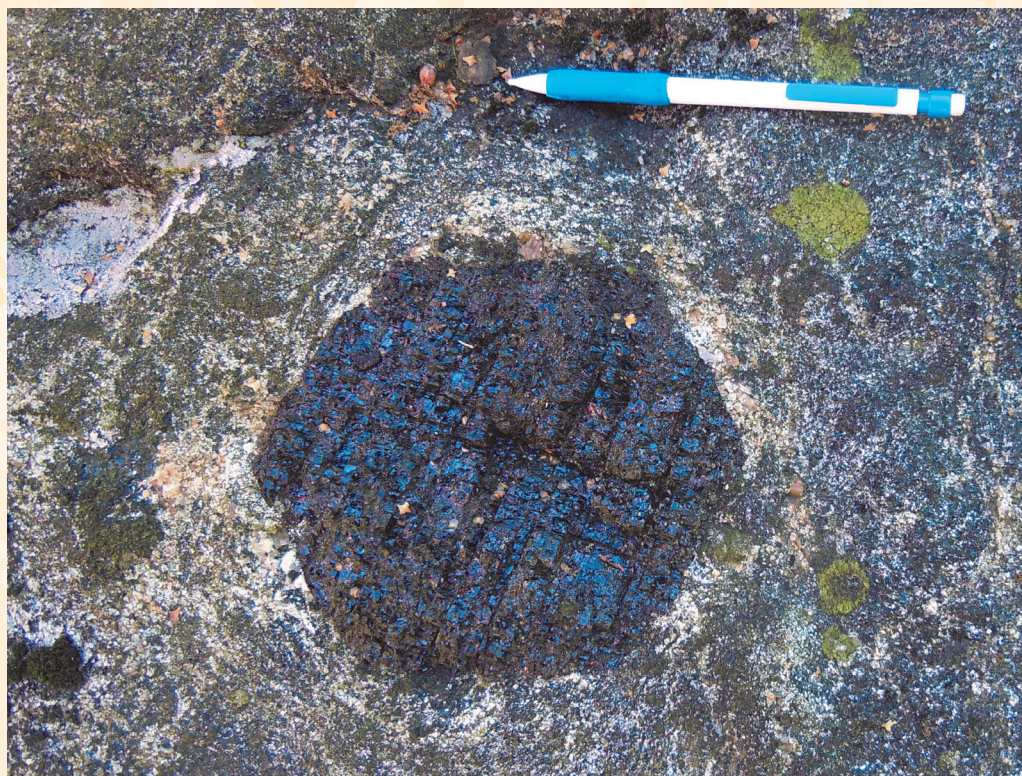


Beskrivning till berggrundskartan Falkenberg

Jenny Andersson, Charlotte Möller, Inger Lundqvist,
Mehrdad Bastani & Ildiko Antal Lundin



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7403-447-9

Närmare upplysningar erhålls genom
Sveriges geologiska undersökning
Box 670
751 28 Uppsala
Tel: 018-17 90 00
Fax: 018-17 92 10
E-post: kundservice@sgu.se
Webbplats: www.sgu.se

Omslagsbild: Decimeterstor granatros i ådrad granatamfibolit.
Skällentorp (IML110220, 6301568/354615)
Foto: Jenny Andersson

© Sveriges geologiska undersökning, 2019
Layout: Johan Sporrang, SGU

INNEHÅLL

Inledning	5
Metodik vid fältinsamling.....	5
Detaljkartläggning och fördjupade studier	5
Berggrundens bildnings- och utvecklingshistoria.....	8
Geofysik	10
Magnetiska anomalikartan	11
Tyngdkraftskartan	15
Elektromagnetiska data.....	15
Gammastrålningsmätningar	15
Topografiska data	16
Lineament och magnetiska konnektioner	16
Berggrundsgeologi – bergartsgrupper i kartdatabasen.....	17
Granitiska–granodioritiska-kvartsmonzodioritiska gnejser med 1,74–1,66 miljarder år gamla ursprungsåldrar protolitåldrar	17
Granitiska till intermediära metamorfoserade intrusivbergarter och gnejser med 1,42–1,38 Ga miljarder år gamla protolitåldrar	20
Bergartsled med oklar ålderställning	23
Amfiboliter och mafiska granuliter	23
Leukogranit och leukogranitisk gnejs.....	25
Eklogit och mylonitiska gnejser i eklogitskollans basala skjuvzon	26
Mylonitiska gnejser	28
Eklogitlinser	29
Obbhult–Steningeenhetens bergarter: Intermediär till mafisk gnejs och kvartsfältspatgnejs	29
Kvartsfältspatgnejs	31
1,42–1,38 miljarder år gamla amfibolitiska gnejser	33
Strukturellt unga metadiabaser	36
Pegmatitiska och granitiska gångintrusioner.....	36
Metamorfos	36
Varbergsdomänen	38
Halmstaddomänen	39
Smålandsdomänen	39
Den eklogitförande skollan	40
Strukturer.....	40
Plastiska strukturer	40
Spröda strukturer.....	45
Berggrundens geokemiska sammansättning.....	46
Huvudelement	47
Spårelement	47
Sällsynta jordartsmetaller (REE)	50
Berggrundens mineralogiska och kemiska sammansättning: avvikelse från fältobservationer och bias vid provtagning	51
Berggrunden som naturresurs	54
Industriella mineral.....	56
Industriella bergarter.....	56
Natursten	56
Ballastproduktion	59
Referenser	61

INLEDNING

Under åren 2009–2012 har Sveriges geologiska undersökning (SGU) genomfört kartläggning av berggrunden inom Falkenbergs kommun och delar av de intilliggande kommunerna Varberg, Svenljunga och Hylte (fig. 1, cirka 1 350 km²). Projektet har genomförts som ett led i SGUs uppdrag att ta fram översiktlig berggrundsgeologisk information i befolkningstäta områden. Informationen utgör ett planerings- och beslutsunderlag för företag, länsstyrelsen och kommuner, till exempel för fysisk planering (byggnads- och anläggningsverksamhet), prospektering (ballast, natursten, industrimineral) och vid arbete med miljö- och hälsofrågor. Målet är att uppnå en långsiktigt hållbar hantering av berggrunden som naturresurs. Informationen är dessutom viktig för forskning och utbildning. Syftet med SGUs kartläggning av området är även att informationen skall vara ett underlag för tolkning, sammanställning och spridning av forskningsinformation, och information om geologiskt värdefulla lokaler.

Koordinater anges i SWEREF 99 TM. Figurtexter till fotografier i beskrivningen innehåller endast referens till fotograf i de fall någon annan än Jenny Andersson har tagit bilden. Förkortningar av mineralnamn förklaras i tabell 1.

