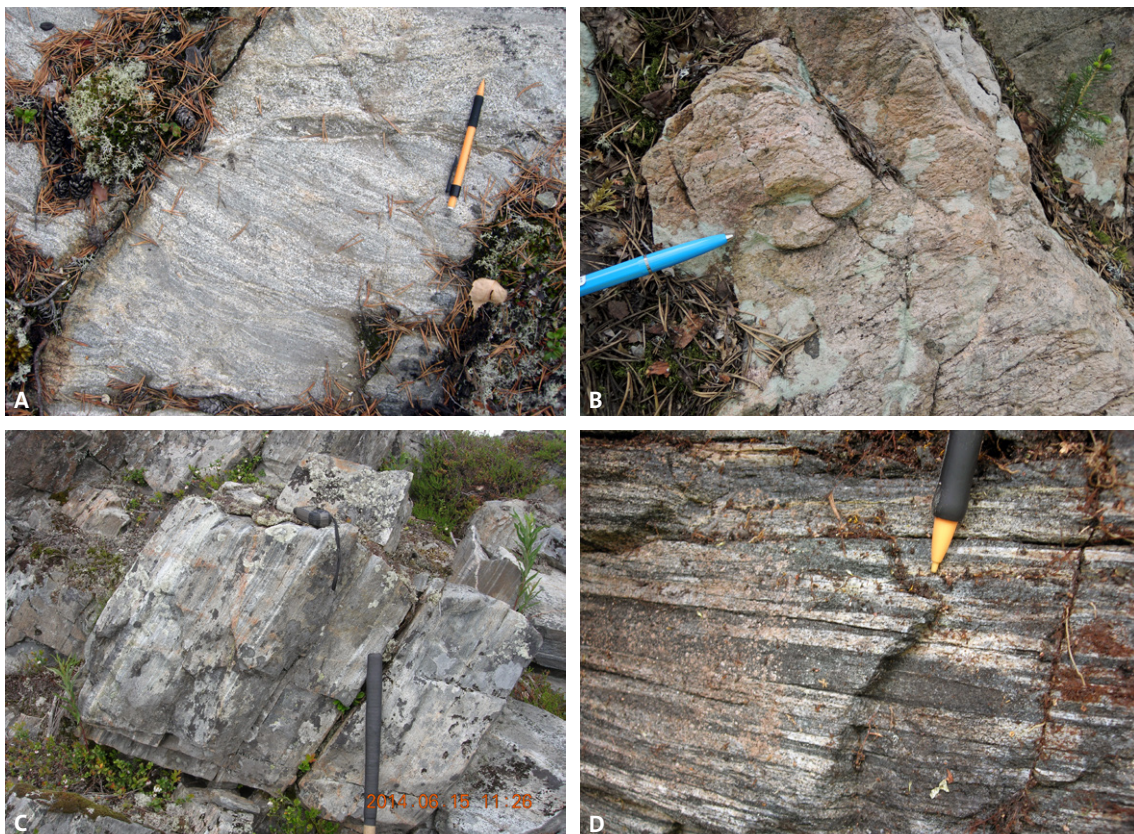
Figur 11. Bergarter i Råneågruppen. A. Metagråvacka i den stratigrafiska basen av Råneågruppen. En rund boll av kvarsitisk metasandsten från Talljärvformationen ligger i metagråvackan. Hällutsnittet är ca 30 m från kontakten till de kvarsitiska metasandstenarna. Foto: Ulf Bergström. B. Lagrad metagråvacka med överskärande förskiffring. Foto: Stefan Bergman. C. Diatexitisk metagråvacka från Råneågruppen. Foto: Ulf Bergström.

Råneågruppens sedimentära bergarter, men att de utgör olika facies. Det saknas observationer där dessa enheter förekommer tillsammans.

Det vulkaniska området domineras av bergarter med dacitisk till andesitisk sammansättning (se avsnittet Geokemi). Bergarterna är finkorniga, grå till mörkt gröngrå och ofta plagioklasporfyriska. En stor del utgörs av vulkaniska sandstenar (fig. 12a) som avsatts som massflöden. En vanlig vulkanisk varietet, framför allt mot de norra delarna av det vulkaniska området, är mer finbandade siltstenar med ett större inslag av omlagrat, epiklastiskt material, s.k. tuffiter (fig. 12c, d). Det finns också massiva, koherenta varieteter med denna sammansättning som kan ha bildats som lavadomer eller subvulkaniska intrusioner.

I några områden finns mer mafiska metavulkaniska bergarter som är finkorniga, mörkt gröngrå och amfibolporfyriska. De har ställvis en karaktäristisk sprickbildning och innehåller monomikta fragment, vilket antyder att de kan ha bildats som slaggiga lavar. Tillsammans med dessa kan också tuffitiska siltstenar med mafisk sammansättning förekomma. Vid Brändberget finns en massiv, strökornsfri metaandesit som tolkas som en koherent lavadom eller en subvulkanisk intrusion.

Ryolitiska metavulkaniter finns norr om Pålkem (fig. 12b). Dessa är ställvis ignimbitrimmiga och innehåller relativt välbevarade strökorn av kvarts och fältspat. I området uppträder även vulkanoklastisk metaryolit till dacit som innehåller flisiga, litiska klaster. Metaryolit med enstaka kvarts- eller fältspatströkorn och ignimbitrimmor finns även väster och öster om Blåkölen. Lokalt förekommer centimeterstora litiska klaster. Ljust röda, åderliknande band med granitisk sammansättning och något större kornstorlek än sidoberget är karaktäristiskt för den



Figur 12. Metavulkaniska bergarter. **A.** Porfyrisk, andesitisk till dacitisk, vulkanisk metasandsten. Foto: Ulf Bergström. **B.** Metaryolit. Foto: Martiya Sadeghi. **C.** Laminerad dacitisk till andesitisk vulkanisk metasiltsten (s.k. tuffit). Foto: Ulf Bergström. **D.** Laminerad, andesitisk till basaltisk, vulkanisk metasiltsten (s.k. tuffit). Foto: Ulf Bergström.

ryolitiska bergarten. I områden som domineras av metadacit till metaandesit finns även upp till några tiotal meter mäktiga inlagringar av metaryolit.

