

Sammanfattning av pågående verksamhet 2021

Berggrundsgeologisk undersökning avseende kritiska metaller och mineral, Västernorrland

Martiya Sadeghi, Peter Hedin, Stefan Persson & Edward Lynch

april 2022

SGU-rapport 2022:06



Omslagsbild: Höga Kusten, vy från Dalomsberget, Hemsön. Härnögranit i håll.
Fotograf: Stefan Persson

Författare: Martiya Sadeghi, Peter Hedin,
Stefan Persson & Edward Lynch

Granskad av: Magnus Ripa

Ansvarig enhetschef: Ildiko Antal Lundin

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Utveckling av berggrunden.....	6
Tidigare arbeten.....	7
Regional geofysik.....	8
Flygburna geofysiska mätningar	8
Tyngdkraft.....	14
Resultat från fältarbeten 2021.....	16
Geologiska arbeten	16
Svekokarelska orogenen, sedimentära ytbergarter (ca 1,92–1,87 Ga)	16
Svekokarelska orogenen, vulkaniska ytbergarter (ca 1,92–1,87 Ga)	18
Svekokarelska orogenen, metamorfa intrusivbergarter (ca 1,92–1,87 Ga)	18
Migmatiter (ca 1,87–1,84 Ga?)	21
Syn- till senorogena granitoider (ca 1,87–1,85 Ga)	22
Postsvekokarelska intrusivbergarter (ca 1,60–1,47 Ga)	27
Postsvekokarelska bergarter (ca 1,47–1,28 Ga)	29
Postsvekokarelska bergarter (ca 1,28–1,20 Ga)	30
Gångbergarter.....	31
Geofysiska arbeten 2021	33
Markspektrometriska mätningar	33
Petrofysik.....	35
Geofysiska markprofiler.....	35
Tack.....	37
Referenser.....	37

SAMMANFATTNING

Huvudsyftet med SGU:s projekt ”Västernorrland litium” är att ta fram ny information över berggrunden och dess fysikaliska egenskaper, samt att undersöka särskilt intressanta förekomster av de metaller och mineral som är viktiga för omställningen till grön energi och ny teknik. I denna rapport presenteras representativa fältobservationer från arbetet under 2021 inom delprojektområdet ”Kramfors”. Även geofysiska markmätningar presenteras.

Det bristfälliga underlaget av petrofysiska mätningar från olika typer av bergarter i området har efter arbetet under 2021 systematiskt utökats med nya stuffer, vilka nu är uppmätta i SGU:s petrofysiska laboratorium. Även det litogeokemiska underlaget har utökats. I rapporten beskrivs bergarterna i förhållande till deformation och migmatisering, och däribland granit-pegmatiterna som eventuellt har potential till kritiska metaller och mineral såsom litium. Huvuddelen av den insamlade informationen finns i SGU:s olika databaser.

Under det geologiska fältarbetet dokumenterades berggrundsobservationer på 443 lokaler. 83 tunnslip framställdes för petrografisk analys och geokemiska analyser gjordes på 75 prover. Resultaten av dessa redovisas inte i här utan kommer att redovisas i slutrapporten 2024.

Under fältarbetet besöktes även 64 lokaler för insamling av geofysisk information. Sammanlagt utfördes 84 spektrometermätningar och 108 prover togs för bestämning av bergartens petrofysiska egenskaper (densitet och magnetiska egenskaper). Tre markprofiler mättes med magnetometer och VLF-instrument. Tyngdkraftsmätningar gjordes på totalt 618 platser, varav 310 i Järkvissleområdet och 308 i Kramforsområdet.

INLEDNING

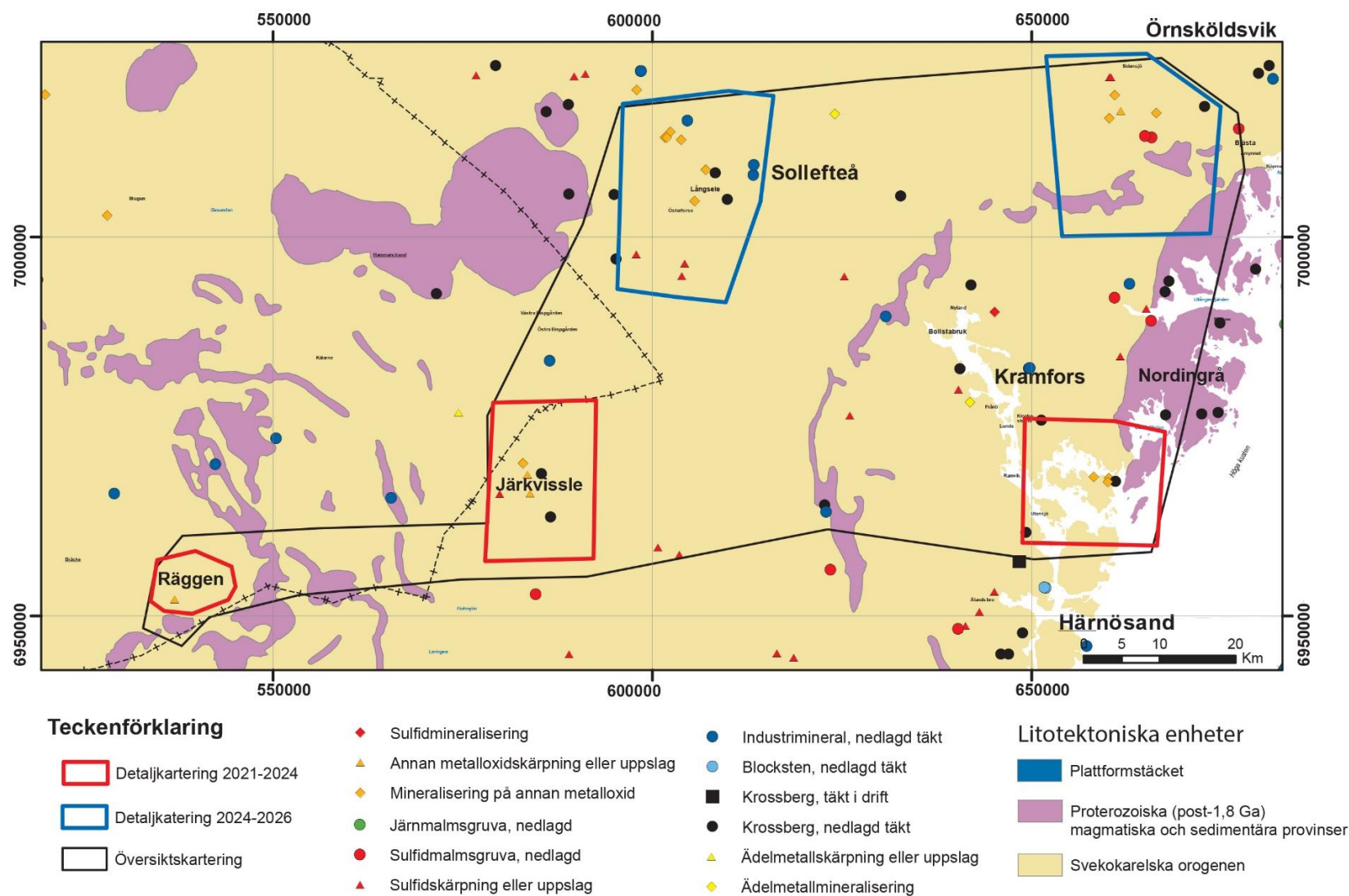
Projektet ”Västernorrland litium” ingår i SGU:s långtidsplan för perioden 2021–2027 och rör systematisk kartering av energi-, batteri- och innovationskritiska metaller och mineral. Det har en stark koppling till en rad viktiga omvärldsfaktorer med direkt påverkan på samhället, såsom omställning till grön energi, ny teknikutveckling och Agenda 2030. Huvudsyftet är att ta fram ny information över berggrunden, dess fysikaliska egenskaper samt att göra en detaljerad undersökning av särskilt intressanta förekomster av metaller och mineral. Projektet avser att genom riktade insatser uppdatera de geologiska, geofysiska och geokemiska underlagen med nya data och kunskaper gällande relevanta Li-, Sn-, W-, Nb-, och Ta-mineraliseringar samt omvandlingar, strukturer och den kemiska sammansättningen i berggrunden. Undersökningen ska göras inom fem valda områden (fig. 1), och där tillräckligt mycket underlag finns tillgängligt ska, om möjligt, maskin- och djupinläring för integration av geologisk, geokemisk och geofysisk information (sk *prospectivity mapping*) användas för harmonisering av berggrundskartan.

Projektet består av två delprojekt:

Delprojekt 1: Under 2021–2023 uppdatera information om berggrunden, inklusive mineraliseringar, genom detaljerad kartering av områdena runt Kramfors, Järkvissle och Räggen samt översiktligt harmonisera kartbilden av berggrunden i området mellan Kramfors och Järkvissle

Delprojekt 2: Under 2024–2025 göra motsvarande undersökningar i områdena runt Sollefteå och Orrvik (Örnsköldsvik) samt översiktligt harmonisera berggrundskartan i området mellan Örnsköldsvik och Sollefteå.

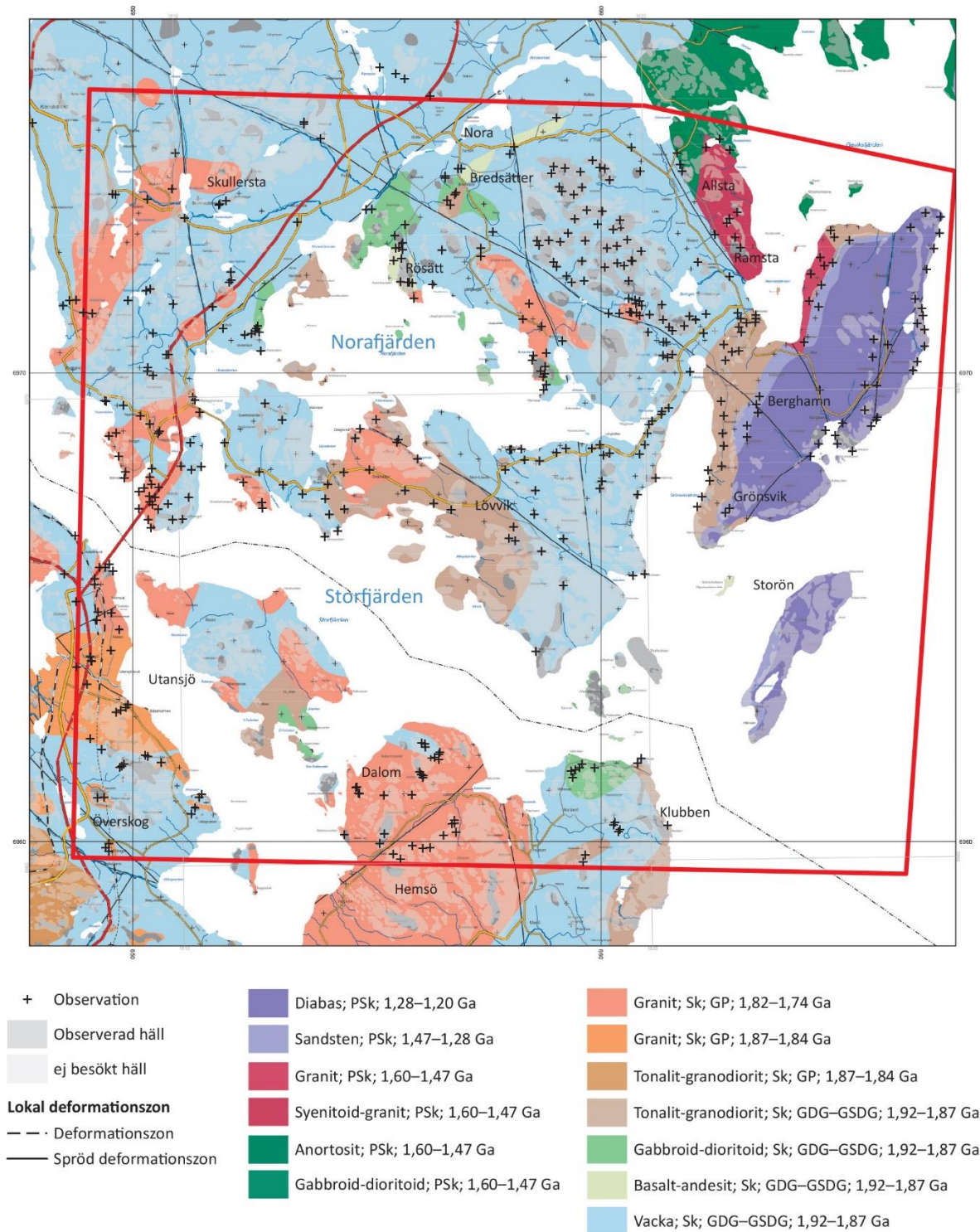
Projektarbetet startades i maj 2021 och undersökningarna i fält under sommaren 2021 utfördes av Peter Hedin, Edward Lynch, Stefan Persson, Martiya Sadeghi och extrageolog Erika Nääs.



Figur 1. Översikt över projektområdena inklusive tidsplan.

UTVECKLING AV BERGGRUNDEN

En förenklad berggrundsgeologisk karta för Kramforsområdet visas i figur 2. Berggrunden här domineras av svekokarelska och postsvekokarelska bergarter. Äldst är svekofenniska ytbergarter



Figur 2. Översiktskarta för det under 2021 karterade området, med observationslokaler. PSk = postsvekokarelska orogonen, Sk = Svekokarelska orogonen, GP = granit-pegmatit, GDG = granit-dioritoid-gabbroid, GSDG = granit, syenitoid-dioritoid-gabbroid.

som till största del bildats av stora mängder sediment som avsattes i ett dåtida hav, för minst ca 1,8–1,9 Ga sedan; i den norra delen av området förekommer även vulkaniter. Ytbergarterna intruderades av tidigorogena djup- och gångbergarter, huvudsakligen med granodioritisk men även tonalitisk och basisk sammansättning. Under kulminationen av den svekokarelska orogenen utsattes de ovan nämnda bergarterna för metamorfos (omvandling) och deformation när de fördes ner i jordskorpan och där påverkades av höga temperaturer eller tryck eller bådadera. I vissa områden var omvandlingen så stark att bergarterna helt eller delvis smälte upp. I det senare fallet bildades olika typer av migmatiter, i det förra smältor (magmor) som steg uppåt i jordskorpan och där ansamlades till större kroppar vilket gav upphov till en ny generation djup- och gångbergarter, s.k. syn- till serorogent svekokarelska. Karaktären varierar mellan dessa bildningar men ett vanligt kännetecken är att de är tvåglimmergraniter. En varietet är s.k. Härnögranit, med en ålder av ca 1,82 Ga (Claesson & Lundqvist 1995). Stora massiv av pegmatit räknas också till denna generation av intrusioner, och de innehåller lokalt rikligt med större eller mindre xenoliter/restiter av sedimentära bergarter och äldre granitoider.