Metodik vid fältinsamling

Berggrundskartan är en tvådimensionell modell av berggrundens uppbyggnad med fokus på berggrundens sammansättning och ålder. Den bygger på kartläggning i fält motsvarande drygt en observationspunkt per kvadratkilometer (fig. 1) och extrapolering och modellering av olika berggrundsenheters utbredning utifrån geofysiska underlag (se avsnittet *Geofysik* nedan). I några områden har detaljerad kartläggning med dokumentation av samtliga bergblottningar utförts inom ramen för forskningsprojekt ledda av Charlotte Möller vid Lunds universitet (se nedan och fig. 1). SGUs kartläggning har omfattat inventering av olika bergartsenheters utbredning, berggrundens strukturella uppbyggnad, de enskilda bergartsledens kemiska och mineralogiska sammansättning och textur, samt deras geologiska (till exempel kornstorlek och kornform) och geofysiska (till exempel densitet, magnetiska egenskaper och strålningsegenskaper) egenskaper. Undersökningarna har även omfattat laboratorieanalyser. Berggrunden i det karterade området är komplex och har ofta stor litologisk variation. Under kartläggningen har en bedömning gjorts av vilken bergart som dominerar i ett större sammanhängande område. En enskild hällobservation överensstämmer därför inte alltid med den sammanställda kartbilden som är anpassad för en presentation i skala 1:50 000.

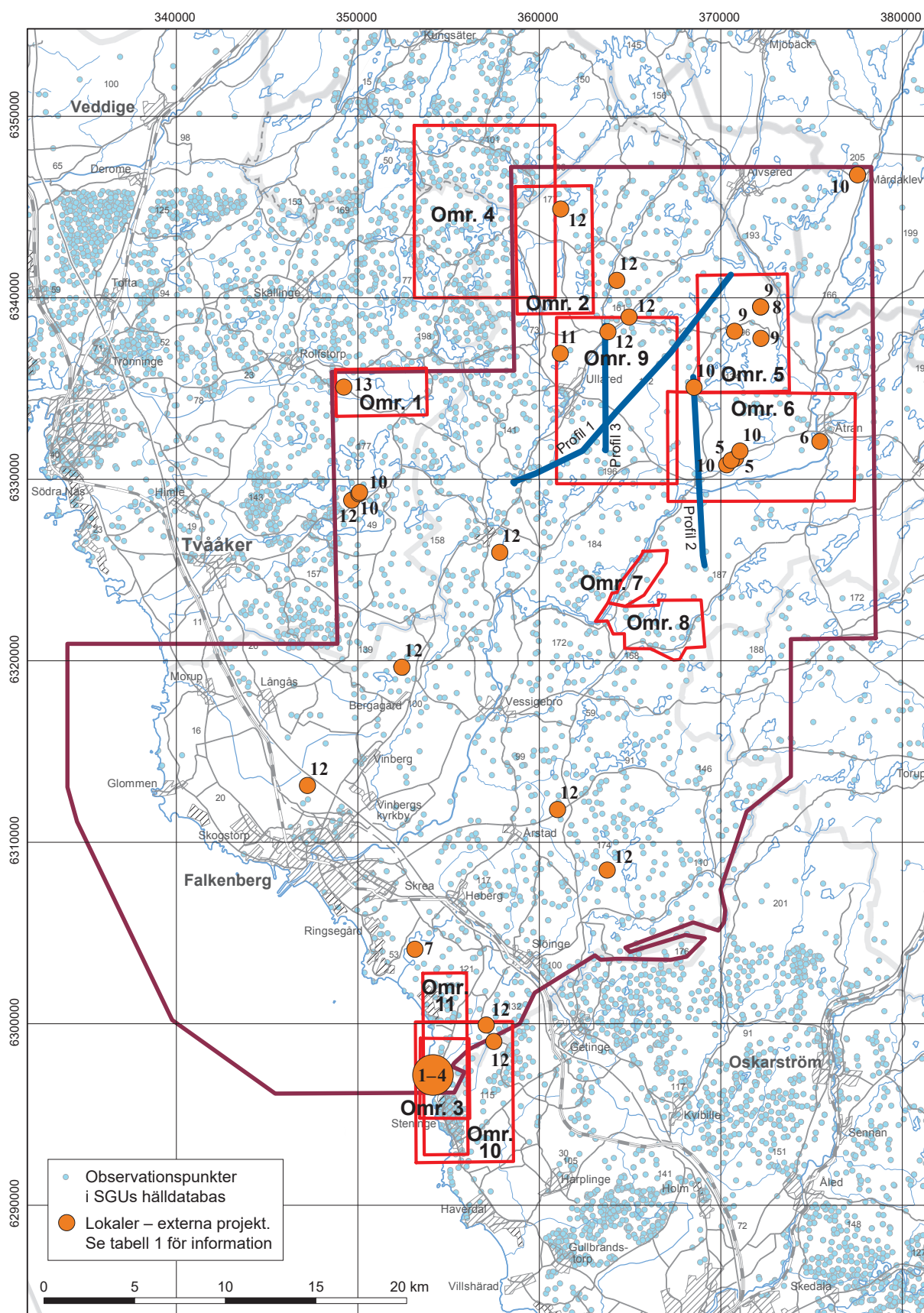
Fältarbetet har i huvudsak bedrivits under åren 2010–2011. Kartläggningen har till största delen utförts av Inger Lundqvist, Charlotte Möller (Lunds universitet) och Jenny Andersson (SGU) vilka även utfört revidering och sammanställning av berggrundskartan. Övriga geologer från SGU som deltagit har varit Fredrik Hellström, Lena Lundqvist och Thomas Eliasson. Extrageologer har varit Linus Brander (f.d. doktorand Göteborgs universitet) och Brendan Dyck (f.d. Magisterstudent, Lunds universitet). Geofysiker som har arbetat med tolkning och sammanställning av geofysiska underlag har varit: Ildiko Antal Lundin, Mehrdad Bastani, Leif Kero, Lutz Kübler, Robert Berggren och Carl-Axel Triumf; samtliga geofysiker vid SGU. Robert Berggren och Stefan Persson har även utfört provtagning i fält.

I samband med kartläggningen har undersökningar av berggrundens lämplighet för tillverkning av väg- och betongballast genomförts. Resultat från dessa undersökningar presenteras i en separat SGU-rapport (Andersson m.fl. under sammanställning). Resultat från en delstudie av berggrundens tekniska egenskaper har presenterats i en magisteruppsats av Lundgren (2012).

Den sammanställda berggrundskartan (ytinformation) och koordinatsatt punktinformation, till exempel hällobservationer, geokemiska analyser, radiometrisk åldersbestämningar, petrofysiska egenskaper och geofysiska markmätningar, är lagrade i databaser på SGU. På SGU finns även fältkartor, bergartsprover och mikroskoppreparat arkiverade. Olika typer av berggrundsgeologiska data som tagits fram inom kartläggningsprojektet anges i tabell 2. Lista över kart- och bergartsprovmaterial som arkiverats på SGU anges i tabell 3.