Haparandasviten

Bergarter som tillhör Haparandasviten uppträder på flera ställen inom kartområdet och dominerar i områdets södra och västligaste delar. Bergarterna är medelkorniga och mestadels svagt stängliga eller folierade. De är grå, jämnkorniga, rika på mörka mineral, främst hornblände, och kalifältspatfattiga. De vanligaste bergartssammansättningarna enligt fältbedömningar är granodiorit, kvartsmonzodiorit, monzodiorit, diorit och gabbro, vilket bekräftas av resultat från kemiska analyser (se avsnittet Geokemi). Rundade eller utdragna mafiska enklaver är vanliga (fig. 13a och 14). Lokalt är enklaverna omgivna av en amfibolrik reaktionsbård (fig. 14). I området öster om Norriån är berggrunden heterogen med en blandning av felsiska och mafiska komponenter.

Ett stort antal kroppar av metagabbro till metadiorit är associerade med de mer felsiska bergarterna och de kan också förekomma som intrusioner i främst Råneågruppens bergarter. I södra delen av kartområdet finns en metagabbro (Gunnarsträskgabbro) som har en cirkulär form och ett djupgående på ca 4 km enligt en geofysisk modellering (Antal m.fl. 2013, Kamm m.fl. 2013). I gabbroen uppträder magmatisk pyroxen, som i stor utsträckning omvandlats till amfibol, och plagioklas som ställvis är sericitiserad. Gunnarsträskgabbroen uppvisar ofta typiska kumulattexturer (se Kathol m.fl. 2012, Antal m.fl. 2013). På ett par ställen finns hornbländit eller andra ultramafiska bergarter (fig. 13b) som innehåller sulfidmineral.

Pertitmonzonitsviten

Intrusivbergarter tillhörande Pertitmonzonitsviten (fig. 15) dominerar i den norra delen av kartområdet. Granitisk sammansättning är helt dominerande, men resultat från kemiska analyser visar att bergarterna har sammansättningar som motsvarar granit, adamellit, granodiorit, kvartsmonzonit och kvartsmonzodiorit (se avsnittet Geokemi). I stora delar av området är bergarterna massformiga eller endast svagt folierade eller stängliga, men deformationsgraden kan i vissa zoner vara högre. Ett område med massformig granit sydväst om Marsjärv har vid tidigare sammanställningar tolkats tillhöra en yngre intrusionssvit, men gradvisa övergångar till folierade varianter tyder på att även denna massformiga variant tillhör Pertitmonzonitsviten. Grundmassan är vanligen medelkornig till grovkornig och det finns porfyriska varianter som vid starkare deformation har ögonngnejsstruktur. Enklaver kan förekomma. Gabbro till diorit finns underordnat i anslutning till graniten kring Naisjärv. Den stora, högmagnetiska intrusionen i den östra delen av kartområdet förs till Pertitmonzonitsviten och den varierar i sammansättning från diorit till kvartsmonzodiorit.

Mafiska gångbergarter

Högmagnetiska gångsvärmar med riktningarna ost–väst, nordväst–sydost och nordost–sydväst framträder tydligt i magnetiska data (fig. 3). Ett fåtal hällobservationer av högmagnetisk, stänglig amfibolit har gjorts i anslutning till linjära, högmagnetiska anomalier. Vid en lokal mellan Pålkem och Blåkölen skär amfibolit över metagranit tillhörande Pertitmonzonitsviten och båda bergarterna är genomsatta av massformiga gångar av pegmatitisk granit som tillhör Linasviten. Den nordväst–sydostliga mafiska gångsvärmen ser ut att skära över veckstrukturer i metavulkaniterna mot öster. I väster avslutas gångsvärmen mot en deformationszon, eventuellt med en sinistral inbøjning. Dessa relationer tyder på att plastisk deformation skedde både före och efter gångsvärmens intrusion, men före bildningen av Linasvitens bergarter. Det är fortfarande oklart ifall områdets övriga mafiska gångsvärmar har samma karaktär.



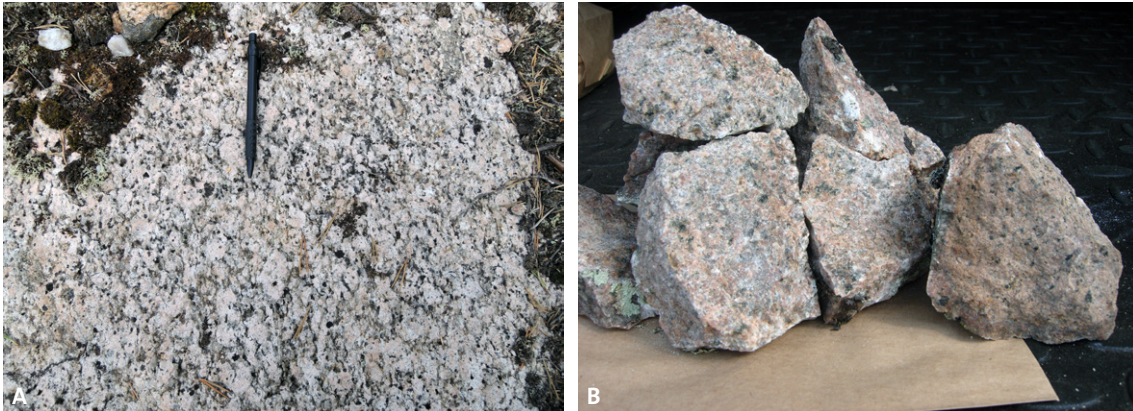
Figur 13. Bergarter tillhörande Haparandasviten. **A.** Metagranodiorit–metakvartsmonzodiorit–metatonalit med mafiska enklaver. Foto: Martiya Sadeghi. **B.** Ultramafisk bergart med linser och veckade band med olika sammansättning. Foto: Stefan Bergman.