Efter den svekokarelska orogenesen intruderades den äldre berggrunden av post- och anorogen granit, gabbro och anortosit (ca 1,60–1,47 Ga). Därefter rådde tämligen lugna förhållanden i berggrunden, med vittring, sprickbildning, förkastning och avsättning av sand och lera i grunda vattenmiljöer eller som eoliska (vindavsatta) bildningar, dessa sediment ser vi idag i den östra delen av karteringsområdet som jotnisk sandsten med en ålder på ca 1,47–1,28 Ga. I ett ytterligare senare skede, vid ca 1,27–1,20 Ga, trängde basisk magma in i jordskorpan övre delar och bildade dels flacka täcken med upp till några hundra meters mäktighet, dels smala, branta sprickfyllnader (gångar). Dessa magmor är nu gabbroider och gabbropegmatiter och är i teckenförklaringen till figur 2 betecknade som diabas.

TIDIGARE ARBETEN

Den tidigaste berggrundskartan över Västernorrland gjordes av af Forsselles (1855), men den omfattade inte hela det nuvarande länet. Den första länskartan över Västernorrland med tillhörande beskrivning upprättades av Lundbohm (1899) på uppdrag av länets hushållnings-sällskap. En doktorsavhandling av Sobral (1913) fokuserade på Nordingråområdets berggrund med petrografiska undersökningar och bergarternas ålderförhållanden. Von Eckermann (1928, 1938) gjorde dels en kartläggning längs den då nybyggda Ostkustbanan mellan Gävle och Härnösand, dels en karta över delar av Nordingråmassivet med fokus på anortositen. Sandstensformationen i Nordingråtrakten beskrevs framför allt av Lundbohm (1899), Sobral (1913) och Bergman (1980). En beskrivning av de postsvekokarelska sandstenarna i Baltiska skölden gjordes av von Eckermann (1937a). Vid olika tillfällen har arbeten utförts för att kartlägga berggrunden i Bottenhavet, speciellt utbredningen av sedimentbergarterna från jotnium, kambrium och ordovicium. Särskilt bör nämnas arbetena av Veltheim (1962), Winterhalter (1972), Floden m.fl. (1980) och Axberg (1980). En sammanfattande karta över den svenska kontinentalsockeln presenterades av Ahlberg (1986) På uppdrag av Statens industriverk gjorde SGU en sammanställning av berggrund, malmer och mineraliseringar i Västernorrlands län (Statens industriverk 1980a och b). Till rapporterna gjordes också berggrundskartor, vilka var oreviderade, tidiga versioner av delar av SGU:s länskarta (Lundqvist 1987), dessa versioner publicerades även t ex i rapporter om naturvårdsinventeringar (Guvå 1971, 1972).

Det s.k. Ragundaprojektet (Lundqvist & Antal Lundin 1999) var ett samarbete mellan länsstyrelserna i Jämtland och Västernorrland och SGU med syfte att sammanställa, komplettera och uppdatera befintlig berggrundsgeologisk och geofysisk information i skala 1:50 000 inom ett begränsat område.

Som en del av SGU:s systematiska geologiska kartering undersöktes södra delen av projektområdet åren 2005–2008 inom projektet ”Sundsvall, berg och bergkvalitet” (Nilsson m.fl. 2009).

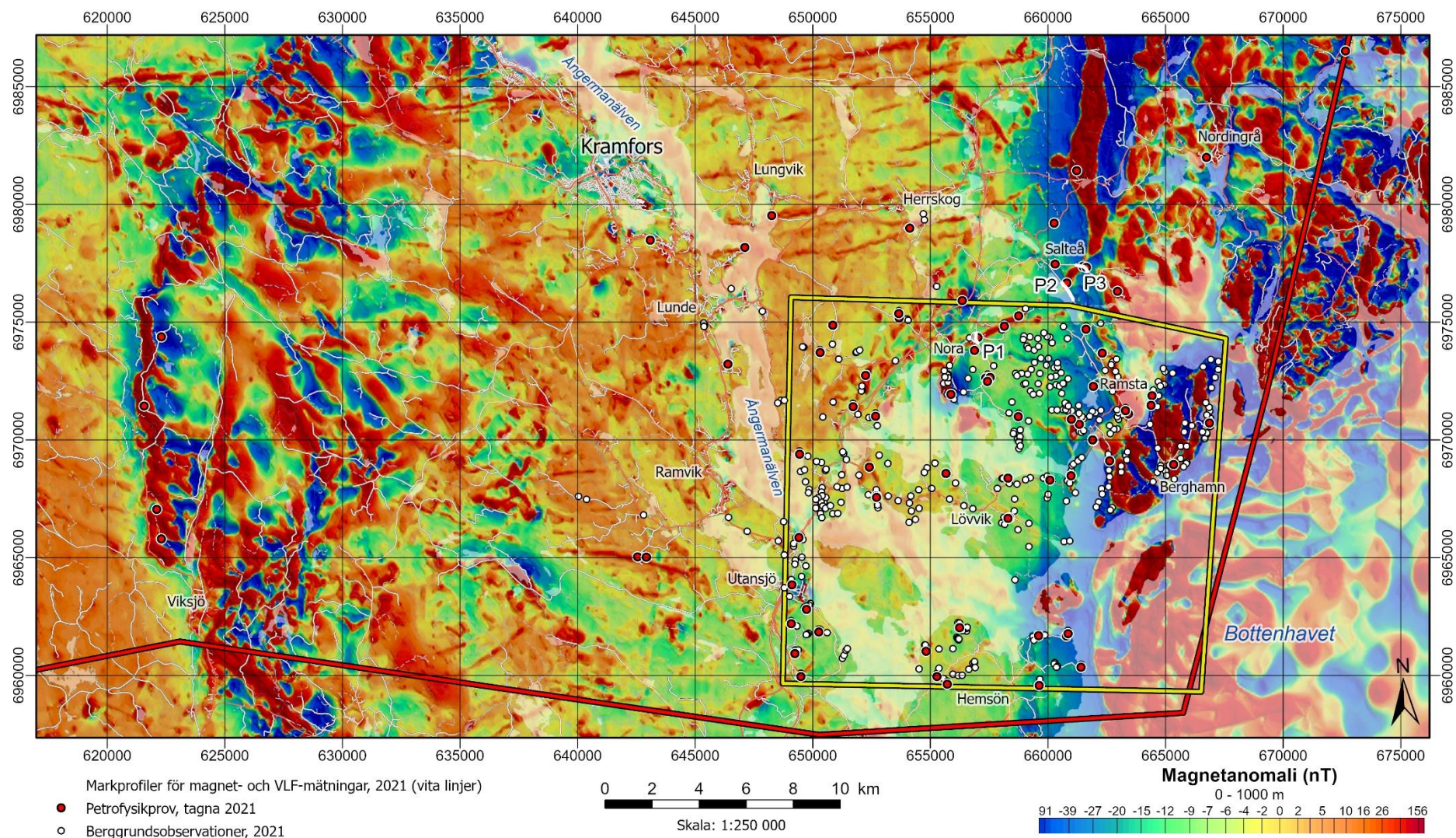
REGIONAL GEOFYSIK

Flygburna geofysiska mätningar

Projektområdet har täckts av tolv flygburna geofysiska mätkampanjer mellan 1977 och 1999. Under åren har rutiner förändrats och instrument utvecklats med flera viktiga förbättringar, som t.ex. GPS-positionering och en förbättrad mätnoggrannhet för samtliga metoder, vilket ger en stor variation inom området vad gäller datakvalitet. Under samtliga kampanjer har man mätt det magnetiska totalfältet och den naturliga gammastrålningen och vid sex av kampanjerna, från och med 1988, gjordes även mätningar av det elektromagnetiska fältet inom frekvensbandet för VLF (Very Low Frequency, 15–30 kHz). Mätningarna gjordes längs raka flyglinjer med ett nominellt linjeavstånd på 200 m över land och 500 till 1000 m över Bottenhavet. Flygriktningen har mellan de olika kampanjerna varierat från nordsydlig till östvästlig. Fram till 1994 gjordes flygmätningar på en nominell flyghöjd av 30 m men sedan 1995 har den varit 60 m. De äldsta kampanjerna i området hade ett mätpunktsavstånd längs flyglinjerna på ca 40 m, medan systemet som använts efter 1995 har ett mätpunktsavstånd på ca 15 m.

Inom 2021 års fokusområde samlades flygburna geofysiska data in mellan 1997 och 1999, och moderna magnet-, spektrometri- och VLF-data finns därför tillgängliga och de ligger till grund för nedanstående geofysiska kartor. Vid dessa mätkampanjer användes en magnetometer med en mätnoggrannhet på ca 1 nT. En magnetisk anomalikarta över området visas i figur 3. Positiva avvikelser (röda nyanser) visar områden med starkare magnetiska egenskaper, vilket ofta är kopplat till ferro- och ferrimagnetiska mineral såsom till exempel magnetit.

I västra delen av visat område i figur 3 ses ett mönster av starka positiva magnetiska anomalier som troligen är kopplade till en subhorisontellt liggande mafisk intrusion. I de centrala delarna av kartan i figur 3, speciellt öst till nordöst om Kramfors, ses ett stort antal linjära, östvästliga positiva anomalier som troligtvis är kopplade till subvertikala diabasgångar. Vid Nora finns en tydlig positiv magnetanomali i sydväst-nordöstlig riktning som torde motsvara intermediära till basiska metavulkaniska bergarter. Detta stråk av metavulkaniter har en möjlig fortsättning från Salteå och norrut. Ute vid kusten, vid Berghamn, ses en mycket stark positiv anomali som verkar fortsätta mot sydost under Bottenhavet. Den är kopplad till en mafisk intrusion och kan möjligtvis vara av samma typ som den subhorisontella mafiska intrusionen i kartområdets västra delar. Norr om Berghamn ligger Nordingråmassivet med granit, gabbro och anortosit, vilket ger upphov till områdets starka magnetiska respons.



Figur 3. Magnetisk anomalikarta över projektområdets sydöstra del. Baserad på flygburna magnetiska mätningar utförda mellan 1997 och 1999 och beräknad som differensen mellan det polreducerade magnetiska totalfältet och en analytisk uppåträkning på 1 km. Den röda och svarta linjen avgränsar projektets undersökningsområde och den gula och svarta linjen markerar 2021 års huvudsakliga fokusområde. Semitransparenta vita områden är vattenytor.

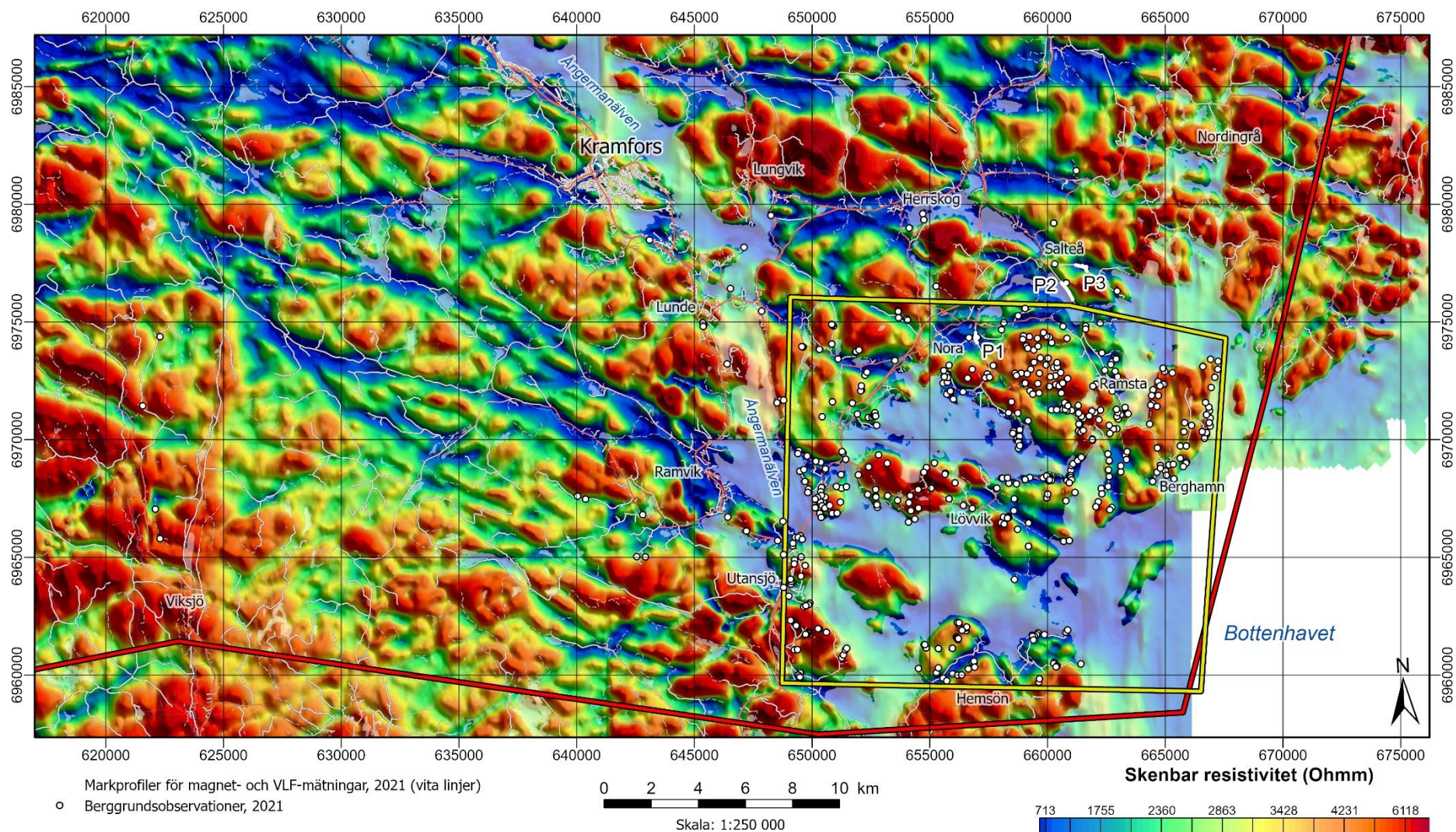
Vid de moderna VLF-mätningarna registreras signalen från två sändare i stället för, som tidigare, bara en. Tidigare mätningar baserade på enbart en sändare hade hög känslighet för elektriska ledare som är orienterade i riktning mot sändaren, men låg känslighet för elektriska ledare orienterade vinkelrätt mot riktningen till sändaren. De moderna VLF-data som använder två sändare ger information om markens elektriska ledningsförmåga och kan användas för att skapa riktningsoberoende kartor över markens skenbara resistivitet och strömtäthet. Den skenbara resistiviteten i området, beräknad utifrån flygmätningar utförda 1997–1999, visas i figur 4. Blå nyanser indikerar låg elektrisk resistivitet, det vill säga god elektrisk konduktivitet eller ledningsförmåga. God ledningsförmåga kan tyda på förekomst av till exempel elektriskt ledande mineraliseringar i berggrunden eller vattenförande formationer och strukturer, men även på sjöar, vattendrag och infrastruktur. Där områden eller stråk med hög elektrisk ledningsförmåga sammanfaller med positiva magnetiska anomalier kan det finnas vissa typer av mineraliseringar i berggrunden.