Detalkartläggning och fördjupade studier

En viktig del av kartläggningen har utgjorts av samarbeten med forskare och studenter vid svenska och utländska universitet. De externa forskargrupperna har genomfört detaljerad kartläggning av nyckelområden samt gjort omfattande analysarbeten som varit avgörande för det nuvarande kunskapsläget. De grupper som särskilt har bidragit till nuvarande kunskapsläge har letts av Charlotte Möller och Leif Johansson, Lunds universitet och deras



Figur 1. Kartläggningsområdet (mörkröd begränsningslinje) med SGUs berggrundsgeologiska observationspunkter (ljusblå punkter) och markeringar av områden som kartlagts i detalj genom externa forskningsprojekt (blå begränsningslinje) varav en del varit nära kopplade till SGUs kartläggning genom SGUs FoU-verksamhet (röd begränsningslinje). Se tabell 2 för mer information.

Tabell 1. Lista över förkortningar av mineralnamn som används i figurer och figurtexter. Förkortningarna följer de rekommendationer som ges av Whitney & Evans (2010) med undantag för mineralen oxid och klinopyroxen där svensk förkortning har använts.

Förkortning	Mineral	Förkortning	Mineral	Förkortning	Mineral
bt	biotit	ms	muskovit	sil/ky	sillimanit/kyanit
grt	granat	opx	ortopyroxen	spr	safrin
hbl	hornblände	ox	oxid	ttn	titanit
kpx	klinopyroxen	pl	plagioklas		
mpor	mikropertitisk ortoklas	scp	skapolit		

Tabell 2. Lista över externa projekt som gjort geologiska eller geofysiska undersökningar av berggrunden i kartläggningsområdet med referens till beteckningar som anges i figur 1.

Område	Projekt	Referens
1	SGU extern FoU	Möller & Andersson 2018
2	Magisterarbete	Mozzafari Amiri 2013
3	Research project	Pinan Llamas m.fl. 2015
4	Magisterarbete	Ekdahl 2001
5	Magisterarbete	Andersson 1996
6	Magisterarbete	Dyck 2011
7	Diplomarbete	Seitz 2009
8	Diplomarbete	Richter 2009
9	Doktorsarbete	Tual 2016
10	Magisterarbete	Christoffel 1997
11	Research project	Hansen m.fl. 2015
Lokal	Lokalnamn/område	Referens
1	Steninge	Pinan Llamas m.fl. 2015
2	Steninge	Christoffel m.fl. 1999
3	Steninge	Hansen m.fl. 2015
4	Gåsanabbe, Steninge strand	Fredrich 2014
5	Gällared	Möller & Söderlund 1997
6	Skene-Ullared	Möller m.fl. 2015
7	Småris	Page m.fl. 1996
8	Björshult	Rimsa m.fl. 2007b; Petersson m.fl. 2015
9	Björshult, Sundhult, Kärnebygd	Andersson m.fl. 1999
10	Dagsås, Gällared	Söderlund m.fl. 2002
11	Lilla Ammås	Johansson m.fl. 1991; Möller 1998, 1999; Tual m.fl. 2017, 2018
12	Falkenbergs och Varbergs kn	Lundgren 2012
13	Obbhult	Eklöv Pettersson 2013
Profil	Projekt	Referens
1	Magisterarbete	Mohammadi 2014
2	Doktorsarbete	Lundberg & Juhlin 2011
3	Doktorsarbete	Tual m.fl. 2015

Tabell 3. Material som samlats in vid fältundersökningar av berggrunden i Falkenbergs kommun och omgivande områden och som arkiverats i SGUs samlingar.

Objekt	Typ av objekt	Antal objekt
Stuffer	Bergartsprover representativa för berggrunden i området	116
Tunnslip	Mikroskoperingspreparat i form av polerade tunnslip utan täckglas	118
Bergartspulver	Finmalet bergartspulver, restmaterial efter geokemisk bergartsanalys	42

studenter Lorraine Tual (doktorand, detaljkartläggning, strukturgeologi, petrologi), Brendan Dyck (kandidat- och magisterarbete, detaljkartläggning, strukturgeologi, geokronologi, tektonik), Nasim Mozzafari (magisterarbete, detaljkartläggning, strukturgeologi), Linda Lundgren (magisterarbete, petrografi och bergteknisk analys), Birgit Friedrich (petrografi och kvantitativa tryck- och temperaturberäkningar). Andra forskargrupper med projekt och

studenter i området som väsentligt bidragit med information till kartläggningen har letts av Edward Hansen, Hope collage, Michigan, USA och Aránzazu Piñán Llamas, Purdue University, Illinois, USA.

Det har även utförts detaljerade externa forskningsstudier av geofysiska data insamlad från karteringsområdet. Magnetanomalier i undersökningsområdets nordvästra delar (Obbhult–Steningeenhetens bergarter) har undersökts av Eneroth och Johansson i ett SGU-finansierat projekt 2008. Samma magnetiska anomali och berggrundsenshet i direkt angränsande område (Gödestad) har undersökts av McEnroe m.fl. (2001). En profil i områdets centrala delar har undersökts med reflektionsseismik av Lundberg och Juhlin (2011). Delområden inom karteringsområdet som kartlagts i större detalj genom externa projekt framgår av figur 1.