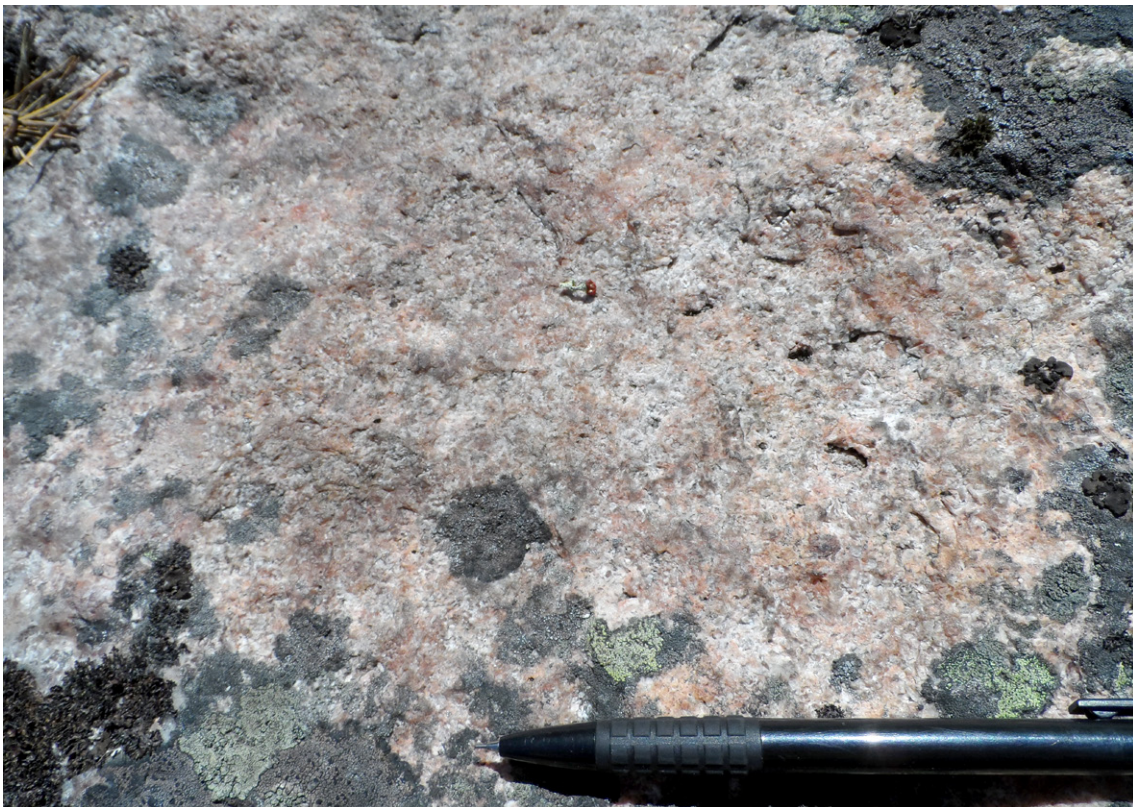
Figur 14. Metagranodiorit–metakvartsmonzodiorit–metatonalit med mafiska enklaver och gångar. Foto: Martiya Sadeghi.

Linassviten

Massformig, medelkornig granit och associerad pegmatit förekommer i ett sammanhängande område sydost om Pälkem. Området framträder med låg magnetisering på den magnetiska anomalikartan. I den äldre berggrunden finns överskärande gångar och mindre massiv av granit som tolkas höra till Linassviten. Många av dessa små intrusiva kroppar har en pegmatitisk textur och kan kallas pegmatitgranit. Bergarterna är fattiga på mörka mineral och har mestadels en enkel mineralsammansättning (fig. 16). Undantag finns i ett område sydväst om Småtallberget där pegmatitiska intrusioner i metagråvacka innehåller turmalin och granat.



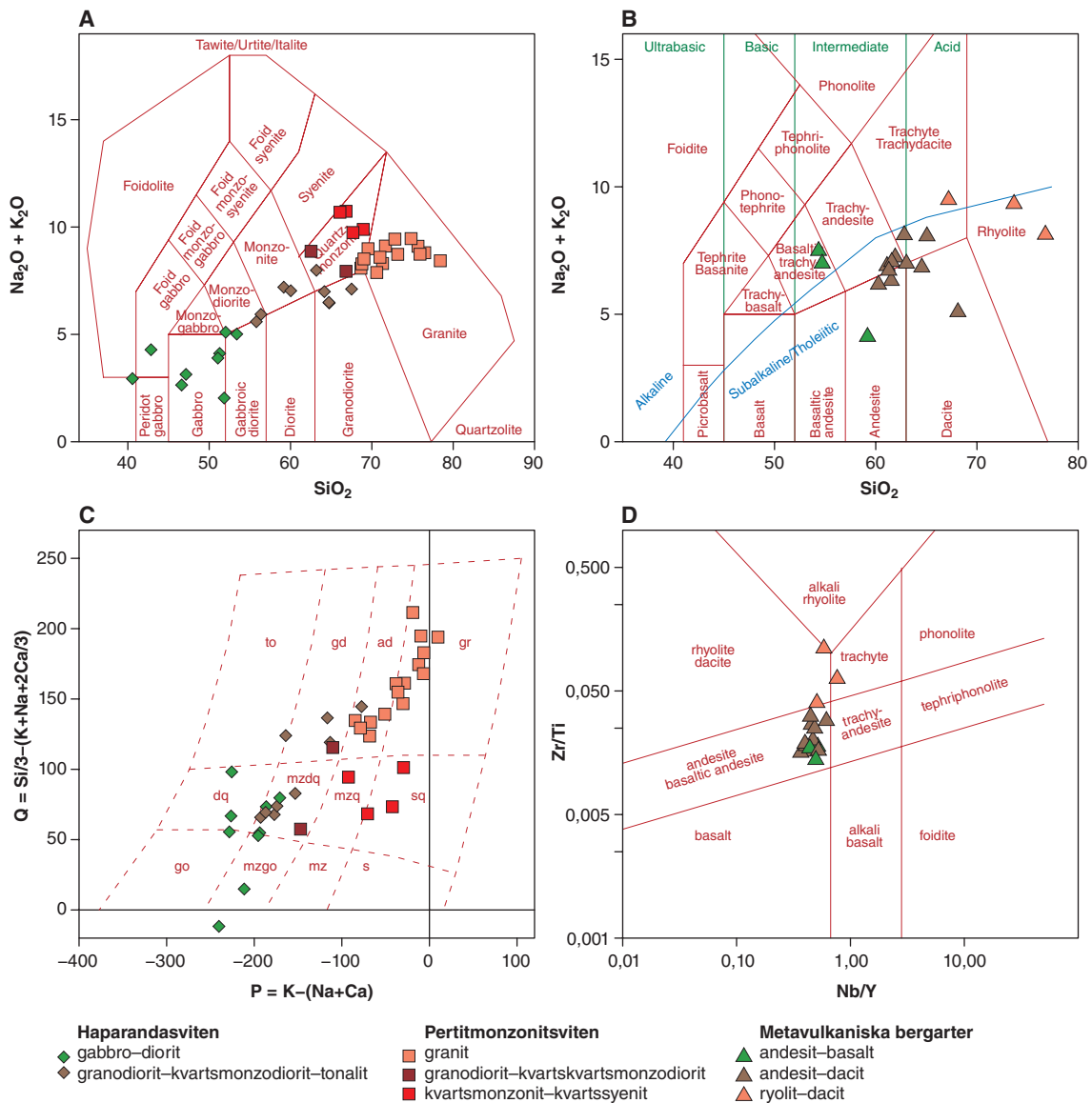
Figur 15. Bergarter i Pertitmonzonitsviten. **A.** Grovt medelkornig, mikroclinporfyrisk till ojämnkornig metagranit. Foto: Martiya Sadeghi. **B.** Medelkornig, ljusgrå till röd metagranit till metakvartsmonzonit. Foto: Ulf Bergström.