Ett stort antal linjära, konduktiva anomalier ses löpa genom områdets centrala delar i riktningen VNV–OSO (fig. 4). Konduktiva zoner korsar även området i nordost-sydvästlig riktning. För några av dessa kan inte infrastruktur eller vattenförekomster uteslutas som källa till den geofysiska responsen, då de följer vägnätet eller system av sjöar och vattendrag, men merparten av de stora konduktiva zonerna kan vara kopplade till deformationszoner. I Nora-området sammanfaller förhöjd konduktivitet med det högmagnetiska stråket som kopplas till metavulkanit, vilket skulle kunna tyda på elektriskt ledande mineralisering. Vid den möjliga förlängningen av de basiska metavulkaniterna från Salteå och mot norr observeras ingen förhöjd konduktivitet som sammanfaller med magnetanomalin, vilket tyder på att konduktivitetsanomalin i Noraområdet mer sannolikt orsakas av den infrastruktur som finns här.

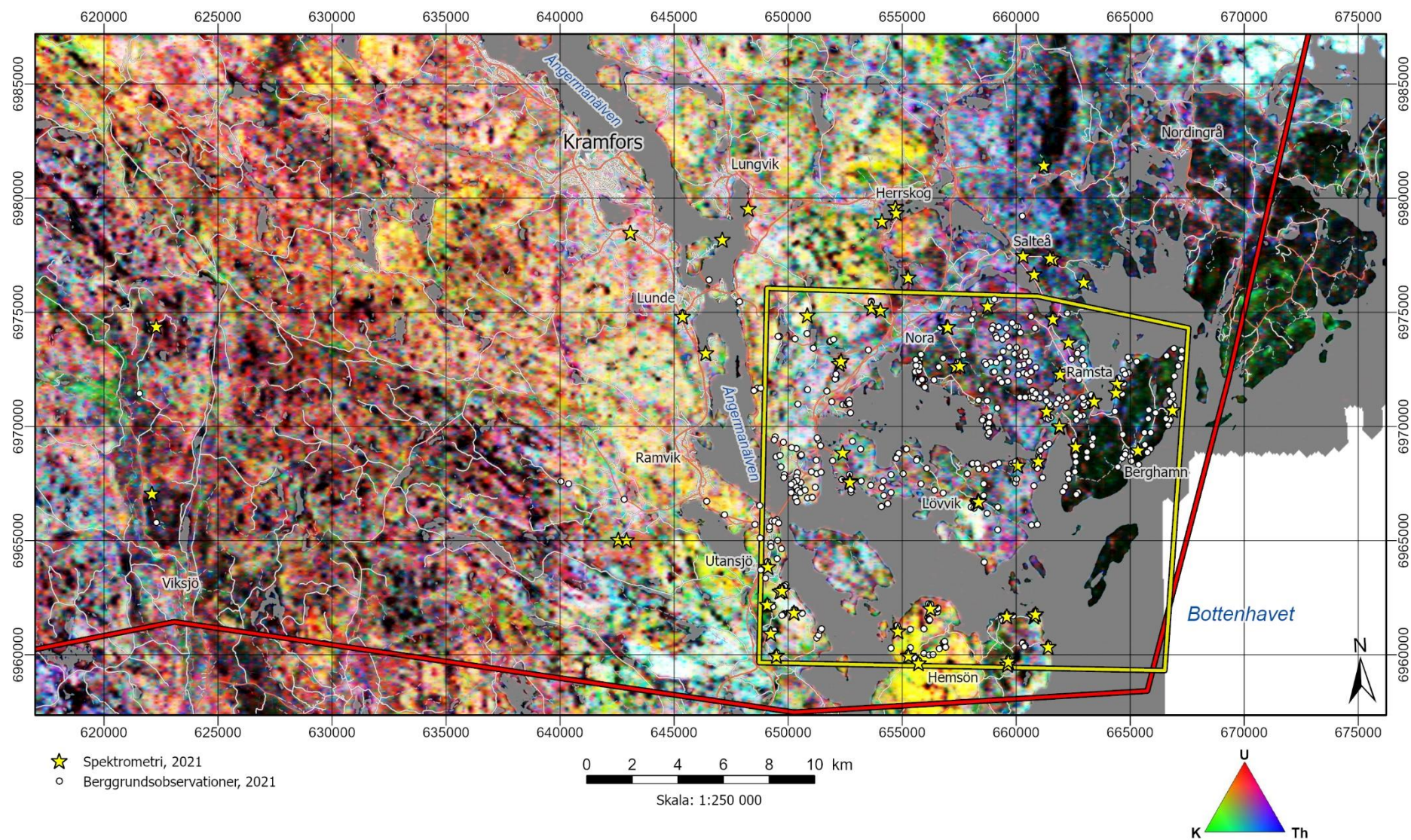
Spektrometriska data från flygmätningar insamlade mellan 1997 och 1999 ligger till grund för den ternärkarta som visas i figur 5. Gröna nyanser betyder att det radioaktiva sönderfallet av kalium dominerar den uppmätta gammastrålningen, medan röda och blå nyanser betyder att en övervikt av sönderfall av uran respektive torium dominerar. Svarta eller mörka områden indikerar låg strålningshalt, typiskt för vattenytor och våtmark samt basiska bergarter, medan vita områden tyder på hög strålningshalt utan dominans av något av elementen.

Spektrometri mäter generellt strålning från material på djup ner till några decimeter under markytan och är därmed mycket känslig för sediment, vegetation och viss infrastruktur. Inom området kan en gradvis ökande blottningsgrad av berggrunden ses från väst, där skogsmark och sankmark dominerar, till kustområdet i öst där blottad håll är betydligt vanligare. Därför reflekterar data från flygmätningarna i de östra delarna i högre grad strålning från berggrunden än de i de västra delarna där väldigt låg strålning mätts upp. Den mörka färgen i de östra delarna orsakas av de mafiska intrusionerna. Den gula nyans som ses i ternärkartans centrala dalerna är kopplad till höga halter av kalium och uran i de granitiska till migmatitiska bergarter som tros utgöra berggrunden här. Speciellt höga halter av uran och kalium observeras vid de granitiska bergarterna i den västra delen av ön Hemsön i detaljområdets sydligaste del. Torium-halterna är generellt låga inom området förutom vid ett fåtal platser såsom sydväst om Utansjö, strax sydöst om Lövvik och nordöst om Nordingrå. Dessa ses som vita områden i ternärkartan då de även sammanfaller med förhållandevis höga halter av kalium och uran.

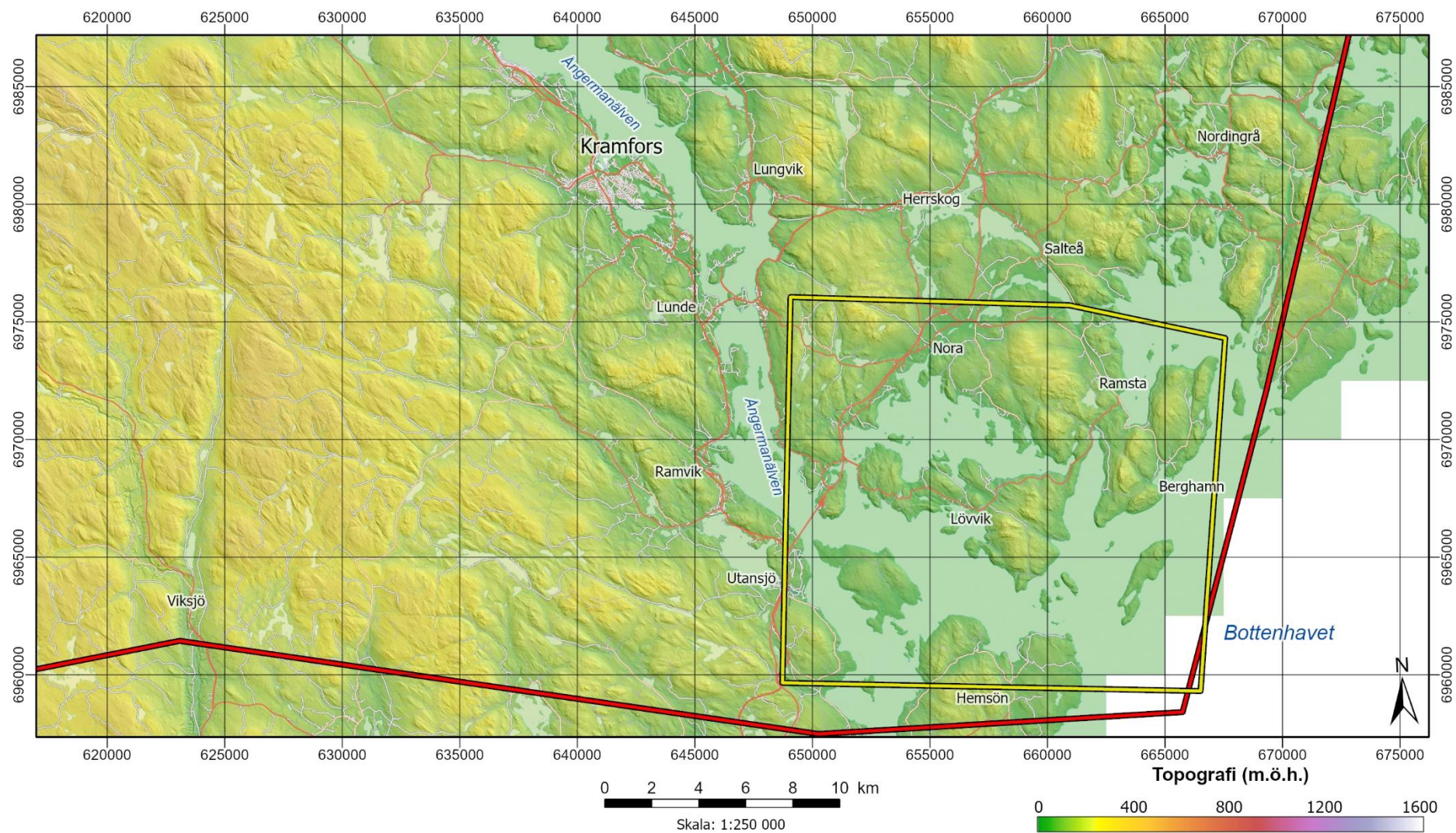
En högupplöst topografisk modell, baserad på flygburen laserskanning (LIDAR), har erhållits från Lantmäteriet och omarbetats till att ha en upplösning på 20×20 m (se fig. 6). Tydliga regionala topografiska lineament som visar god korrelation med framför allt lineamenten av förhöjd konduktivitet observeras.



Figur 4. Karta över skenbar resistivitet över projektområdets sydöstra del. Beräknad utifrån flygburna VLF-mätningar utförda mellan 1997 och 1999. Den röda och svarta linjen avgränsar projektets undersökningsområde och den gula och svarta linjen markerar 2021 års huvudsakliga fokusområde. Semitransparenta vita områden är vattenytor.



Figur 5. Ternärkarta baserad på uppmätta halter av kalium, uran och torium från flygburna mätningar av naturlig gammastrålning utförda mellan 1997 och 1999. Den röda och svarta linjen avgränsar projektets undersökningsområde och den gula och svarta linjen markerar 2021 års huvudsakliga fokusområde. Semitransparenta vita områden är vattenytor.

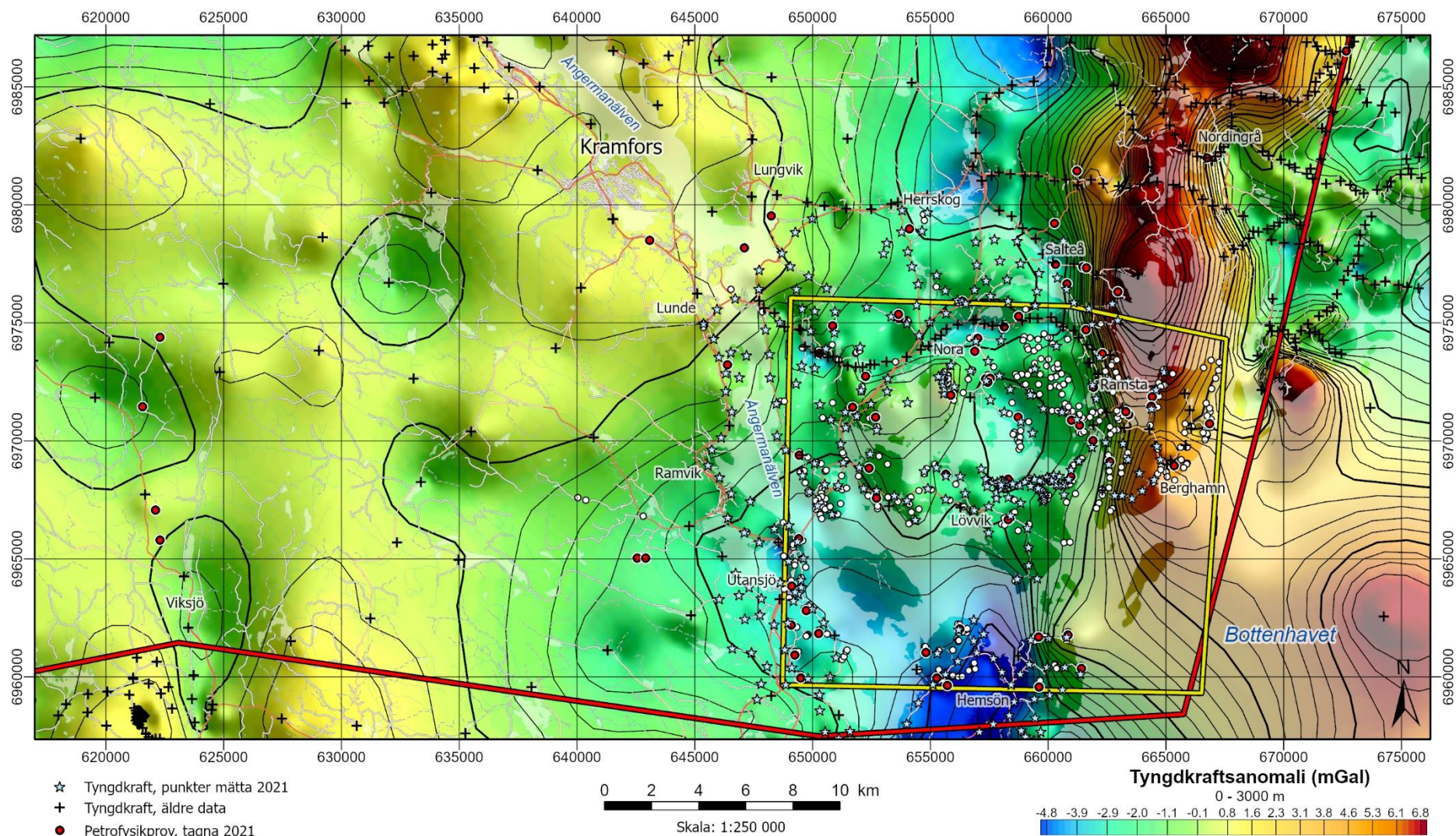


Figur 6. Topografisk modell med 20 × 20 m upplösning, baserad på flygburen laserskanning (LIDAR) utförd av Lantmäteriet. Den röda och svarta linjen avgränsar projektets undersökningsområde och den gula och svarta linjen markerar 2021 års huvudsakliga fokusområde. Semitransparenta vita områden är vattenytor.