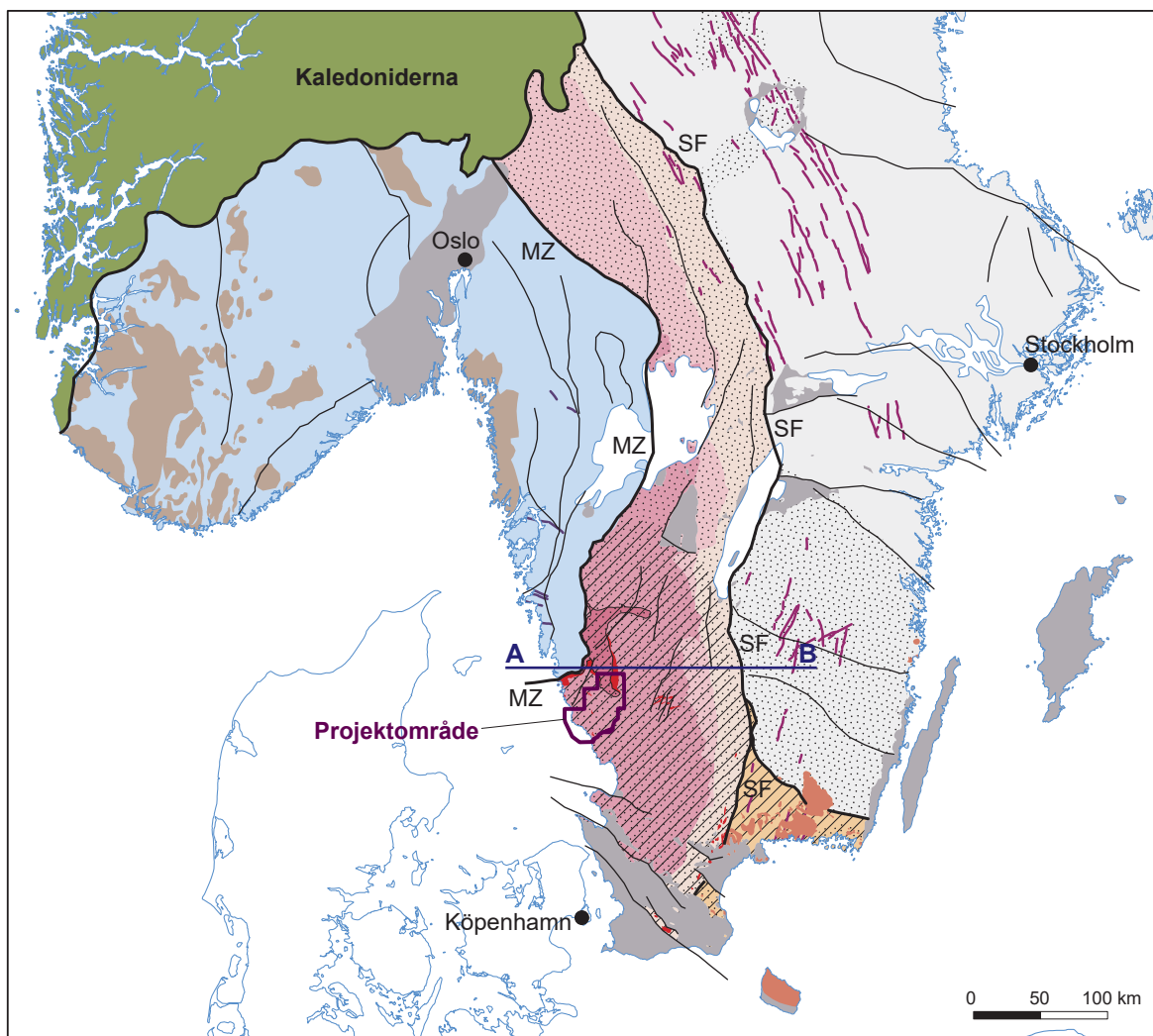
BERGGRUNDENS BILDNINGS- OCH UTVECKLINGSHISTORIA

Berggrunden i kartläggningsområdet utgör en del av den cirka 1140–900 miljoner år gamla så kallade svekonorvegiska bergskedjebildningen som kraftigt påverkat jordskorpan utformning i sydvästra Skandinavien (fig. 2). Händelsen medförde bland annat att jordskorpan pressades samman och delvis trycktes ned till stora djup, och att omfattande tektoniska rörelser sammanfogade berggrund med olika bildnings- och utvecklingshistoria (se beskrivning av Möller m.fl. 2015a). Berggrunden i kartläggningsområdet utgör den del av jordskorpan som tektoniskt tryckts ned till mycket stora djup (35–40 km). Den präglas därför genomgående av kraftig omvandling och deformation under höga tryck och höga temperaturer. Berggrunden utgörs av ett litologiskt heterogent gnejskomplex med ett antal mineralogiskt och strukturellt olika domäner. Dessa domäner har genomgått olika tektonometamorfa omvandlingar och har därför olika generella mineralogiska och texturella egenskaper (se avsnittet *Metamorfos* nedan). Gemensam geologisk karaktär för samtliga domäner och berggrundsenheter som förekommer inom undersökningsområdet är att de:

1. metamorfoserats och deformerats under övre amfibolit- till högtrycksgranulitfaciesförhållanden i sensvekonorvegisk tid, för ungefär 0,98–0,96 miljarder år sedan.
2. dominerande protoliterna till gnejserna är 1,74–1,66 miljarder år gamla djupbergarter av granitisk och granodioritisk, till kvartsmonzodioritisk sammansättning med underordnade mafiska led.
3. är veckade och sträckta längs öst–västligt orienterade veckaxlar och därefter storskaligt veckade längs nord–sydliga axlar.

Kvantitativa tryck- och temperaturbestämningar ger tryck på omkring 10–12 kbar och temperaturer i intervallet 680–850 °C (Johansson m.fl. 1991, Möller 1998, 1999, Fredrich 2014, Hansen m.fl. 2015, Möller m.fl. 2015b). I kartområdets nordöstra delar uppträder en eklogitförande skolla (eklogitskollan, se avsnittet *Retrograd eklogit och mylonitiska gnejser i eklogitskollans basala skjuvzon* nedan, Möller m.fl. 2015a). Dessa innehåller rester av eklogitiska bergarter och bär spår av metamorfa tryck på minst 17 kbar (Tual m.fl. 2017). De eklogitförande enheterna har skjutits in i gnejskomplexet från större djup (≥ 60 km) på ett tidigt stadium i områdets svekonorvegiska utveckling och därefter kraftigt deformerats och metamorfoserats tillsammans med omgivande berggrund under högtrycksgranulitfacies och övre amfibolitfacies på 35–40 km djup (Möller m.fl. 2015a). Detta innebär att berggrunden i hela kartområdet präglas av kraftig deformation och omkristallisation under höga tryck och temperaturer. Bergarterna visar genomgående tecken på partiell uppsmältning, så kallad migmatitisering, och även kvartsfattiga mafiska bergarter är vanligtvis migmatitiserade. Kraftig och penetrativ deformation har gjort att ursprungliga litologiska heterogeniteter som till exempel variationer i mineralsammansättning, förekomst av linser och enklaver, ådror, eller felsiska och mafiska gångbergarter har överpräglats och parallelliserats till att bilda en distinkt litologisk bandning. Den svekonorvegiska bergskedjebildningen medförde även injektering av diabasgångar som bedöms vara ungefär 0,97–0,94 miljarder år gamla. Gångarna injekterades under öst–västlig extension i ett skede när jordskorpan fortfarande var mycket varm, och nuvarande erosionssnitt (markyta) var beläget på stort djup. Diabasgångarna är strukturellt unga och uppträder ofta i klippande relation till sidobergets högggradigt veckade gnejsiga strukturer, men är själva metamorfoserade och deformerade under höga tryck och

Figur 2. (Se sidan 9). Schematisk illustration av södra Skandinavien litotektoniska uppbyggnad baserad på Möller m.fl. (2015a), SGUs tektoniska karta över Sverige i skala 1:1 miljon (Bergman m.fl. 2012) och Fennoskandiska sköldenkartan i skala 1:5 miljoner (Koistinen m.fl. 2001); utbredningen av sensvekonorvegiska graniter i Sydnorge baseras även på kartor i Slagstad m.fl. (2013). Eklogitskollans utbredning i Östra segmentet baserad på Möller m.fl. (2015a) och författarnas opublicerade data. Den lila insättsramen visar kartläggningsområdet.