Figur 16. Massformig, medel- till grovkornig granit i Linasviten. Foto: Stefan Bergman.

Geokemi

Den geokemiska sammansättningen av de olika bergarterna inom kartområdet 26L Pålkem har dokumenterats med ett antal prover. De olika enheterna kan särskiljas och klassificeras enligt ett antal diskrimineringsdiagram (fig. 17). Vidare kan man ur materialet dra vissa slutsatser om tektonisk miljö.



Figur 17. Geokemiska diagram för bergarterna inom kartområdet 26L Pålkem. **A.** TAS-diagram (Middlemost 1985) för Haparandasvitens och Pertitmonzonitsvitens bergarter. **B.** TAS-diagram (Le Bas m.fl. 1986) för de metavulkaniska bergarterna. **C.** P-Q-diagram (Debon & Lefort 1983) för Haparanda- och Pertitmonzonitsvitens bergarter. **D.** Nb/Y-Zr/Ti-diagram (Pearce 1996) för de metavulkaniska bergarterna.

TAS-diagrammet (fig. 17a, Middlemost 1985) används för bergartsklassificering. Haparandasvitens visar en kontinuerlig trend från gabbro till granodiorit. Pertitmonzonitsvitens är till största del granitisk men det finns en del prover som visar en mer monzonitisk–syenitisk trend. Liknande egenskaper visar de vulkaniska bergarterna där de dominerande dacitiska–andesitiska vulkaniterna starkt påminner om Haparandasvitens i sin sammansättning (fig. 17b). P-Q-diagrammet (fig. 17c, Debon & Lefort 1983) används också för bergartsklassificering och kompletterar och verifierar TAS. Nb/Y-Zr/Ti-plotten (Pearce 1996) visar att vulkaniterna har en andesitisk (till dacitisk) sammansättning även med avseende på spårelement (fig. 17d).

Det finns en tydlig likhet i sammansättning mellan metavulkaniterna och Haparandasvitens bergarter. Denna sammansättning är typisk för en kontinental båge med stora batoliter av

s.k. Cordilleran-type, som t.ex. i Anderna. Pertitmonzonitsvitens bergarter visar på en liknande tektonisk miljö, men med inblandning av en större krustal komponent och mer framskriden fraktionering.

Struktur och metamorfos

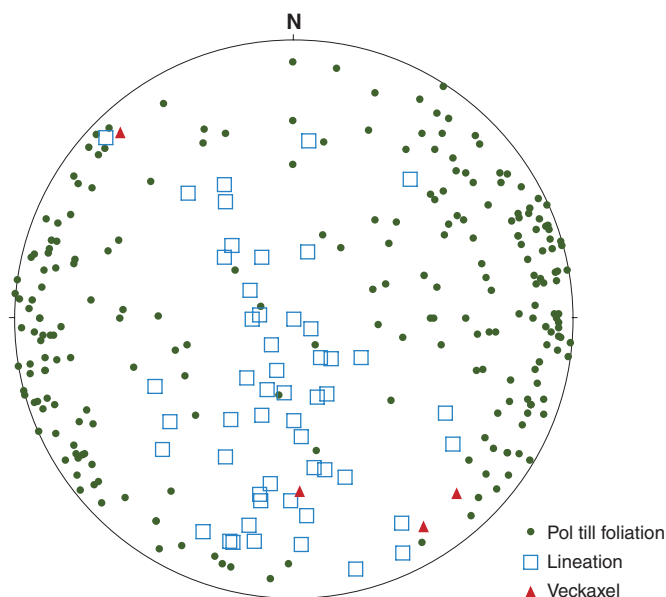
De större strukturer som präglar området är veckstrukturer, spröda och plastiska skjuvzoner med nordväst–sydostlig riktning och förkastningar. Dessa framträder tydligt både på magnetiska och elektromagnetiska data (fig. 4 och 5) och har sannolikt en regional utbredning och betydelse.

Fördelningen av ytbergartsenheter visar att det finns flera större veckstrukturer. Axialplanen till dessa stryker nordnordväst till nordväst. Metasandstenarna i Talljärvsområdet utgör kärnan i en antiklinal och Råneågruppens bergarter ligger i synklinaler på ömse sidor om denna. Förekomsten av kvartsitisk metasandsten tillhörande Talljärvsformationen i närheten av en skjuvzon väster om Grundforshed kan förklaras som en del av en avskjuvad antiklinal eller att berggrunden på den östra sidan rört sig uppåt under skjuvningen.