Tyngdkraft

Tyngdkraftsmätningar för regional täckning har utförts inom projektområdet i flera omgångar sedan tidigt 1900-tal. Inom ett begränsat område norr om Kramfors når punkttätheten 8 punkter/km², i Nordingråområdet är den ca 1,5 punkter/km² och vid Järkvissle–Bispgården strax under 1 punkt/km². I övriga delar av projektområdet är punkttätheten mycket lägre och i stora delar så låg som 1 punkt per 5–10 km². Under 2021 utfördes totalt 618 nya, kompletterande tyngdkraftsmätningar inom projektområdet, varav 308 gjordes i Kramforsområdet och 310 i Järkvissleområdet. Mätningarna utfördes längs väg med målet att uppnå en genomsnittlig punkttäthet på 1–2 punkter/km². Tyngdkraftsinstrumentet som användes är en Scintrex CG-5 och höjd- och lägesbestämningar gjordes med ett GNSS-instrument från Topcon, som använder GPS-, Glonass- och Galileo-satelliter och korrektioner via n-RTK från SWEPOS.

Tyngdkraftsanomalikartan som ses i figur 7 är baserad på samtliga tyngdkraftsdata inom kartområdet och har beräknats som differensen mellan Bougueranomalin och en analytisk uppåträkning av den på 3 000 m. Generellt sett har basiska bergarter, såsom gabbro och diabas, liksom vissa mineraliseringar, relativt hög densitet och ger upphov till positiva tyngdkraftsanomalier (röda nyanser). Sura bergarter, såsom granit, har generellt sett relativt låg densitet och kan ge upphov till negativa tyngdkraftsanomalier eller lokala massunderskott (blå nyanser). Även deformationszoner kan ge upphov till negativa tyngdkraftsanomalier.



Figur 7. Tyngdkraftsanomalikarta baserad på mätningar fram till och med 2021, beräknad som differensen mellan den uppmätta Bougueranomalin och en analytisk uppträckning på 3 km av densamma. Isolinjer följer 0,5 mGal- (tunna) och 2,5 mGal- (tjocka) ekvidistans. Den röda och svarta linjen avgränsar projektets undersökningsområde och den gula och svarta linjen markerar 2021 års huvudsakliga fokusområde. Semitransparenta vita områden är vattenytor.

RESULTAT FRÅN FÄLTARBETEN 2021

Geologiska arbeten

Svekokarelska orogenen, sedimentära ytbergarter (ca 1,92–1,87 Ga)

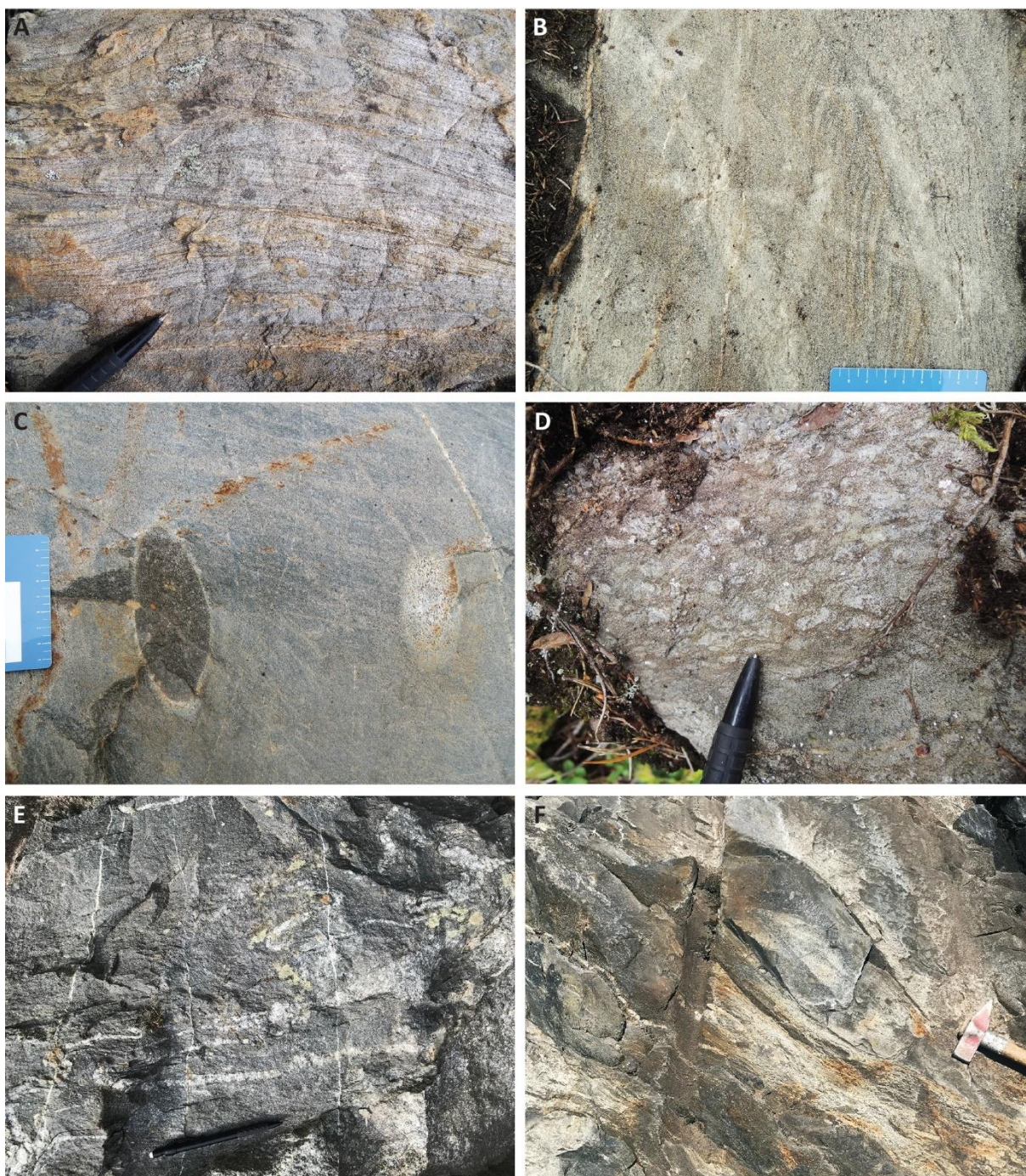
Metagråvacka

Metagråvackor är mest dominerande i norra delen av projektområdet, till exempel vid Klockersstrand, norra Nora och inom området Hornöberget-Lövvik. De är i området ställvis välbevarade med tydliga primärstrukturer, såsom korsskiktning (fig. 8A) och graderad skiktning (fig. 8B). Linsformade, kalkrika konkretioner som förskarnats är också karakteristiska för bergarten (fig. 8C). Tunna inlagringar av mer argillitiska eller glimmerrika skikt förekommer; de är vanliga i östra delen av karteringsområdet.

Metagråvackan består till övervägande del av ursprungligt kvartsrika, sandiga avlagringar. Den är grå till mörkgrå samt vanligtvis finkornig (ca 0,1–1 mm) och väl sorterad. Plagioklas utgör det dominerande mineralet tillsammans med kvarts, biotit och muskovit. Mindre mängder kalifältspat förekommer också. Det finns även omvandlade rester av metamorfa mineral som cordierit (fig. 8D) och aluminiumsilikat (troligen sillimanit). Grafit och magnetkis är inte ovanliga och rostiga vittringsytor förekommer lokalt.

I de flesta områdena har gråvackan migmatiserats med en varierande grad av uppsmältning, till exempel i centrala delen av Lövvik och väster om Högakustenbron. I Grönsvik-Berghamn-området finns yngre mafiska och felsiska intrusiva bergarter i metagråvackan. Här har den tektoniska foliationen brant till nästan vertikal stupning (fig. 8E). Felsiska ådror eller band av finkornigt till medelkornigt (ca. 0,1–3 mm), leukokratiskt material, finns orienterade parallellt med S1-foliationen (fig. 8E–F).

Deformationsstrukturerna domineras av en förskiffring som är parallell med lagringen. Detta tyder på att bergarten varit utsatt för kompression med den huvudsakliga tryckriktningen vinkelrätt mot lagringen. En brant lineation med en dominerande sydlig strykning överensstämmer med veckaxlar orsakade av den regionala tvärveckningen.



Figur 8. A. Korsskiktad metagråvacka, nordvästra delen av Hemsön. SPN210206 (6962113/656172). Foto: Stefan Persson. **B.** Skallerstaområdet, lagrad metagråvacka med glimmerrika lager visande yterosionsstruktur "surface of erosion". MSI210016 (6975313/653657). Foto: Martiya Sadeghi. **C.** Cordieritporfyroblaster i metagråvacka, nordvästra delen av Hemsön. SPN210201 (6961768/656362). Foto: Stefan Persson. **D.** Lagrad, bandad metagråvacka med sandiga till leriga mörka lager vid Lillsjön; söder om Bredsätter. Skarnlinser är vanligt förekommande, gråvackan är lite stromatiskt migmatiserad. MSI210071 (6976522/655277). Foto: Martiya Sadeghi. **E.** Metatexitisk metagråvacka med veckad leukosom. ELH210004 (6967251/650356). Foto: Edward Lynch. **F.** Exempel på låg grad av uppsmältning i folierad metagråvacka i Hornöberget-Lövvikområdet. ELH210002 (6967349/650474). Foto: Edward Lynch.



Figur 9. Växling mellan glimmerskiffer, arkosiska och kvartsrika lager i meta-gråvacka öster om Norafjärden. MSI210050 (6971975/652100). Foto: Martiya Sadeghi.

Metaargillitit (svart- och glimmerskiffer)

I norra delen av karteringsområdet finns ett rikligt inslag av argillitiskt metasediment. De är vanligen omvandlade till glimmerskiffer och förekommer som meterbreda horisonter inlagrade i metagråvackan. Svartskifferna domineras av biotit och kvarts med underordnad muskovit (fig. 9). Vidare är förekomsten av grafit och magnetkis karakteristiska för dessa horisonter, även klorit och pyrit kan förekomma. I svartskiffern förekommer även aluminiumsilikat, troligen sillimanit eller möjligen andalusit.

Svekokarelska orogenen, vulkaniska ytbergarter (ca 1,92–1,87 Ga)

Basisk metavulkanit-amfibolit

Basiska metavulkaniter uppträder på några platser. Den enda större sammanhängande horisonten är ett stråk norr om Bredsätter. Detta sträcker sig norrut som ligger utanför årets karteringsområde men inom projektet. Metavulkaniterna uppvisar växellagring med sedimentära bergarter. I Ragundaområdet, utanför projektets karteringsområde i väst, finns metavulkaniter som har primära kudd-lavastrukturer och sedimentär lagring, (Lundqvist & Antal Lundin 1999). Detta antyder att de basiska metavulkaniterna utgörs av både lavar och askhorisonter. Inom projektområdet finns också mindre, spridda förekomster av amfibolit, och den geografiska kopplingen till metagråvackor gör att det är rimligt att tolka dem som basiska vulkaniter med en högre metamorfosgrad.

Svekokarelska orogenen, metamorfa intrusivbergarter (ca 1,92–1,87 Ga)

Granodiorit till tonalit

Tidigsvekokarelsk granitoid förekommer i väster om Berghamn och Grönsvik och vid kusten i Klubben (på nordöstra delen av Hemsön) i östra delen av karteringsområdet. Sammansättningen varierar från granodiorit till tonalit inom området, men det förekommer även led som tolkades vara mer monzonitiska-kvartsmonzonitiska och granitiska. Ställvis inom de tidigsvekokarelska massiven förekommer även leukotonalitiska kroppar. Kontakten mellan granodioritiska och leukotonalitiska bergarterna är inte skarp, och det kan vara svårt i fält att avgöra den exakta sammansättningen.

Inneslutning av mer basiska djupbergarter, liksom av metasedimentära bergarter, är vanliga i granodioriten och tonaliten. Flera av fragmenten uppvisar texturer som antyder att mekanisk blandning (mingling) förekommit mellan basiska och sura magmor (fig. 10A–B, D).



Figur 10. A. Serorogen Härnögranit på Rösättberget med rikligt med inneslutningar av gråvackegnejs, amfibolit och primorogen granodiorit. Dessa fragmentspäckade Härnögraniter påminner mycket om s.k. pebble dikes. MSI210027 (6971930/655906). Foto: Martiya Sadeghi. B. Närbild av samma observation som i A. C. Intrusionsbreccia hos tidigorogen granitoid vid Klubben, Hemsön. De flesta xenoliterna tolkades vara metasedimentära bergarter. SPN210211 (6960343/661422). Foto: Stefan Persson. D. Magmatisk blandning med tidigorogena gabbroida och granitoida komponenter, nordöstra delen av Hemsön. SPN210244 (6961364/659398). Foto: Stefan Persson. E. Folierad granitoid med mafiska enklaver. ELH210042 (6967619/654167). F. Utdragna och platta mafiska enklaver och en polygonal finkornig xenolit med biotitrik bård. Foto: Edward Lynch. G. Horisontell yta på en folierad metagranitoid klipps av folierad leukogranitisk gång och en senare (yngre) pegmatit. ELH210068 (6969166/651422). Foto: Edward Lynch.

På nordöstra delen av Hemsön är metagåvacka intruderad av tidigorogen granitoid och gabbroid till dioritoid, och rundade, avlånga xenoliter av vackan i granitoiden är vanliga; lokalt förekommer även en intrusionsbreccia visande rikligt med xenoliter i stråk på någon m i bredd (fig. 10C). Det finns flera sådana stråk i granitoiden och ett av dessa löper parallellt med och på ca 5 m avstånd från kontakten till en större förekomst av metagråvacka. (Bredmyran, Hemsön. 6959566/659620).

En del xenoliter i nyss nämnda breccior uppvisar hornfelsomvandling. Granitoiden är härvid hornbländeförande och har lokalt stark foliation. Granodioriten karakteriseras av en svag stänglighet och en likaledes svag planstruktur, vilka strukturer ställvis kan vara mer eller mindre tydliga och lokalt ger bergarten ett helt massformigt intryck.