Fanerozoiska bergarter

Odifferentierad berggrund

SVEKONORVEGISKA PROVINSEN

Berggrund bildad eller deformerad och metamorfoserad under den 1,14–0,90 miljarder år gamla Svekono-vegiska bergskedjebildningen

Västra Svekono-vegiska provinsen

Ikke underindeldad berggrund

1,05–0,92 miljarder år gamla mafiska till felsiska intrusioner, huvudsakligen granitiska

0,94–0,92 miljarder år gamla diabasgångar

Östra segmentet

Frontala delen, grönskiffer till amfibolitfacies

Transitionella delen, högtrycksamfibolitfacies

Inre delen, högtrycksgranulitfacies, övre amfibolitfacies och omfattande migmatisering

Eklogitiskollan

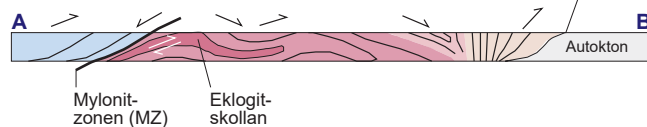
1,47–1,38 miljarder år gamla intrusioner och metamorfa motsvarigheter

0,97–0,94 miljarder år gamla diabasgångar

Västra Svekono-vegiska provinsen

Östra segmentet

Svekono-vegiska Fronten (SF)



BLEKINGE-BORNHOLMPROVINSEN

Berggrund bildad eller deformerad och metamorfoserad under den 1,47–1,38 miljarder år gamla Hallandiska bergskedjebildningen

1,47–1,44 miljarder år gamla intrusioner och metamorfa motsvarigheter

Paleoproterozoiska metamorfa bergarter

PALEOPROTEROZOISKA PROVINSEN

Berggrund som inte påverkats av Svekono-vegisk eller Hallandisk plastisk deformation och metamorfos.

Berggrund huvudsakligen bildad och delvis deformerad och metamorfoserad under 1,92–1,66 miljarder år gamla bergskedjebildningar

Överbeteckning

Berggrund som deformerats och metamorfoserats under den Hallandiska bergskedjebildningen

1,87–1,66 miljarder år gamla granitiska till kvartsmonzodioritiska magmatiska protolitbergarter (Transskandinaviska magmatiska bältet, TIB) och ometamorfa motsvarigheter

temperaturer (Fredrich 2014). De är sannolikt likåldriga med den 0,97–0,94 miljarder år gamla diabasgångssvärm som uppträder längs den svekonorvegiska fronten och i området öster därom (fig. 2). I slutskedet av den svekonorvegiska bergskedjebildningen injekterades pegmatitiska och granitiska gångar. Gångarna är odeformerade och klipper de plastiska strukturerna och har daterats till att vara 0,96–0,94 miljarder år gamla (Möller & Söderlund 1997, Andersson m.fl. 1999, Christoffel m.fl. 1999, Möller m.fl. 2007).

Områdets geologiska utveckling präglas även av omvandling under höga temperaturer som ägde rum långt före den svekonorvegiska bergskedjebildningen, och delar av kartläggningsområdet utgörs av flerfaldigt metamorfoserade, så kallade polymetamorfa, gnejser. Åtminstone två faser av metamorfos under höga temperaturer i övre amfibolitfacies till granulitfacies har registrerats, en för 1,47–1,44 miljarder år sedan och en för 1,42–1,38 miljarder år sedan. Båda faserna är kopplade till den så kallade hallandiska bergskedjebildningen (Hubbard 1975, 1978, Möller m.fl. 2007, Piñán Llamas m.fl. 2015, Ulmius m.fl. 2015). Metamorfos och deformation under den hallandiska bergskedjebildningen gav ställvis upphov till en ådring och gnejsig bandning som är särskilt utmärkande i områdets södra delar. Den hallandiska bergskedjebildningen gav även upphov till stråkvis infiltration av koldioxidrika lösningar och högtemperaturmetamorfos av berggrunden, så kallad charnockitisering, för 1,42–1,38 miljarder år sedan (Hubbard 1975, 1978, Rimsa m.fl. 2007, Harlov m.fl. 2014). Denna verkar höra samman med samtida granitiska till gabbroida intrusioner och injektering av pegmatitiska och granitiska gångar (Rimsa m.fl. 2007, Christoffel m.fl. 1999, Söderlund m.fl. 1999, Söderlund m.fl. 2002, Harlov m.fl. 2014, Möller m.fl. 2015b). Strukturer och mineralparageneser bildade under den hallandiska bergskedjebildningen har överpräglats eller uttraderats av metamorfos och deformation under höga tryck och temperaturer i samband med den efterföljande svekonorvegiska bergskedjebildningen. Rester av hallandisk metamorfos har inte spårats inom de eklogitförande enheterna i nordväst (Möller m.fl. 2015a).

GEOFYSIK

Berggrundens geofysiska egenskaper har undersökts med hjälp av flygmätningar av jordmagnetiska fältets totalintensitet, berggrundens naturliga gammastrålning och de elektromagnetiska signalerna från två sändare i VLF-området (*Very Low Frequency*). Flygmätningarna utfördes år 1990 och 1992 i öst–västlig flygriktning på cirka 30 m flyghöjd med ett linjeavstånd på cirka 200 m. Vidare finns totalt 508 markmätningar med tyngdkraftsinformation från kartområdet. Dessa geofysiska data presenteras i den magnetiska anomalikartan (fig. 3), bougueranomalidifferenskartan (filtrerad tyngdkraftsdata, fig. 4) och resistivitetskartan som visar områdets uppmätta skenbara resistivitet beräknad från VLF-data (fig. 5). Den flyggeofysiska informationen har även samtolkats och bearbetats tillsammans med topografiska data (lantmåteriets digitala höjddatabank med 50 m rutnät, fig. 6) bland annat för att identifiera lineament.