Foliationen varierar i intensitet från mylonitisk till mycket svag och det finns stora områden med massformig berggrund. Foliationens strykning varierar mellan nordostlig och nordvästlig och stupar mestadels brant (fig. 18). I områden mellan de stora plastiska skjuvzonerna är foliationsriktningen nordostlig till nordlig, men i närheten av skjuvzonerna svänger foliationen så att den blir mer eller mindre parallell med skjuvzonerna. Mönstret tyder på att skjuvzonerna har en komponent av sinistral rörelse och detta stöds av ett mindre antal observationer av kinematiska indikatorer i mylonitiska bergarter som visar att rörelsen varit sinistral och att den östra sidan rört sig uppåt (fig. 19a). Skjuvzonerna stupar brant mot sydväst.

De lineationer som observerats stryker vanligen mellan nord och nordväst eller mellan sydost och sydväst, med en starkt varierande, vanligen medelbrant stupning (fig. 18). Ett fåtal uppmätta veckaxlar har en relativt flack stupning.

Metamorfosgraden bedöms vara i undre amfibolitfacies i den östra delen av området där Råneågruppens finkorniga bergarter innehåller muskovit. Granitiska ådror saknas men kvartsådror är vanliga. Lokalt förekommer små gropar efter urvittrade porfyroblaster av cor-



Figur 18. Stereogram (Schmidt-nät, undre hemisfären) som visar riktningar för uppmätta plastiska strukturer.

dierit. Mot väster förekommer kvarts-fältspatådror, lokalt med granat, i en övergångszon till kraftigt uppsmält metagråvacka och diatexit. Metamorfosgraden bedöms vara mellersta amfibolitfacies i detta centrala område. De metavulkaniska bergarterna i väster har lokalt bevarade primärstrukturer och bedöms vara metamorfoserade i undre amfibolitfacies.

Plastisk deformation och metamorfos skedde efter intrusionen av de mafiska gångarna som genomslår Pertitmonzonitsvitens bergarter, men före eller samtidigt med intrusionen av Lina-svitens bergarter. Förekomsten av folierade och ådrade bergarter som xenoliter i Haparanda-svitens bergarter (fig. 19b, c) tyder dock på att det även skedde deformation och metamorfos före eller samtidigt med intrusionen av denna svit. De veckstrukturer i metavulkaniterna sydost om Pålkem som skärs av mafiska gångar (se ovan) bör också ha bildats i detta tidiga skede.

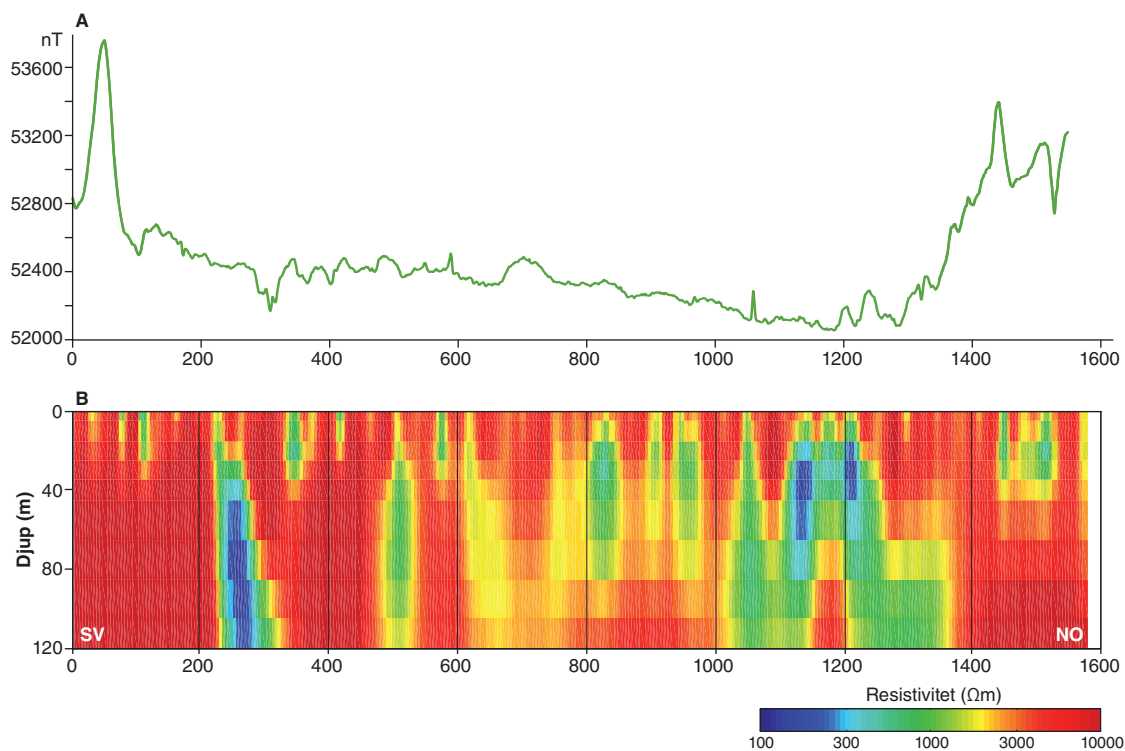
Förkastningar i nordvästlig till sydostlig riktning bildades genom reaktivering av plastiska skjuvzoner. Större spröda deformationszoner finns också i nord-sydlig och nordväst-sydostlig riktning.