Grabbro-Diorit

På nordöstra delen av Hemsön finns ett 1,5 km långt, ostvästligt stråk med basiska intrusiv-bergarter. Dominerande är en metamorf gabbroid-dioritoid som är grå till mörkgrå, ojämnkornig, medel- till grovkornig och innehållande större hornbländekorn eller -aggregat (figur 11A). Enklaver av mer basisk sammansättning finns. Bergarten är massformig till svagt folierad, men lokalt förekommer zoner med stark deformation.

Den magnetiska susceptibiliteten är låg i dessa basiter men de har något högre värden (41×10^{-5} till 52×10^{-5} SI) än den tidigorogena granitoiden i närområdet (20×10^{-5} till 30×10^{-5} SI). Liknande basiska bergarter finns i mindre omfattning på Hemsöns nordvästdel och vid Överskog på fastlandet.

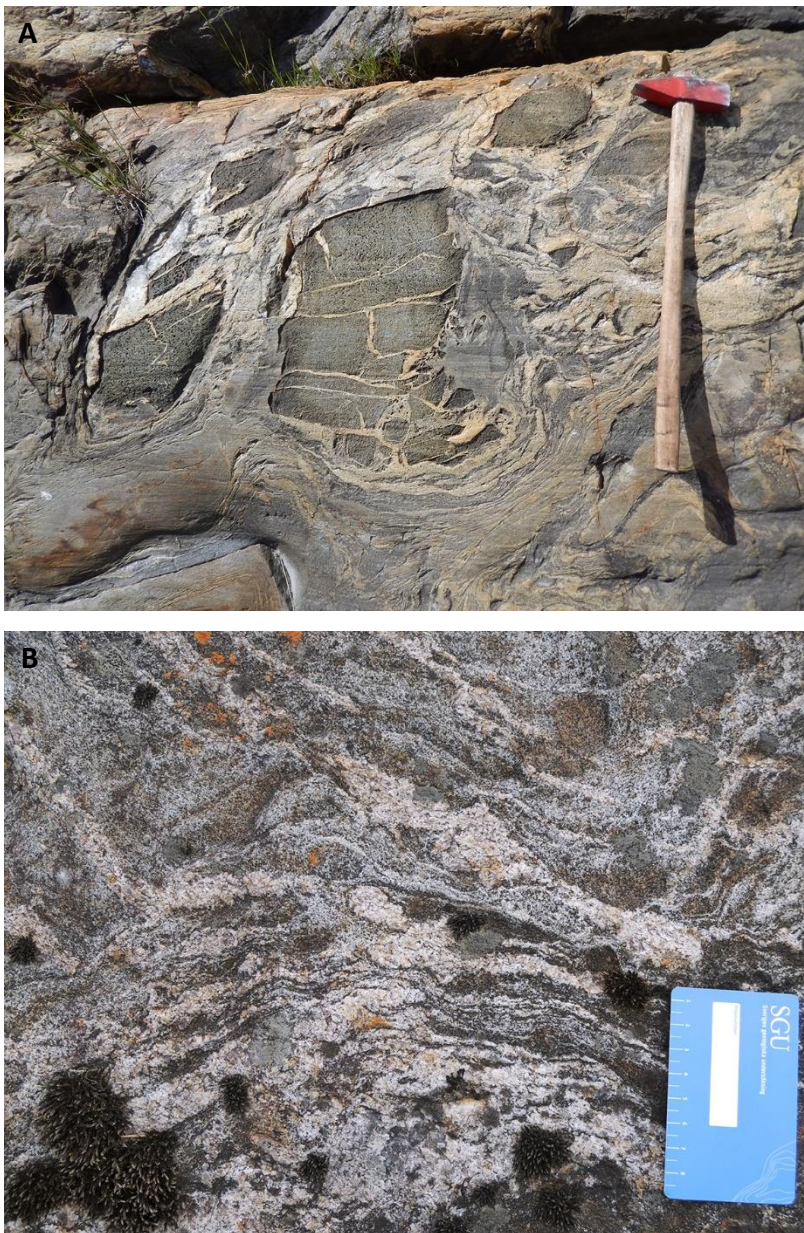
Just vid Hemsöns nordostpunkt, vid Havsto, så finns mindre inneslutningar (enklaver eller xenoliter) av gabbroid (till ultrabasit?; fig. 11B), förekomsten är bara på några meters bredd. Bergarten är fint medelkornig och mörkt gröngrå, den visar även en knottig hälltyta av hålrum efter bortvittrade mineral.



Figur 11. A. Ojämnkornig tidigorogen gabbroid-dioritoid, nordöstra delen av Hemsön. SPN210242 (6961530/659447). **B.** Tidigorogen gabbroid intruderad (?) av tidigorogen granitoid, Hemsön. SPN210246 (6961777/660850). Foto: Stefan Persson.

Migmatiter (ca 1,87–1,84 Ga?)

Ytbergarterna visar över ett avstånd på några hundra meter en gradvis men snabb ökning i omvandlings- och uppsmältningsgrad. Välbevarade metagråvackor övergår via ådrade metatexitiska migmatiter (med omväxlande bandformade kvarts-fältspatrika och biotitrika segregationer; fig 12A–B) till diatexitiska migmatiter. Från östra till västra delen av karteringsområdet ökar mängden av ådror och diatexitiska bergarter är mer frekventa. Migmatiterna har till större delen sitt ursprung i metagråvackor, men mer kisel- och aluminiumrika delar har tidigare tolkats som migmatitiserade metagranitoider eller som blandsmältor med både sedimentära och magmatiska komponenter (Lundqvist m.fl. 1990). De diatexitiska migmatiterna inom det undersökta området är inte så vanligt förekommande som de metatexitiska, men både leukokratiska till mesokratiska och melanokratiska diatexitiska migmatiter förekommer.



Figur 12. A. Migmatiserad metagråvacka, mindre andel mobilisat finns som band på ca 0,5–20 cm. Breccierade amfibolitenklaver i metagråvacka och även rundade och zonerade konkretioner finns. ERN210074 (6969636/658770). Foto: Erika Nääs.
B. Migmatiserad metagråvacka, fint medelkornig, stromatiskt ådrad och metatexitisk. Protoliten är en gråvacka. MSI210038 (6976285/646529). Foto: Martiya Sadeghi.



Figur 13. A. Diatexitisk migmatit med felsisk leukosom (L), tunna flamliknande strimmor (sliror; S) och melanosom (M). ELH210005 (6967365/650349). **B.** Vertikal yta hos diatexitisk granitoidleukosom (L) och melanosomblock av gråvacka. Gul oval visar en hammare som skala för bilden. ELH210010 (6965123/648784). Foto: Edward Lynch.

På flera platser ser man variationen hos migmatiterna, från metatxitisk metagråvacka till diatexitisk migmatit (se melanosomdel; fig. 13). Tunna, oregelbundna mafiska strimmor (schlieren) förekommer också i diatexitisk migmatit, lokalt klipps de av icke deformerad pegmatit (fig. 13A) Den diatexitiska migmatien har en brant till vertikal, tektonisk planstruktur med tydligt orienterad biotit, men i den metatxitiska metagråvackan är denna planstruktur mindre tydlig.

Syn- till senorogena granitoider (ca 1,87–1,85 Ga)

Graniter tolkas att vara bildade vid uppsmältning av sedimentärt material och är inom projektområdet tillhörande de s.k. Härnögraniterna (Magnusson 1949). Flera olika typer av utseende och smärre variationer i geokemin karakteriserar Härnögruppens graniter. Inom projektområdet uppträder tre huvudtyper: leukokratisk granit, listporfyrisk granit och pegmatitgranit till pegmatit. Alla tre typerna förekommer i den östra delen av projektområdet. I Härnögruppens graniter förekommer ofta även pegmatitgångar med varierande bredd och frekvens.

Leukokratisk granit

Den leukokratiska graniten är i de flesta områden ljusgrå, medel- till grovkornig och jämnkornig. Lokalt innehåller den dock 2–3 % megakrister av kalifältspat (fig. 14). Den har daterats på en lokal väster om Björkvik och gett åldrar på $1\,863 \pm 6$ respektive ca 1 845 miljoner år (Hellström m.fl. 2010), vilket innebär att graniten skulle vara samtida med eller något yngre än den regionala migmatiseringen (Persson Nilsson m.fl. 2014). Kontakter mellan graniten och pegmatitiska domäner i området växlar ganska snabbt och övergången mellan bergarterna är vanligtvis diffus.

Härnögranit dominerar nordvästra delen av Hemsön, den för både biotit och muskovit, den är dominerande medelkornig med få undantag. Färgen är ljus och varierar från grå till rödgrå till gråröd, (fig. 15). Den magnetiska susceptibiliteten är mycket låg (1×10^{-5} SI och 5×10^{-5} SI). Bergarten är massformig till mycket svagt folierad (orienterad biotit). Graniten ses på flera ställen intrudera metagråvacka, vanligt är att graniten intruderat längs vackans foliation. Graniten klipper även vackans foliation och skiktning. Vanligtvis är graniten pegmatitfattig, endast upp till några dm breda pegmatitgångar förekommer glest. Förutom vid kontaktområden mot metagråvacka är graniten fattig på inneslutningar.



Figur 14. A. Folierad biotitgranitoid med kalifältspatmegakrister. ELH210098 (6969418/651320). Foto: Edward Lynch. **B.** Medelkornig, jämnkornig Härtögranit, Skuruberget, Hemsön. SPN210249 (6959918/655963). Foto: Stefan Persson.

Listporfyrisk granit

Listporfyrisk, småporfyrisk granit uppträder på några ställen inom projektområdet. Den liknar den ljusgrå, jämnkorniga varieteten då den innehåller både biotit och muskovit. Den avgörande skillnaden består i den rikliga förekomsten av de kalifältspatmegakrister.

I Skärsätterområdet, nästan 1,6 km nordväst om Lövvik, uppträder listporfyrisk granit. Den är grå, fin- till medelkornig, massiv till svagt folierad och innehåller upp till 15–20 % fältspatmegakrister (fig. 15A–B). Fältobservationer visar att den är yngre än omgivande metagranitoider och att båda klipps av pegmatitgångar.

På Stekpannberget och Bjässhölsberget vid Överskog finns två större områden med listporfyrisk Härtögranit. Dessa förekomster sammanfaller med en något högre toriumanomali på en strålningskarta baserad på flygmätningar (fig. 3). Graniten är här massformig till flödeslinjerad med orienterade strökorn, kornstorleken är fint medelkornig och rektangulära fältspatskristaller är upp till 15 mm i längd. Den är både muskovit- och biotitförande (fig. 15C). Graniten förekommer även som gångar i metagråvackan i Västbackarna söder om Överskog. Lokalt finns smala deformationszoner i graniten. Den magnetiska susceptibiliteten är låg (4×10^{-5} SI och 8×10^{-5} SI).

Jämnkorniga till listporfyrisk granodioriter finns i trakten av Skog sydväst om årets kartområde. De tolkades vid länskarteringen (Lundqvist m.fl. 1990) som tidigorogena granitoider. Datering av en sådan granodiorit vid Oringen gav en ålder på $1\,867 \pm 7$ Ga (Welin m.fl. 1993), vilket inte tyder på någon markant åldersskillnad jämfört med graniterna i området. Det visar att sammansättningen bland syn- till senorogena bergarter varierat från graniter till granodioriter-tonaliter (Persson Nilsson m.fl. 2014)



Figur 15. A. Vertikal yta, kontakt mellan folierad metagranit (Gr) och svagt folierad till massiv, felsisk, porfyrisk granit (FP), denna granit klipps av pegmatitgång (p). ELH210128 (6968580/655667). Foto: Edward Lynch. **B.** Handstuff av porfyrisk granit med ådror av kvarts. ELH210128 (6968580/655667). Foto: Edward Lynch. **C.** Småporfyrisk Härnögranit, Stekpannberget, Överskog. SPN210166(6960930/649242). Foto: Stefan Persson.

Pegmatitgranit och pegmatit

Den tredje varianten av Härnögruppens graniter utgörs av pegmatitgraniter och pegmatiter. Inom årets karteringsområde finns vid Lövvik och Utansjö större områden där berggrunden består av dessa bergarter. Vanligen är de heterogena och uppblandade med större eller mindre inslutningar av både sedimentärt bergartsmaterial och graniter av äldre typ.

Utöver i ovan nämnda områden så förekommer denna grupp av bergarter i hela projektområdet, men det är oklart om det finns ytterligare större pegmatitgranitiska massiv. I de flesta fall ser det mer ut som om pegmatitgraniterna i själva verket är större, flackt liggande gångar som på grund av sin orientering fått en ytmässigt stor utbredning.

Den dominerande typen av pegmatit består av vit plagioklas, gråvit till rosa mikroklin, grå kvarts, lokalt rikligt med svart turmalin, små (<5 mm) röda granater (almandin–spessartin) samt gröna mineral, eventuellt beryll (fig. 16).

På Hornöbergets halvö finns en vägsärning som visar de enskilda pegmatitbergarterna i området och deras klippande förhållande till metagråvackan (fig. 16A–B). Pegmatiterna har vanligtvis en bredd på ca 0,1 – 5 m och uppträder som oregelbundna vågiga eller raka gångar, de kan vara både kontinuerliga eller avbrutna och samexisterar lokalt med aplitiska gångar eller ådror. Baserat på fältobservationer är de yngre än metagråvackorna och de folierade granitoiderna. (figur 16C–D).

Pegmatit och pegmatitgranit dominerar i många hållar i ett nordsydligt stråk vid Utansjö-Överskogområdet. Vid Utansjö förekommer en magmatiskt lagrad och svagt veckad (med öppna veck) pegmatit till pegmatitgranit (fig. 16E), vilken innesluter linsformade, upp till 25 meter långa xenoliter av finkornig till fint medelkornig Härnögranit. Pegmatitgraniten visar en variation i kornstorlek och även svag variation i sammansättning. Det finns yngre pegmatitgångar på upp till någon dm i bredd som slår igenom både pegmatitgraniten och graniten.

Strax norr om Utansjö vid Smörbrunnet klipper en bred pegmatitgång genom en schollenförande paragnejs (fig. 16F).

Av de hittills undersökta områdena på norra delen av Hemsön så förekommer granitiska pegmatitgångar i betydligt lägre frekvens än i med Utansjö-Överskogområdet. De som observerats är decimetertunna och glest förekommande inom de större granitmassiv med medelkornig Härnögranit som finns på norr om Hemsön. Endast på ett par enstaka platser på norra Hemsön förekommer pegmatit i någon större mängd; ca 700 m VNV om Dalom finns ett hållområde på ca 100 × 50 m, där det är vanligt med pegmatitgångar och pegmatitkörtlar i en gråröd, finkornig till medelkornig, ojämnkornig serorogen granit. Vid Olsmyran finns en pegmatitförekomst på upp till 17 m i bredd.