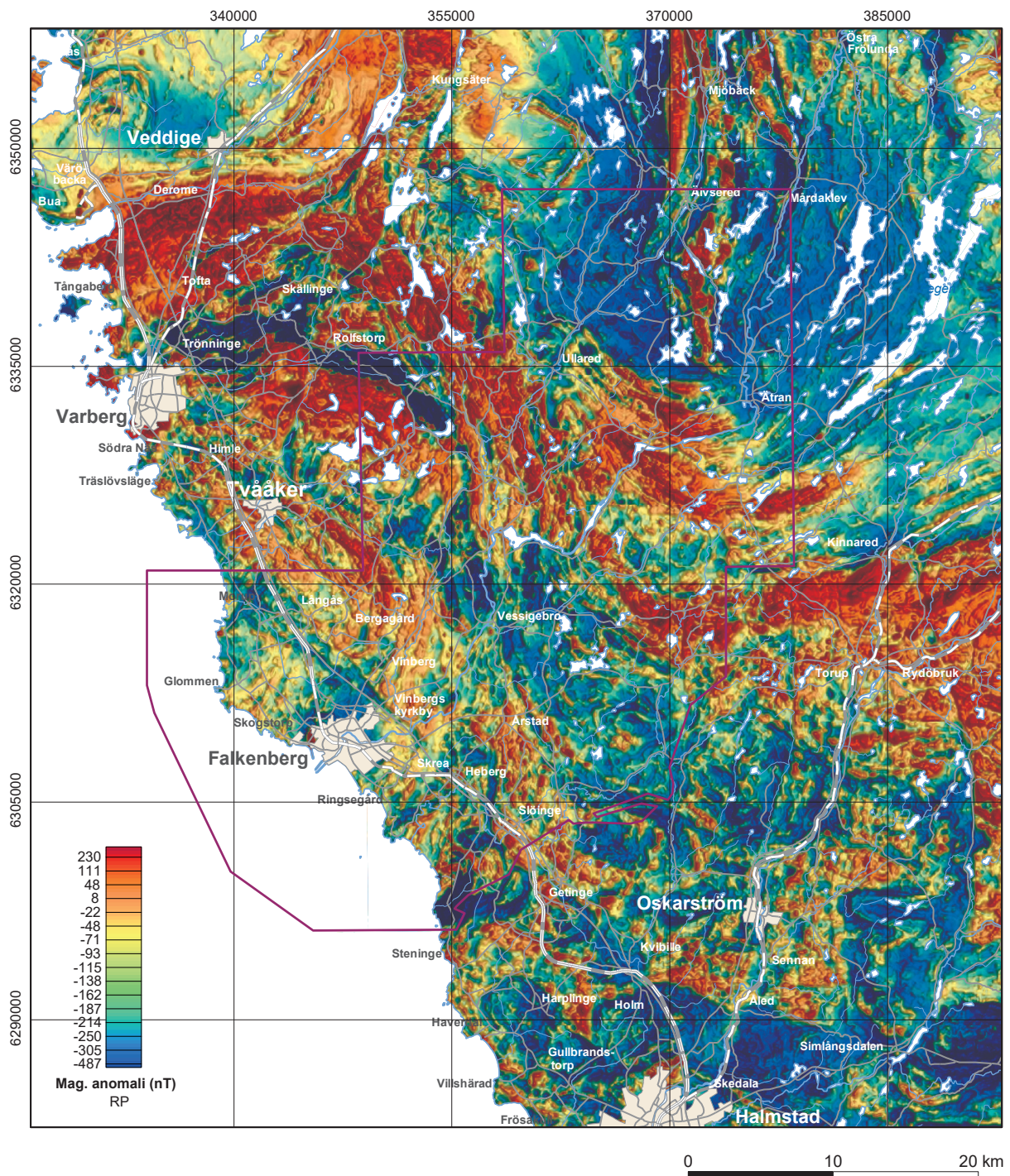
Vid tolkning och modellering av olika berggrundsenheters utbredning och berggrundens strukturella uppbyggnad undersöks korrelationer mellan magnetfälts- och bougueranomalier och fältobservationer, särskilt i områden med låg blottningsgrad. För att kunna studera de geofysiska egenskaperna hos de ytliga delarna av berggrunden (de som kartläggs i fält), filtreras och bearbetas geofysiska data för att presenteras i så kallade differenskartor vilka framhäver ytnära geofysiska anomalier ($\leq 1\,500$ m). Bouguerdifferensanomalikartan i figur 4 visar sådan ytnära tyngdkraftsinformation.

Inom karteringsprojektet har även 187 gammastrålningsmätningar utförts på utvalda hållar (se avsnittet *Gammastrålningsmätningar* nedan). 192 bergartsprov har valts ut för mätningar av densitet, magnetisk remanens och magnetisk susceptibilitet i laboratorium. Under kartläggningen har även magnetisk susceptibilitet mätts på alla dokumenterade hållar. I de flesta fall har åtta mätningar genomförts per observerad bergart. Vid stor variation i den uppmätta magnetiska susceptibiliteten har 10–15 mätningar utförts.

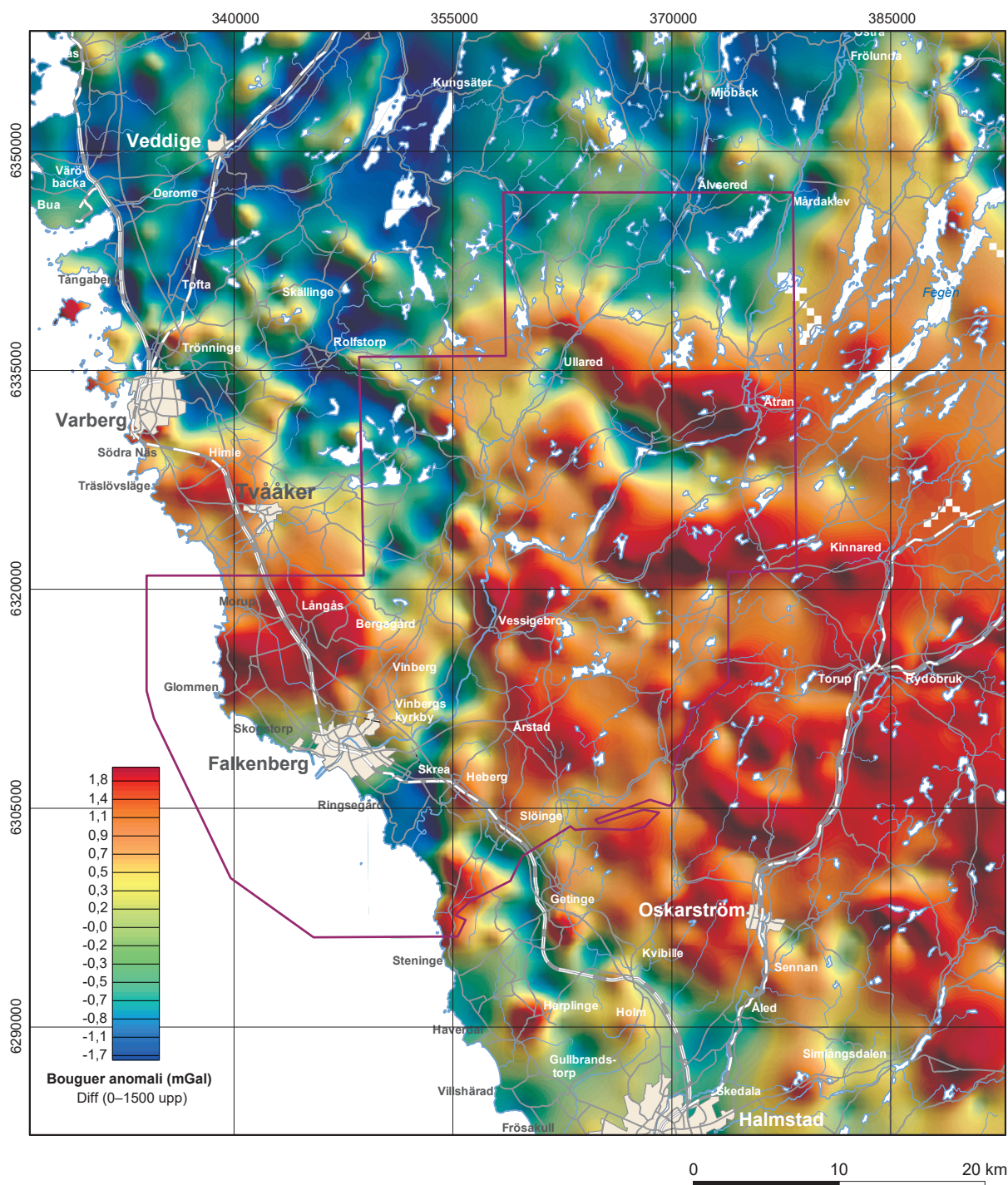
Markgeofysiska mätningar har gjorts längs utvalda profiler för att studera magnetiska och elektromagnetiska anomalier som identifierats i data från flygmätningarna och som bedömts vara av särskilt intresse för förståelsen av berggrundens strukturella uppbyggnad (fig. 1). Mätningarna utfördes 2013 av Soroor Mohammadi, Linda Lundgren och Mehrdad Bastani. Magnetotelluriska mätningar utfördes längs en cirka 16 km lång profil över den eklogitförande enhetens basala skjuvzon för att modellera resistivitet till ett djup av > 5 km (fig. 1, Mohammadi 2014). Magnetfältsmätningar med protonmagnetometer gjordes längs sju markprofiler och radiomagnetotelluriska mätningar utfördes längs två av magnetprofilerna för att modellera resistivitet ner till cirka 300 m djup (fig. 6). Arbetsmetodik och resultat från modelleringen av data från de magnetotelluriska och radiomagnetotelluriska profilmätningarna beskrivs av Mohammadi (2014).