2D- och 3D-modellering av insamlade geofysiska data

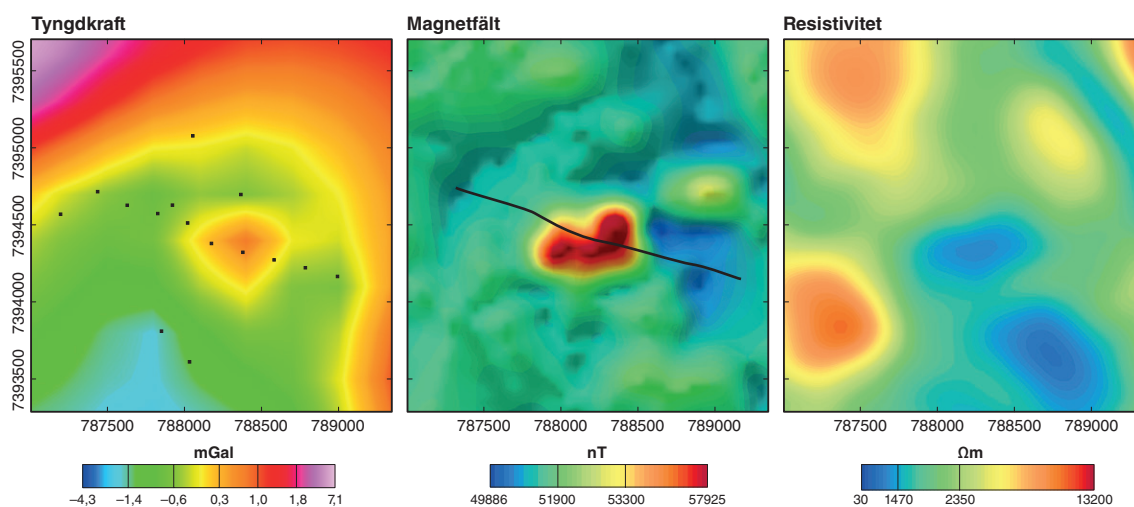
En markprofil mättes över en av deformationszonerna i den sydvästliga delen av kartområdet (fig. 4). Både magnetfältdata och VLF-data samlades in längs profilen som är 1,6 km lång. Figur 20a visar magnetfältdata över den lågmagnetiska zonen som här är upp till 1 km bred. Höllar i närheten av profilen visar att berggrunden består av metaandesit och metabasalt i början av profilen och metagabbro i slutet av profilen, dvs. bergarter med hög magnetisk susceptibilitet. I de centrala delarna finns hållobservationer av granit. Resistivitetsmodellen från 2D-inversion av VLF-data (fig. 20b) visar två zoner med mycket låg resistivitet (<100 Ω m, profilkoordinat 240 m och 1200 m) som indikerar uppsprucken, vattenfylld berggrund. Hela det centrala lågmagnetiska



Figur 19. **A.** Plastisk skjuvzon med kvartsutsöndringar. Skjuvzonen är en del av ett system med nordvästliga till sydostliga zoner med sinistral och nordöstra-sidan-upp-rörelse. I nedre delen av bilden finns svagare deformerad metagranit. Vy mot sydväst. **B.** Starkt folierad metadacit som verkar ha intruderats av granodiorit efter foliationsbildningen. **C.** Ådring i finkornig ytbergart klipps av metagranodiorit. Foto: Stefan Bergman.



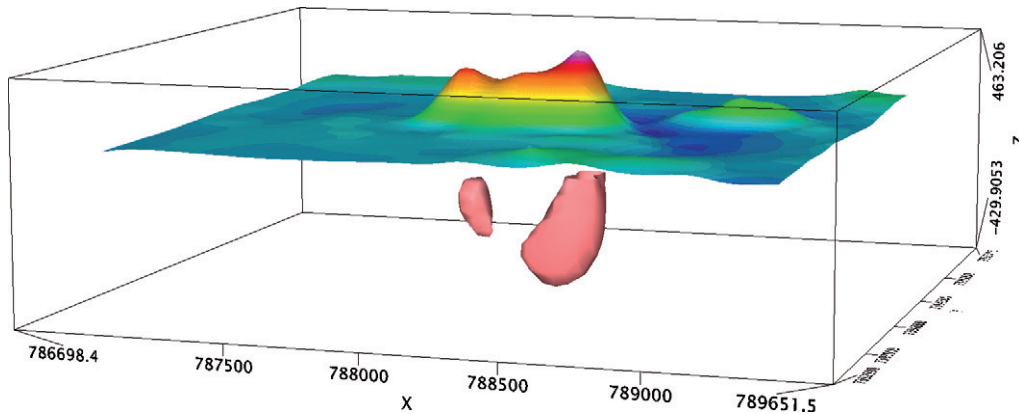
Figur 20. **A.** Markmätt magnetprofil över en lågmagnetisk deformationszon. **B.** Tolkad resistivetsmodell från markmätta VLF-data. Profilens läge visas i figur 3 och 4.



Figur 21. Detaljkartor som visar tyngdkraftsfält, magnetfält och resistivitet (beräknad från VLF-data) över en högmagnetisk anomali i den nordvästra delen av kartområdet vid Härkmyran. Punkterna visar läget för detaljerad tyngdkraftsmätning och linjen visar den markmätta profilen som tolkats i figur 23.

området har dock lägre resistivitet (1000–3 000 Ωm) i jämförelse med början och slutet av profilen vilket indikerar att deformationszonen i detta område har en bredd på uppemot 1 km.

Flera markprofiler mättes över den högmagnetiska anomalin vid Härkmyran i den nordvästra delen av kartområdet (fig. 3 och 9). Kompletterande tyngdkraftsmätningar utfördes i området under augusti 2014 med ett punktavstånd på ca 200 m. Magnetfältsanomalin sammanfaller även med ett lågresistivt område på detaljkartan över markens resistivitet (fig. 21).



Figur 22. Modell från 3D-inversion med VOXI. Kropparna motsvarar områden där den magnetiska susceptibiliteten överstiger $25\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter.

Figur 22 visar 3D-inversion av flygmätta magnetfältdata med programvaran VOXI (Geosoft). Kropparna i modellen motsvaras av susceptibiliteter högre än $25\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter. Den större kroppen har ett djupgående på ca 400 m och stupar brant mot väster.