Figur 16. Exempel på granitisk pegmatit i Hornöberget-Lövvik-Utansjöområdet. **A.** Vägskärning med subparallella pegmatitgångar (p) i metagråvacka. Skärningen är 12 m hög. ELH210003 (6967555/650547). **B.** Pegmatitgång klippar metagråvacka. Hammaren är ca 60 cm lång. ELH210002 (6967349/650474). **C.** Pegmatitgång (P) klippar migmatitiserad metagråvacka (Mg) och metagranitoidleukosom (L). Penna som skala. ELH210006 (6967188/650421). **D.** Horisontell yta som visar zonering i pegmatitgång (P) med aplitiskt parti (A) som klippar metagranitoid (Gr), foliationen i granitoiden är klippt av pegmatiten. ELH210008 (6963360/649018). Foto: Edward Lynch. **E.** Magmatiskt lagrad och veckad pegmatitgranit, Utansjö. SPN210171 (6963848/649117). **F.** Pegmatit klippar schollenmigmatit, norr om Utansjö. SPN210173 (6964524/649711). Foto: Stefan Persson.

Postsvekokarelska intrusivbergarter (ca 1,60–1,47 Ga)

Det största massivet av postsvekokarelska intrusivbergarter uppträder i Nordingråområdet, i norra delen av årets karteringsområde och norr därom. Det är till helt övervägande del bestående av granit, gabbro och anortosit. Graniten dominerar i den norra delen (utanför projektets karteringsområde) och gabbro och anortosit dominerar i den södra delen.

Syenitoid-granit

De subjotniska Nordingråmassivet räknas till Baltiska sköldens rapakivimassiv (Lundqvist m.fl. 1990). Nordingrågraniten är vanligen mer eller mindre tydligt porfyrisk med fältspatströkorn av ca 0,5–2 cm längd som ligger inbäddade i en finkornig till fint medelkornig grundmassa. Fältspaten i strökornen är främst en rödpigmenterad, starkt pertitisk alkalifältspat men även en albitrik plagioklas finns. Granitens grundmassa domineras av kvarts och pertitisk alkalifältspat, ofta i granofyrisk sammanväxning.

Öster om Allsta och Ramsta samt väster om Hästberget uppträder en del granitiska till monzogranitiska bergarter som kan tillhöra till denna svit men det behövs ytterligare undersökning av tunnslip och tolkning av kemiresultat för att kunna bedöma eventuell samhörighet (fig. 17).

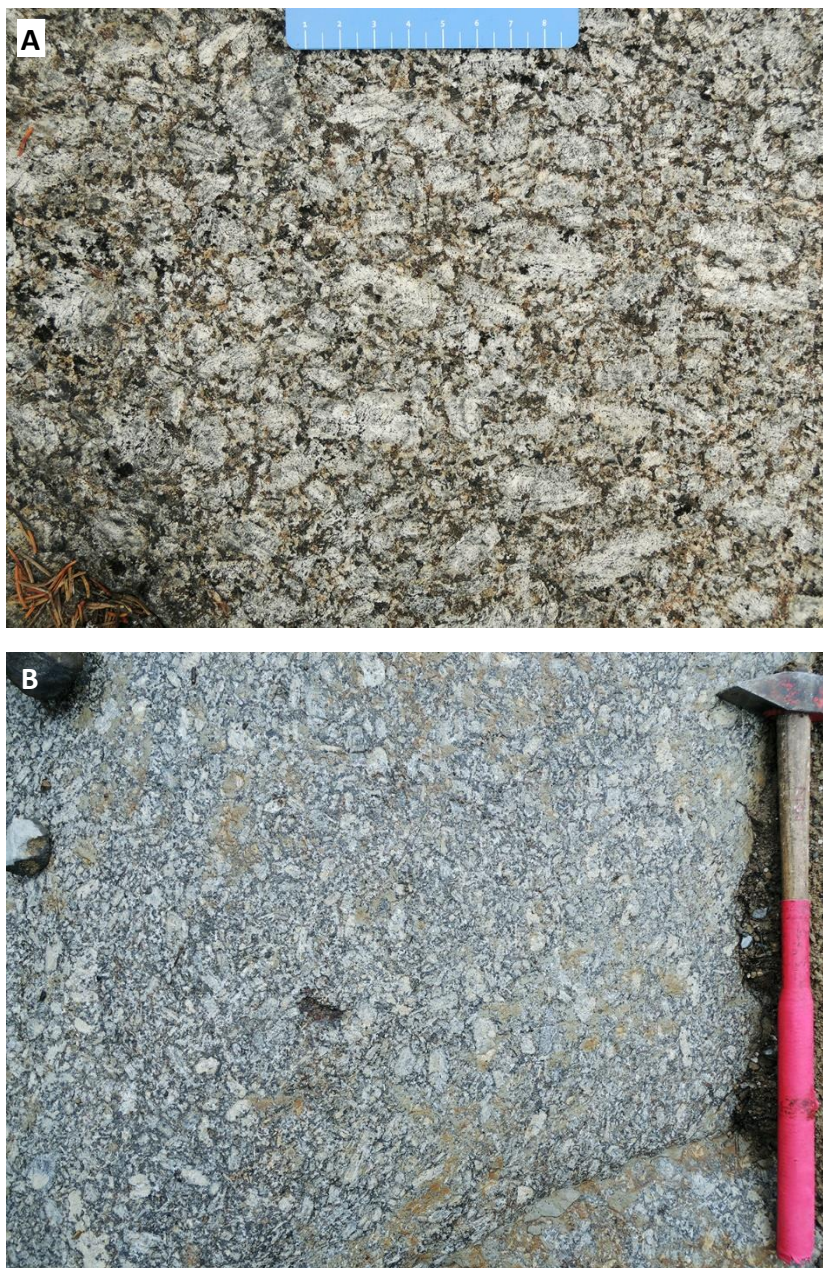


Figur 17. A. Medelkornig monzogranit, Nora-Allsta sydväst om Hästberget. ERN210034 (6972286/664774). **B.** Vittrad granit med strökorn av alkalifältspat, söder om Allstaberget. ERN210042 (6973436/662914). Foto: Erika Nääs.

Gabbro och anortosit

Inom kartområdet förekommande postsvekokarelsk gabbro och anortosit. Vid stranden söder om Bönhamn, finns gabbro, som underifrån penetrerar och breccierar anortosit (fig. 18).

Gabbro är gråsvart och fin- eller medelkornig, mer sällsynt grovkornig. Mycket grovkorniga, pegmatitiska körtlar (gabbropegmatit) och sliror kan ha gabbrosammansättning inom det gabbroiska-anortositiska massivet och består då mest av plagioklas och pyroxen. Med tilltagande halt av kalifältspat och kvarts (ibland i granofyrisk sammanväxning) blir slirorna rödspräckliga och övergår i mer granitiska sammansättningar. Vid kontakten mot Nordingrågraniten, t.ex. norr om Omnesjön, finns zone, där olika grov- till medelkorniga, oftast rödspräckliga blandbergarter mellan gabbro och granit uppträder. Sammansättningen varierar starkt liksom kornstorleken och färgen.



Figur 18. A. Väster om Tjärnberget. Porfyrisk, grovkornig anortosit, med stora fenokristar på upp till 3–4 cm, både rundade och fyrkantiga.

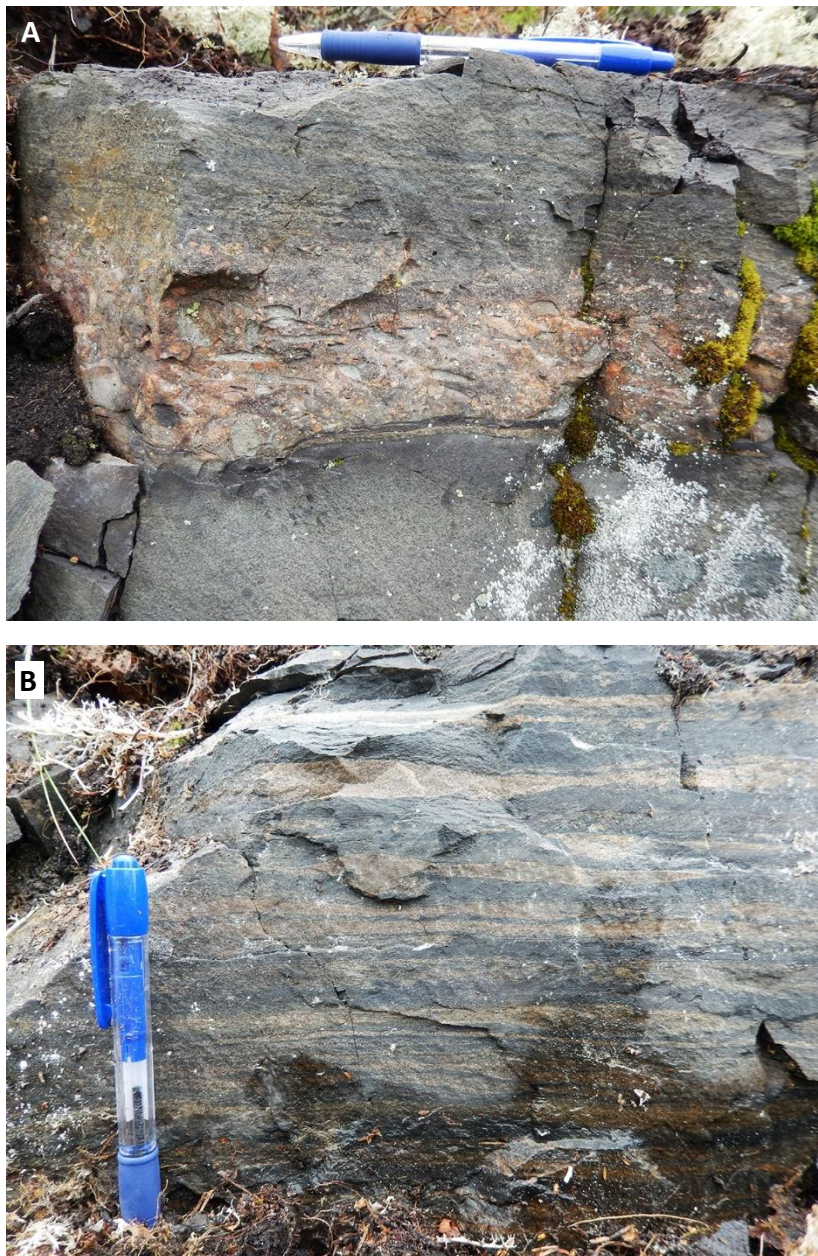
MSI210018 (6974695/661622).

B. Allstaområdet. Porfyrisk anortosit med fenokristar av plagioklas, upp till 5 cm både rundade och fyrkantiga, Linsformade mafiska xenoliter uppträder här och var, de är upp till 3 cm. MSI210058 (6974303/661730). Foto: Martiya Sadeghi.

Postsvekokarelska bergarter (ca 1,47–1,28 Ga)

Sandsten

Sandsten har framför allt beskrivits i ett smalt stråk med avbrott av andra bergarter på Storön. I detta stråk har sandiga avlagringar ursprungligen skett på en vittrad yta bestående av granit, gabbro och anortosit. Över de basala skikten av arkos och vittrade magmatiska bergarter följer rödaktiga eller grå sandstenar, ofta med skikt av lerskiffer och konglomerat. (fig. 19A–B). Sandstenens mäktighet i håll är vanligen några decimeter till några meter.

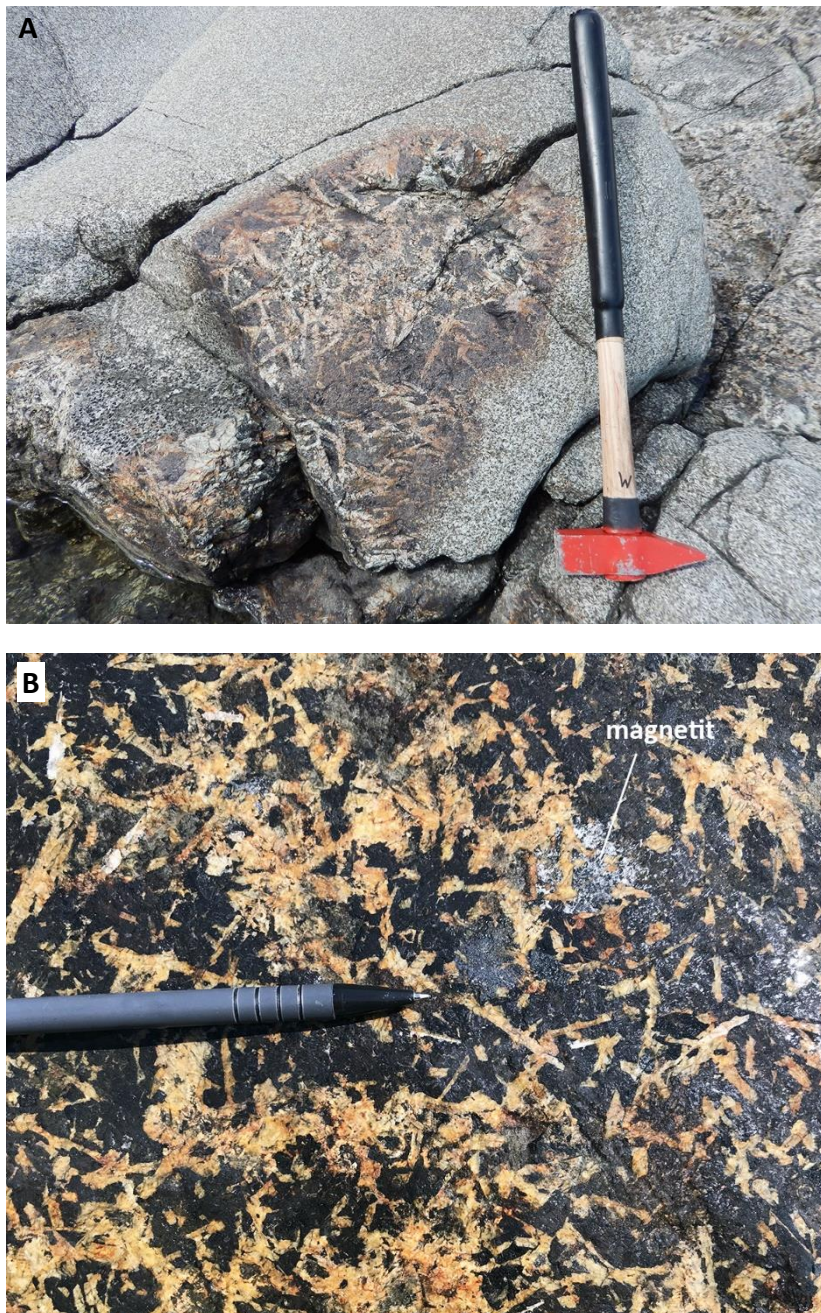


Figur 19. A. Rödaktigt lager av konglomerat. **B.** Välsorterad sandsten, med mörka skikt av lerskiffer. ERN210028 (6971880/664707). Foto: Erika Nääs.