Magnetiska anomalikartan

Den magnetiska anomalikartan över det aktuella området visar på kraftigt varierande magnetiseringsnivåer (fig. 3). Dessa beror framför allt på variationer i bergarternas innehåll av magnetiska mineral såsom magnetit och hemoilmenit. Den magnetiska anomalikartan ger information om variationer i berggrundens mineralogiska sammansättning och kan därmed ge information om variationer i bergartstyp eller deformationsgrad. Det magnetiska anomalimönstret bildar ett ramverk för berggrundskartan och används som ett principiellt underlag vid fältarbete. Vid en jämförelse av magnetiska anomalikartan och berggrundskartan kan man se att utbredningen av

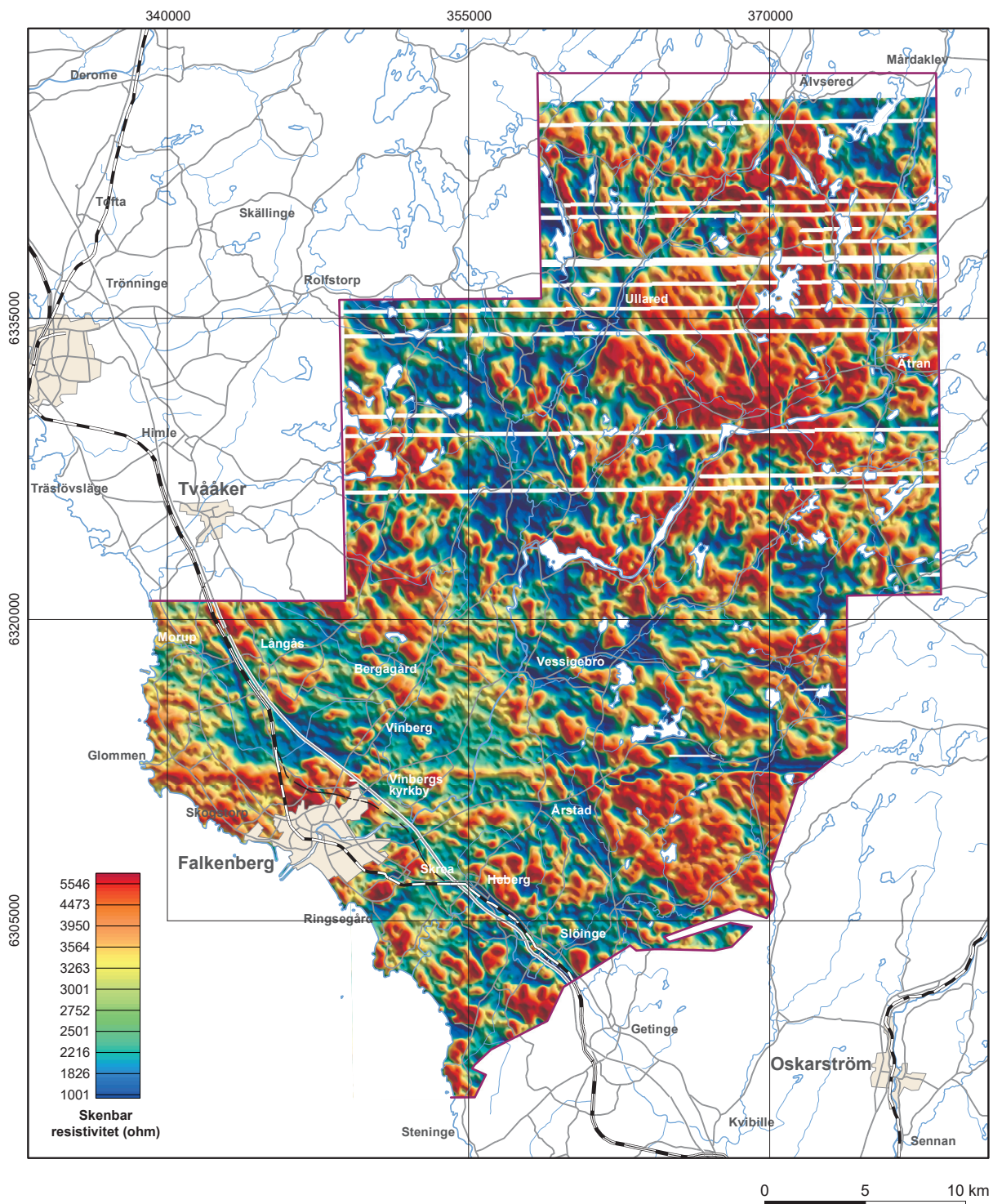


Figur 3. Magnetisk anomalikarta (totalfält) över kartområdet. Kartan baseras på flygburna mätningar utförda år 1990 och 1992 på ca 30 m flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 m och öst–västlig flygriktning.