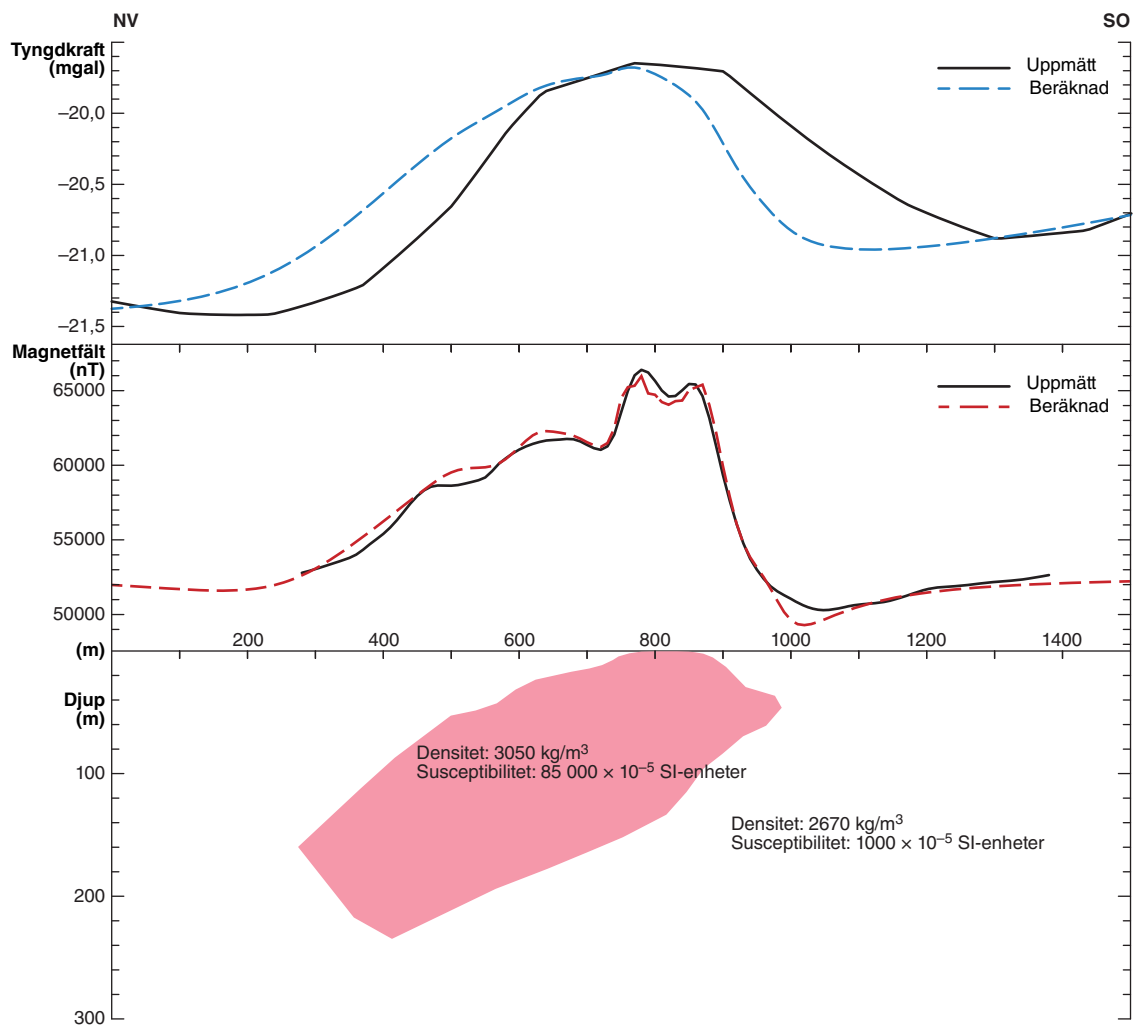
Endast två flyglinjer skär över anomalin och för att öka noggrannheten i modellen gjordes även en modellering med programvaran Modelvision (Encom) av både tyngdkraftsdata och markmätta magnetfältdata (fig. 23). Vid magnetfältmätningen uppmättes maximalt ca 70 000 nT över anomalin. Läget för den tolkade profilen visas i figur 21.

En relativt bra anpassning till de uppmätta magnet- och tyngdkraftsfälten erhålls med en susceptibilitet på $85\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter och en densitet på $3\,050 \text{ kg/m}^3$. Kroppen stupar mot väster och har ett djupgående på ca 200 m, en utsträckning längs profilen på ca 700 m och en utsträckning vinkelrätt mot profilen på 500 m. En förklaring till anomalin kan vara att den orsakas av en gabbro med mycket högt magnetit innehåll. Intressant är även att den kommer fram som en lågresistiv struktur på resistivitetskartan.

Naturresurser

Inom kartområdet 26L Pålkem finns flera geologiska miljöer som varit eller skulle kunna vara intressanta ur prospekteringsynpunkt. Bland dessa kan nämnas att kartområdet 26L Pålkem SV innehåller relativt stora områden med metavulkaniska bergarter och flera stora deformationszoner genomsätter berggrunden. Dessutom finns ultramafiska bergartsled med nickelpotential, både i de lite större gabbromassiven relaterade till Haparandasviten och i små separata kroppar inom Råneågruppens sedimentära bergarter.

I de västra delarna av Pålkebladen uppträder tre mindre mineralförekomster: Försthuvudet (även kallad Gallaberget), Lillån Norra (även kallad Åsarna) och Norra Lillån (även kallad Lillån). De är alla sulfidmineraliseringar i en vulkanisk värdbergart, med lokala guldhalter högre än 1 g/ton och anomala halter av koppar, zink, bly, molybden och silver. Även om mineraliseringarna är besläktade så finns lokala avvikelser som att Försthuvudet innehåller bornit och delar av Åsarna är turmalinförande. Mineraliseringarna är tydligt kontrollerade av spröda och plastiska strukturer och innehåller kvartsgångar i varierande utsträckning. Omvandlingszonerna omfattar bland annat epidot och magnetit. Dessa kända mineraliseringar är små, men indikerar en intressant mineraliseringstyp i området, eftersom ädelmetallhalterna är relativt höga.



Figur 23. Modellering utförd i Modelvision (Encom) av tyngdkraftsfält och magnetfält längs en 1500 m lång profil vars läge visas i figur 21.

Vid Fiskelträsk har Boliden lokaliserat en nickelmineralisering i en gabbro relaterad till Haparandasviten. Lite är känt om denna mineralisering, men Nilsson (1985) anger ett tonnage på 5,5 miljoner ton av låghaltig nickel-kopparmalm. Denna typ av nickelförande gabbro finns också i omgivande kartområden, t.ex. Notträsk (25L Boden, Arvanitidis 1982) och Östra Skogträsk (25M Kalix). En lite annan typ är mineraliseringen vid Kukasjärvi inom kartområdet 26M Överkalix, där nickelmineralisering förekommer i en ultramafisk bergartskropp i en sedimentär miljö. Sådana ultramafiska kroppar har noterats i håll på några ställen inom kartområdet 26L Pålkem och tillsammans med sulfider vid Långsel. Också granodioritiska till kvartsmonzodioritiska delar av Haparandasviten kan uppvisa anomala sulfidhalter och omvandling.