Postsvekokarelska bergarter (ca 1,28–1,20 Ga)

Diabas (gabbroid, gabbroidpegmatit)

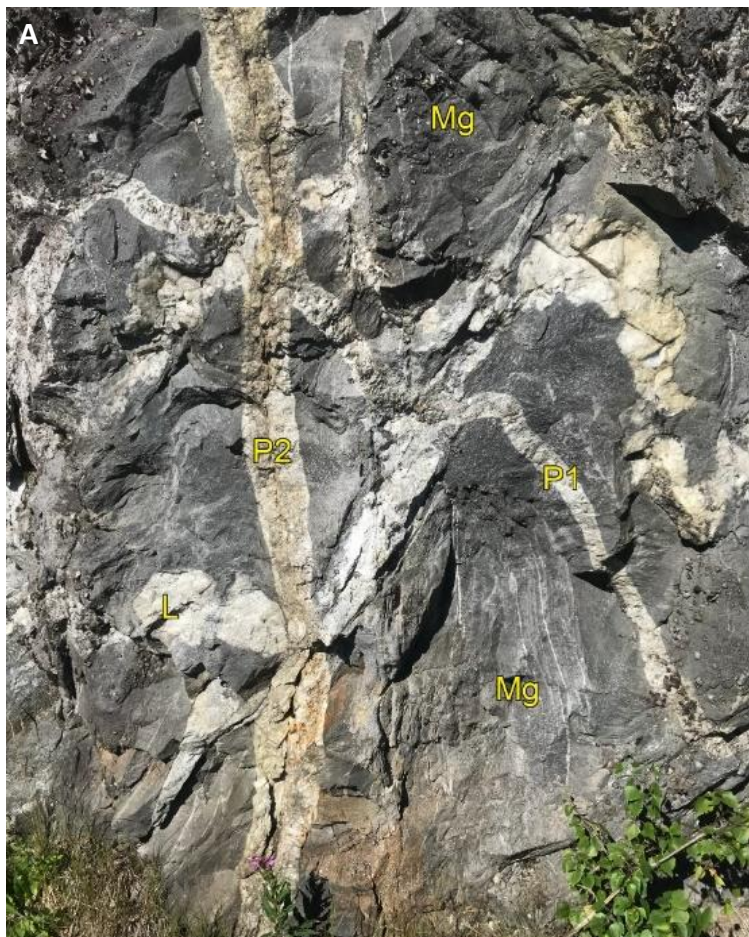
Diabaserna inom karteringsområdet är mest gråsvarta, medel- till grovt medelkorniga, men blir mot kontakterna mörkare och mer finkornigare. I diabastäckena påträffas på många ställen mycket grovkornig s.k. diabaspegmatit. Särskilt i Ulvöområdet har diabasen en lagrad karaktär och visar omväxlande olika ljusa och mörka band. I Berghamnområdet uppträder också gabbropegmatit (s.k. diabaspegmatit) (fig. 20A–B). Kontakten visar en flack stupning på mindre än 15 grader och liknar andra diabaser inom området som rapporterats i beskrivningen över Väster-norrlands län (Lundqvist m. fl. 1990). Texturen är normalt subofitisk till ofitisk i diabaspegmatiterna (fig. 20B).



Figur 20. A. Gabbroid med pegmatiska partier av gabbroisk pegmatit med lokal omvandling till epidot och järnoxid. ERN210003 (6971227/666877). Foto: Erika Nääs. **B.** Närbild på pegmatitisk gabbro med ofitisk textur dominerat av plagioklas och pyroxen? Samt en hel del magnetit. ELH210080 (6968223/664472). Foto: Edward Lynch.

Gångbergarter

På Hornön observerades två generationer av granitiska pegmatiter (P1 och P2 i figur 21). Den tidigare har en vågig, någon veckad karaktär, medan den senare är inte veckad. Båda typerna klipper leukokratiska partier i migmatitisk metagråvacka. Den senare pegmatiten är mer muskovitförande än den äldre. Överhuvudtaget så förekommer granitpegmatiter oftare i områden dominerade av migmatitiska metagråvackor än i granitoiddominerade områden.

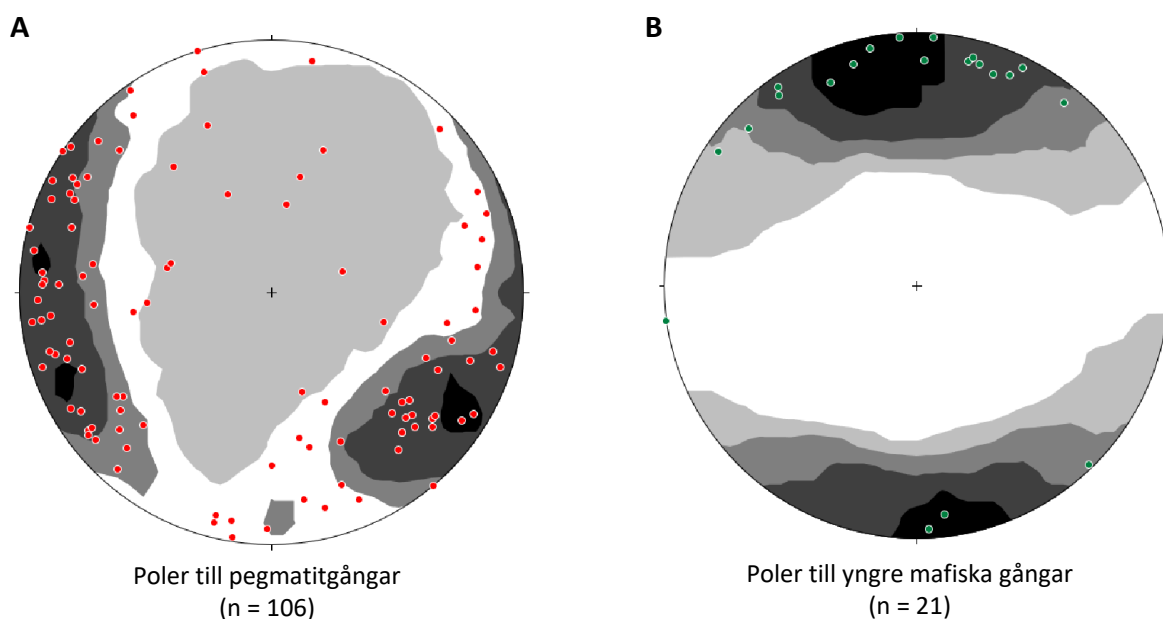


Figur 21. A. Exempel på pegmatiter och deras relation till varandra i fält Hummelviken NV om Hornön. Se text för förklaring. Mg = metagråvacka, L = granitoid leukosom, P1 = pegmatitgång 1 (äldre), P2 = pegmatitgång 2 (yngre). Fotot visar ca 1,5 m bredd. ELH210021 (6969405/649399). Foto: Edward Lynch. **B.** Grå granit, svagt folierad, medelkornig till fint medelkornig i Nora-Ry väster om Svarttjärnen. Yngre pegmatit slår igenom äldre bergarter. MSI210049 (6971543/648646). Foto: Martiya Sadeghi.

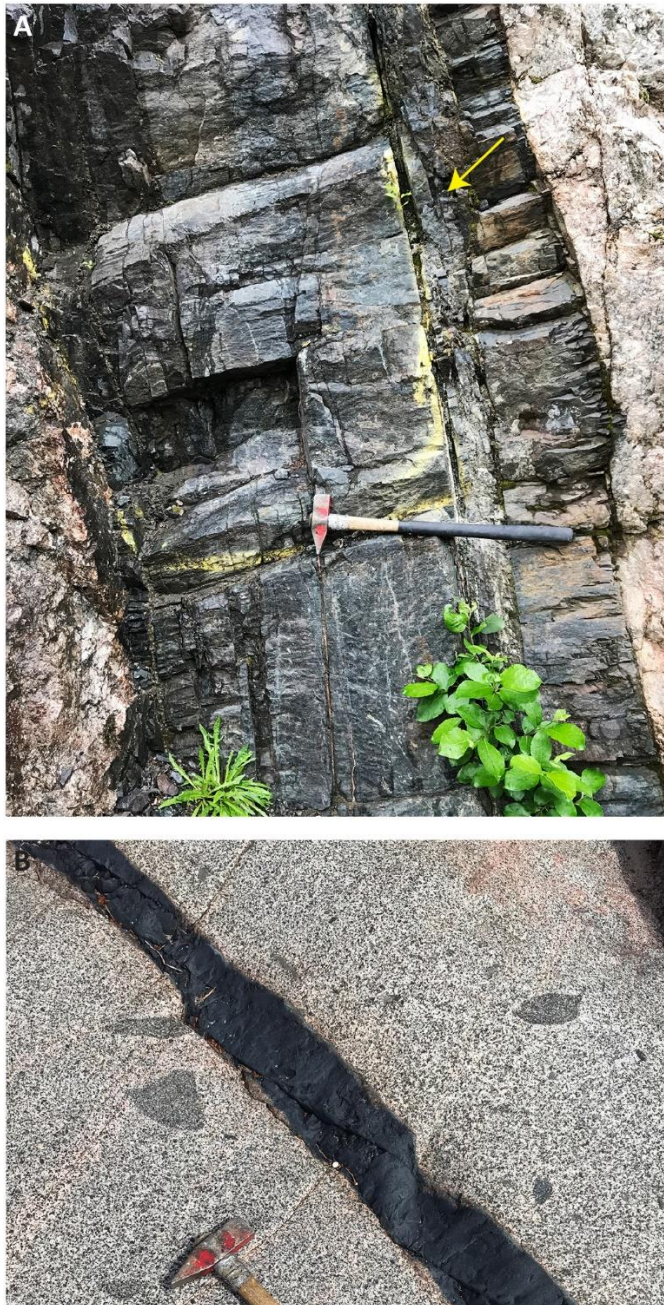
Baserat på 106 orienteringsmätningar inom den mellersta delen av karteringsområdet visar pegmatitgångarna en dominerande strykningsriktning i N–S till NO–SV med medelbrant till vertikal stupning (ca 65–90 grader stupande mot öst eller väst respektive NV–SO, figur 22). Några pegmatitgångar visar N–S eller O–V riktning med lägre grad av stupning (ca 5–40 grader, fig. 22). Den senare gruppen av pegmatiter kan vara korrelerade med brant stupande, muskovitförande graniter och pegmatiter i södra bottniska bassängen (Skyttä m. fl. 2020).

Runt Hornöberget-Lövviksområdet, uppträder mafiska gångar som klipper granitiska pegmatiter. De är ca 0,2 till 2 m breda och har skarpa, subvertikala eller vertikala kontakter till granitiska pegmatiter (fig. 23A). Baserat på 21 mätningar av mafiska gångar inom området, så dominerar östvästliga strykningsriktningar. Motsvarande riktningar rapporterades i den regionala lineaments-karta över län (Lundqvist 1987). Internt har gångarna sprickor som är ortogonala till deras orientering. (fig. 23A).

De mafiska gångarna är mörkgråa till grågröna, fin- till medelkorniga (ca 0,1–2 mm), massiva, jämnkorniga och med en sammansättning liknande diabas. Baserat på fältobservationer återspeglar gångarna en eventuell sen fas av spröd deformation.



Figur 22. Stereonätplott från området Hornöberget-Lövvik. **A.** Pol till pegmatitgångar. **B.** Pol till yngre mafiska gångar. Skuggade konturer är plottade med 2-sigmaintervall, med Kamb's kontureringsmetod (Kamb 1959).

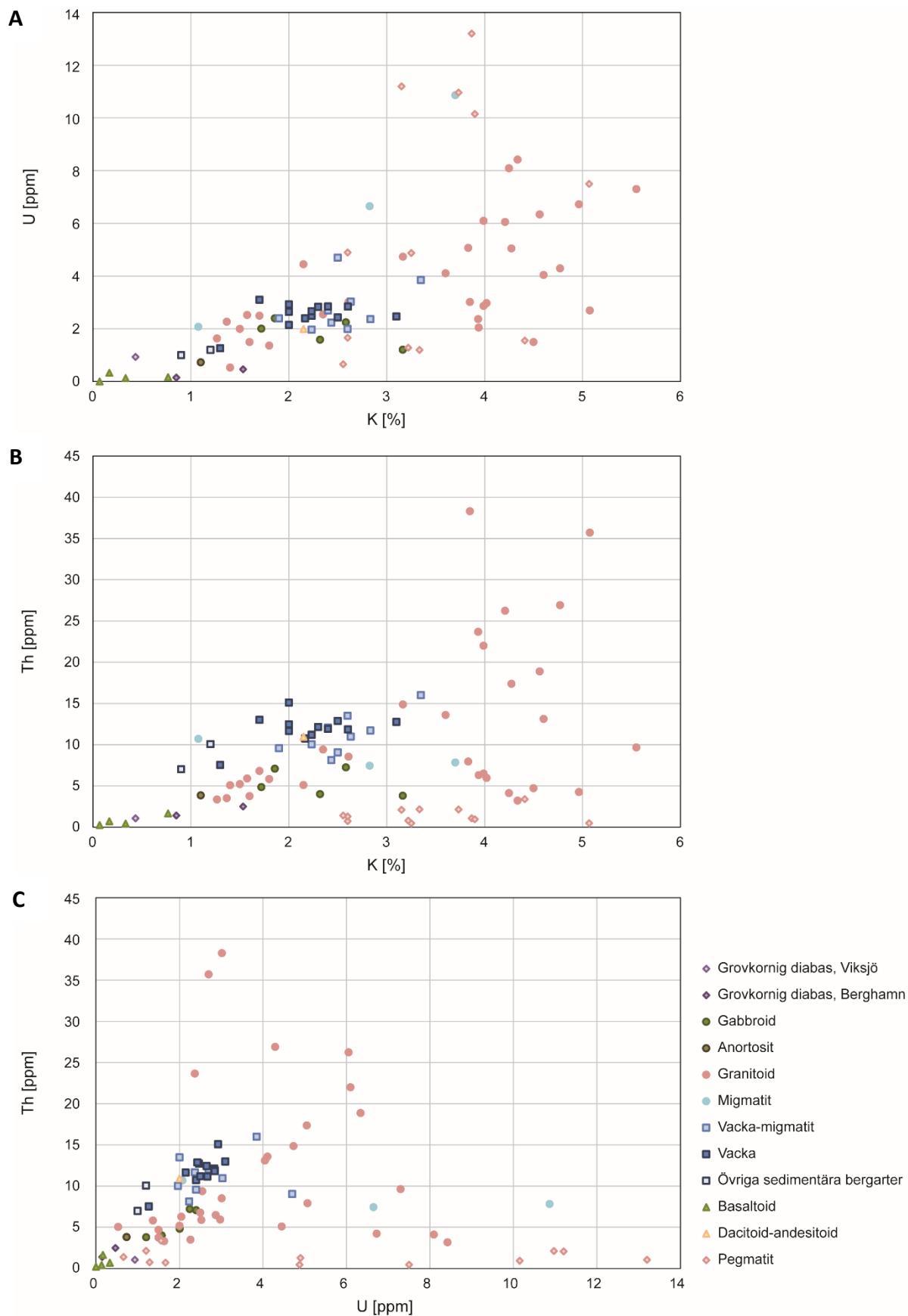


Figur 23. A. Vertikal yta som visar en relativt tjock, ca 2 m, mafisk gång som klipper pegmatit. Pilen visar en zon med spröd deformation, hammaren är nästan 60 cm lång. ELH210009 (6969166/651422).
B. Subhorisontell yta av mafisk gång som klipper folierad metagranitoid. ELH210068 (6967706/662314). Foto: Edward Lynch.