Bergtäkter

I en bergtäkt vid Björkberget, 11 km norr om Pålkem, bryts metagranodiorit (Fig. 24). En del sulfider uppträder relaterat till skjuvzoner, men det finns inte någon signifikant mineralisering. I en mindre bergtäkt vid Småtallberget, ca 10 km sydsydost om Lansån, bryts grå metagranodiorit.



Figur 24. Krossbergstäkt i förskiffrad metagranodiorit vid Björkberget. Foto: Martiya Sadeghi.

REFERENSER

- Aaro, S., Johansson, P. & Jönberger, J., 2012: SGUs tyngdkraftsundersökningar – bakgrund, syfte och Gunnarsträskgabbbron. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 20012:2*, 30 s.
- Antal Lundin, I., Sadeghi, M. & Bastani, M., 2013: 3D-modell av Gunnarsträskgabbbron. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2013:16*, 20 s.
- Arvanitidis, N., 1982: The geochemistry and petrogenesis of the Notträsk mafic intrusion, northern Sweden. Doctoral thesis. *Meddelanden från Stockholms Universitets Geologiska Institution Nr 253*, 179 s.
- Carlson, L., 1982: Guld i Norrbotten del 2. *Sveriges geologiska undersökning BRAP 82040*, 134 s.
- Debon, F. & Le Fort, P., 1983: A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences 73*, 135–149.
- Einarsson, Ö., 1998: Natursten Bodens kommun. *Rapport GeoP 98001*, 52 s.
- Hellström, F., Carlsäter Ekdahl, M. & Kero, L., 2012: Beskrivning till berggrundskartorna 27L Lansjärv NV, NO, SV, SO. *Sveriges geologiska undersökning K 387–390*, 27 s.
- Holmqvist, P.J., 1906: Studien über die granite von Schweden. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala VII*, 77–269.
- Kamm, J., Antal Lundin, I., Bastani, M. & Sadeghi, M., 2013: Integrated 3D interpretation of geological, geophysical and petrophysical data – a case study from a gabbro intrusion in Boden, Sweden. *12th SGA Biennial meeting 2013-proceedings 1*, 81–85.
- Kathol, B., Sadeghi, M., Larsson, D., Luth, S., Nysten, P. & Triumf, C.-A., 2012: Sammanfattning av pågående verksamhet 2012. Berggrundsgeologisk undersökning, Jäkkvik-Boden. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2012:25*, 44 s.

- Lake Resources NL, 2003: Exploration relinquishment report, exploration permit nr 72-2000 (Klingersel), Norrbotten district, Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Mink report 5378*, 1–35.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. & Zanettin, B., 1986: A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lilljeqvist, R., 1981: Preliminära undersökningar av guldinnehållet inom skilda geologiska miljöer av Norrbottens berggrund. *Sveriges geologiska undersökning BRAP 82040*, 1–43.
- Lundholm, I., Nisca, D. & Pinto, R., 1985: Geotolkning Överkalixområdet. *SGAB PRAP 85073*, 1–60.
- Lundmark, C. & Johansson, L., 1986: Kängesberget. *SGAB PRAP 86071*, 1–40.
- Mellqvist, C., Öhlander, B., Weihed, P. & Schöberg, H., 2003: Some aspects on the subdivision of the Haparanda and Jörn intrusive suites in northern Sweden. *GFF* 125, 77–85.
- Middlemost, E.A.K., 1985: *Magma and magmatic rocks*. Longman, London, 266 s.
- Nilsson, G., 1985: Nickel-copper deposits in Sweden. I H. Papunen & G.I. Gorbunov (red.): Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonides. *Geological Survey of Finland Bulletin* 333, 313–394.
- Pearce, J. A., 1996: A user's guide to basalt discrimination diagrams. I D.A. Wyman (red.): Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. *Geological Association of Canada, Short Course Notes* 12, 79–113.
- Ros, F., Sjöblom, B., Westerberg, S., Fors, K. & Lundmark, C., 1986: Grönstenar och sedimentbergarter i Sverige. *SGAB PRAP 84014*, 1–64.
- Silvennoinen, A., Gustavson, M., Perttunen, V., Siedlecka, A., Sjöstrand, T., Stephens, M.B. & Zachrisson, E., 1987: *Geological map, Pre-Quaternary rocks, Northern Fennoscandia. Scale 1:1000000*. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- Sjöstrand, T., Berndtsson, A. & Nisca, D., 1984: Berggrundsbeskrivning och flygmagnetisk tolkning för Överkalix. *SGAB PRAP 84014*, 1–64.
- Talbot, C., Munier, R. & Riad, L., 1989: Reactivations of Proterozoic shear zones. I G. Bäckblom & R. Stanfors (red.): Interdisciplinary study of post-glacial faulting in the Lansjärv area Northern Sweden 1986–1988. *SKB Technical Report 89-31*, 17 s.
- Witschard, F., 1984: The geological and tectonic evolution of the Precambrian of northern Sweden – a case for basement reactivation? *Precambrian Research* 23, 273–315.
- Åkerman, C. & Kero, L., 2012: Beskrivning till berggrundskartorna 26 M Överkalix NV, NO, SV, SO och 26 N Karungi NV, SV. *Sveriges geologiska undersökning K 395–399*, 26 s.
- Ödman, O.H., 1957: Beskrivning till berggrundskarta över urberget i Norrbottens län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 41*, 151 s.
- Ödman, O.H., Härme, M., Mikkola, A. & Simonen, A., 1949: Den svensk-finska geologiska ekskursionen i Tornedalen sommaren 1948. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 71, 113–126.
- Öhlander, B., 1984: Geochemical analyses of rocks of the Haparanda suite, northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 106, 167–169.