Geofysiska arbeten 2021

Markspektrometriska mätningar

Under fältsäsongen mättes halterna av kalium, uran och torium med spektrometer på håll för att möjliggöra en koppling mellan motsvarande flygmätningar och geologi. Normalt utförs tre mätningar per bergart och lokal och sedan beräknas medelvärden för halterna av de tre nukleiderna. Totalt utfördes 84 spektromettermätningar på bland annat gråvacka, migmatit, granitoid och pegmatit från olika delar av 2021 års fokusområde och närliggande områden, intermediära till basiska vulkaniska bergarter från ett flertal lokaler, samt diabas från Berghamnsområdet, och subhorisontella diabasgångar i kartområdets västra del. Resultaten redovisas i figur 24 och lokal för spektrometriska markmätningar visas i figur 5.



Figur 24. Uppmätta koncentrationer av **A.** uran mot kalium, **B.** torium mot kalium och **C.** torium mot uran (baserat på medelvärdet från 1–3 mätningar per bergart och lokal).

Petrofysik

Under sommaren 2021 samlades totalt 108 bergartsprov för bestämning av petrofysiska egenskaper. Lokal för petrofysisk provtagning ses i figur 3 och 7. Bland provtagna bergarter återfinns bland annat gråvacka, migmatit, granitoid och pegmatit från olika delar av 2021 års fokusområde och närliggande områden, intermediära till basiska vulkaniska bergarter från ett flertal lokaler, samt diabas från Berghamnsområdet, en vertikal diabasgång i kartområdets norra del och subhorisontella diabasgångar i kartområdets västra del.

Densitet och magnetiska egenskaper har mätts vid SGU:s petrofysiska laboratorium efter vilket Q-värdet (Koenigsbergers kvot) har beräknats. För prov med magnetisk susceptibilitet på mindre än 10^{-4} SI eller naturlig remanent magnetisering på mindre än 10 mA/m har Q-värdet inte beräknats, då osäkerheten blir för stor. Q-värdet ger en indikation på om bergartens totala magnetisering domineras av inducerad ($Q < 1$) eller remanent magnetisering ($Q > 1$). Resultaten presenteras i figur 25.

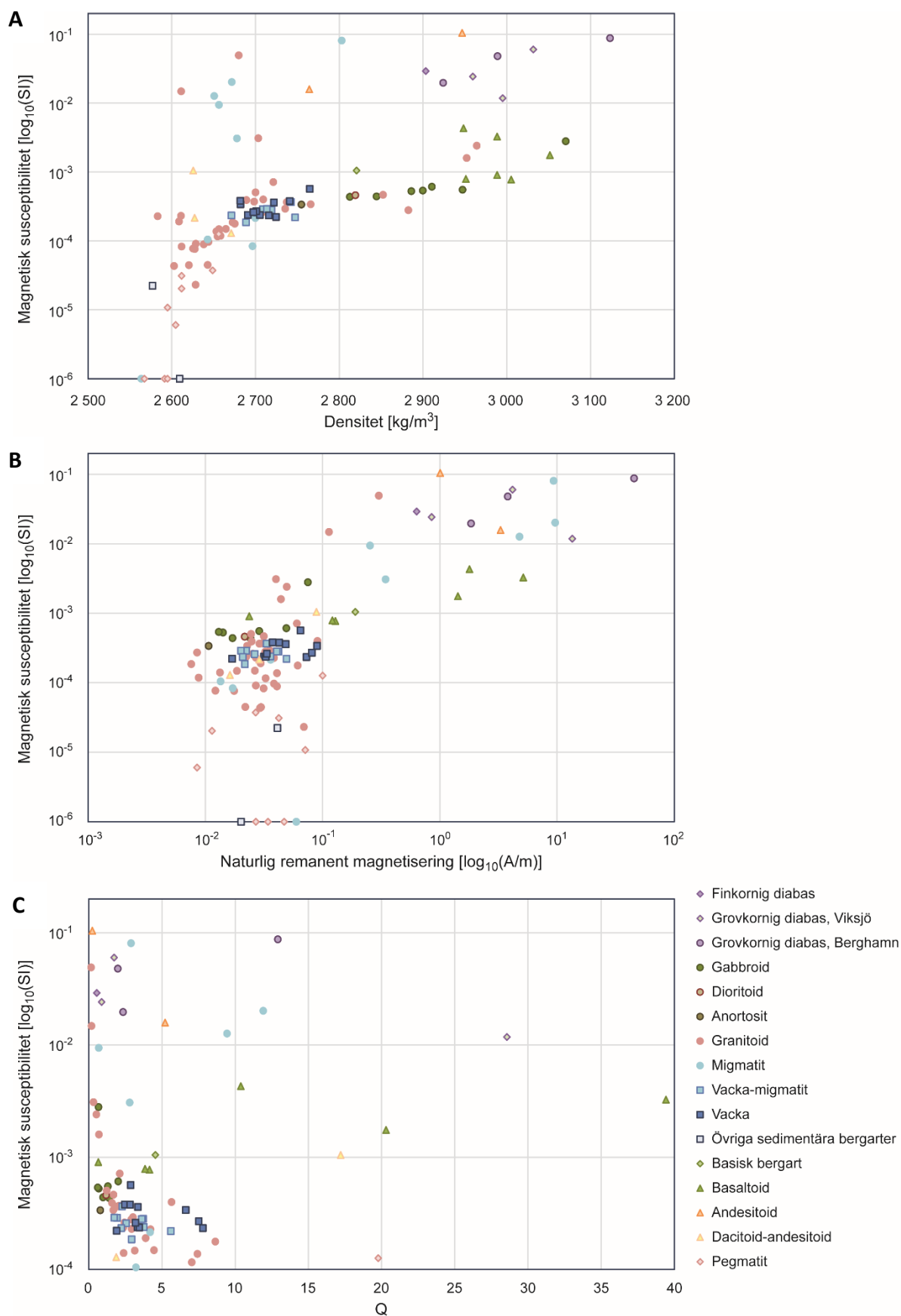
Geofysiska markprofiler

Under fältsäsongen utfördes magnet- och VLF-mätningar längs tre profiler som alla korsar de SV–NO riktade magnetanomalier som ses tydligt i flygbaserade magnetiska data (fig. 3) vid Nora och Salteå och vidare norrut. För mätningarna användes en GSM-19V från GEM Systems som har inbyggd GPS-mottagare och som möjliggör simultan mätning av både magnetiska totalfältets intensitet och VLF-signalen från tre sändare längs profil.

Den magnetiska anomalin sammanfaller lokalt med högre elektrisk ledningsförmåga i Noraområdet och vid Salteå, men norr därom ses ingen tydlig koppling mellan magnetiska och elektriska egenskaper (figur 3 och 4). Den förhöjda elektriska ledningsförmågan längs detta stråk sammanfaller även lokalt med mindre vattendrag, infrastruktur och kraftledningar. Anomalin som framgår i flygburna VLF-data är därför troligtvis orsakad av infrastruktur och inte geologi. Viss infrastruktur fanns också där markprofilerna mättes och kan ha påverkat mätningarna, speciellt de vid profil 3 som passerar en kraftledning.

Den positiva anomalin i flygmagnetiska data sammanfaller i Noraområdet med utbredningen enligt tidigare kartering av vulkaniska bergarter. Berggrundsobservationer och petrofysiska provtagning vid flera lokaler längs magnetanomalin, inklusive vid två av profilerna, tyder på att de magnetiska anomalierna både vid Nora och Salteå och norr därom orsakas av samma typ av basisk vulkanit. Bergartens magnetiska susceptibilitet varierar mellan ca 50×10^{-5} SI och 600×10^{-5} SI i håll och mellan 77×10^{-5} SI och 430×10^{-5} SI i petrofysiska laboratoriemätningar (Basaltoid i figur 25A). Detta kan jämföras med den i omkringliggande metagråvacka vars magnetiska susceptibilitet, baserat på både håll- och laboratoriemätningar, ligger mellan ca 15×10^{-5} SI och 50×10^{-5} SI.

Petrofysiska laboratoriemätningar (fig. 25A) visar också att denna basiska vulkanit har högre densitet ($2\,950\text{--}3\,050\text{ kg/m}^3$) än omgivande metagråvacka ($2\,680\text{--}2\,780\text{ kg/m}^3$), men upplösningen i tyngdkraftsdata är inte nog stor för att möjliggöra tolkning och modellering av det vulkaniska stråket utifrån densitet.



Figur 25. Resultat från petrofysiska mätningar av bergartsprov tagna 2020–2021. Uppmätta värden av magnetisk susceptibilitet mot **A.** densitet, **B.** naturlig remanent magnetisering och **C.** beräknat Q-värde.

TACK

Vi vill tacka extrageologen Erika Nääs för hennes arbete med kartläggningen. Tack till Magnus Ripa för granskningsarbetet.

REFERENSER

- Ahlberg, P., 1986: Den svenska kontinentalsockelns berggrund. Sammanfattning av tillgängliga undersökningar. Med bidrag av Jan Bergström, Tom Floden och Per Söderberg. *Rapporter och meddelanden 47*. Sveriges geologiska undersökning, 101 s.
- Axberg, S., 1980: Seismic stratigraphy and bedrock geology of the Bothnian Sea, Northern Baltic. *Stockholm Contributions in Geology 36:3*, 153–213. ISBN: 91-22-00434-3.
- Bergman, G., 1978: Quicksand structures in the Jotnian sandstone of central Sweden. *GFF 102*, 111–116.
- Claesson, S. & Lundqvist, T., 1995: Origins and ages of Proterozoic granitoids in the Bothnian Basin, central Sweden: isotopic and geochemical constraints. *Lithos 36*, 115–140.
- Eckermann, H. von., 1928: A preliminary examination of the profile of the country rocks along the coast of Southern Norrland, Sweden, as observed in the cuttings of the East Coast Railway. *GFF 50*, 309–367.
- Eckerman, H. von., 1937a: The Jotnian Formation and the Sub-Jotnian Unconformity. *GFF 59*, 19–58.
- Floden, T., Jacobsson, R., Kumpas, M., Wadstein, P. & Wannäs, K., 1980: Geophysical investigation of western Bothnian Bay. *GFF 101* (för 1979), 321–327.
- Forsselles, J.H. af, 1855: Geognostisk karta öfver Sverige. Södra delen till 64 ° n. Latitud. På Bruks societetens anmodan upprättad af J.H. af Forsselles under åren 1838–1855. Stockholm.
- Gorbatshev, R., Kornfält, K.-A., Lundegårdh, P.H., 1997: Beskrivning till berggrundskartan över Jämtlands län. Del. 1: Urberget. *Sveriges geologiska undersökning Ca 53:1*. 250 s.
- Guvå, L., 1971: Naturvårdsinventering i Västernorrlands län. Del 2. Ångermanland: Ådalen. Länsstyrelsen, Härnösand.
- Guvå, L., 1972: Naturvårdsinventering i Västernorrlands län. Del 3. Medelpad. Länsstyrelsen, Härnösand.
- Johansson, E., 1998: Origin of gold-anomalous quartzites and high-Mg amphibolites in the Fångsjöbacken area, central Sweden. Unpublished Master thesis, 73 pp. Departement of Geology Geochemistry. Stockholm University, Sweden.
- Kornfält, K.-A., 1969: X-ray and optical observations on the K-feldspars from the Ragunda area, central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 636*.
- Lundbohm, H., 1899: Praktiskt geologiska undersökningar inom Västernorrlands län. II Berggrunden. Med två kartor i skalorna 1:500 000 resp. 1:100 000. *Sveriges geologiska undersökning C 177*.
- Lundegårdh, P.H., 1960a: The miogeosynclinal rocks of eastern central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 570*.
- Lundegårdh, P.H., Gorbatshev, R., Kornfält, K.-A., Strömberg, A., Karis, L., Zachrisson, E., Sjöstrand, T. & Skoglund, R., 1984: *Karta över berggrunden i Jämtlands län utom förutvarande Fjällsjö k:n*. Sveriges geologiska undersökning.
- Lundqvist L. & Antal Lundin, I., 1999: Slutrapport specialprojekt Ragunda, Dnr 21–451/97. Sveriges geologiska undersökning.

- Lundqvist, T., 1987: Berggrundskarta över Västernorrlands län och förutvarande Fjällsjö k:n. *Sveriges geologiska undersökning Ba 31*.
- Lundqvist, T., Gee, D.G., Kumpulainen, R., Karis, L. & Kresten, P., 1990: Beskrivning till berggrundskartan över Västernorrlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ba 31*.
- Magnusson, N.H., 1949: Berggrunden. I: Magnusson, N.H., Granlund, E. & Lundqvist, G. *Sveriges geologi*. Norstedts, Stockholm. Andra utgåvan.
- Statens industriverk, 1980a: Berg och malm i Jämtland län. *SIND PM 1980:4*.
- Statens industriverk, 1980b: Berg och malm i Västernorrland län. *SIND PM 1980:18*.
- Persson Nilsson, K., Johansson, R., Mellqvist, C. & Bergman, T., 2014: Beskrivning till berggrundskartan Sunsvall-Timrå-Härnösand. *Sveriges geologiska undersökning, K 456*, 28 s. ISBN 978-91-7403-250-5
- Sobral, J.M., 1913: Contributions "to the geology of the Nordingrå region. Diss., Uppsala university.
- Veltheim, V., 1962: On the pre-Quaternary geology of the bottom of the Bothnian Sea. *Bulletin de la Commission Geologique de Finlande 200*.
- Winnes, K., 1999: Origin and gold potential of some quartzites and amphibolites in the Västanaå area, south east Jämtland. Unpublished Master thesis. Department of Earth Sciences, University of Göteborg, Sweden.
- Winterhalter, B., 1972: On the geology of the Bothnian Sea. An epeiric sea that has undergone Pleistocene glaciation, *Geol. Survey Finl. Bull. 258*.