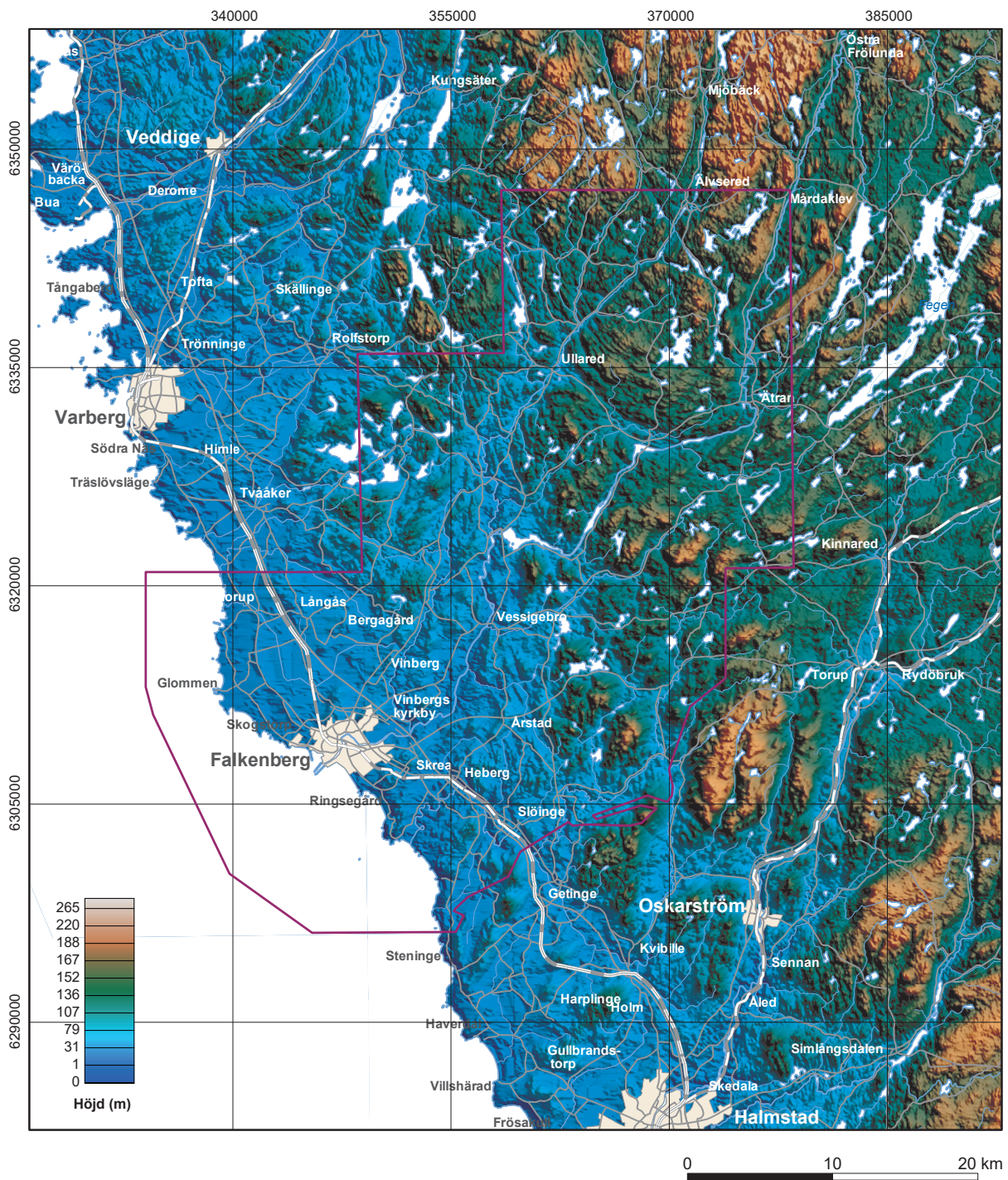
Figur 4. Differensbougueranomalikarta över tyngdkraftsfältet i kartområdet. Kartan är baserad på markmätningar med ett varierande punktavstånd på 200–1500 m. Kartan visar även densitet hos ett urval av bergartsprover från karteringsområdet.

olika tektoniska enheter och de kraftigt deformerade bergartsleden till största delen sammanfaller med mönstret i magnetiska anomalikartan (jämför fig. 3, 9 och 11). Större bergartsenheter som tydligt framträder i magnetiska anomalikartan är till exempel de cirka 1,4 miljarder år gamla Tjärnesjö–Källsjöstråken där större sammanhängande kroppar framträder som distinkt positiva anomalier. Ett annat exempel är större sammanhängande domäner av Obbhult–Steningeenhetens bergarter. Dessa framträder som mörkt blå negativa anomalier vilka indikerar lågmagnetiska områden, så kallade magnetiska hål. Mätningar av den magnetiska susceptibiliteten på berghällar



Figur 5. Kartan visar den skenbara resistiviteten beräknad från elektromagnetiska VLF-data från flygburna mätningar utförda år 1990 och 1992 på ca 30 m flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 m och öst–västlig flygriktning.

i fält och i laboratorium visar att även delar av Obbhult–Steningeenheten innehåller bergarter med hög magnetisk susceptibilitet. Dessa bergarter har dock en mycket kraftig magnetisk remanens som är motriktad dagens magnetfält och framträder därför som skenbart lågmagnetiska domäner. Bergartsled med kraftig remanens förekommer även i andra delar av området. Den inre delen av den eklogitförande enheten domineras av kraftigt uppsmälta ortognejser som i magnetiska anomalikartan framträder med lågmagnetisk signatur (blå områden i kartområdet)



Figur 6. Höjdreliëfkarta över kartområdet baserad på Lantmäteriets digitala höjddatabank med 50 m rutnät.

nordöstra del; jämför fig. 3 och 11). I denna enhet förekommer på en del ställen mer högmagnetiska stråk som inte gått att korrelera till motsvarande variation i bergartstyp. Däremot förekommer variationer i remanent magnetisering, vilket kan förklara heterogeniteten i magnetanomalimönstret.

Kartområdets magnetiska anomalimönster återspeglar också tydligt berggrundens plastiska strukturella karaktär. Framförallt framträder det sensvekonorvegiska storskaliga nord-sydliga veckmönstret tydligt liksom den veckade eklogitskollans utbredning (jämför fig. 3, 9 och 11). Det norra kartområdets strukturella uppbyggnad och den nära korrelationen med magnetanomalimönstret diskuteras i detalj av Möller m.fl. (2015a).

Magnetiska anomalikartan ger även information om större spröda rörelsezoner. Den mest framträdande är en nordväst–sydöstligt strykande förkastningszon som i stort sett följer järnvägens (västkustbanan) och motorvägens (E6) sträckning i områdets sydvästliga del. Förkastningen framträder som ett distinkt brott i det magnetiska anomalimönstret och sammanfaller även med tydliga diskontinuiteter i berggrundskartan (jämför fig. 3 och 8). Mer information om kopplingen mellan magnetiska anomalikartan och det spröda deformationsmönstret i kartområdet ges i avsnittet *Spröda strukturer* nedan.

Tyngdkraftskartan

Tyngdkraftsfältet påverkas av berggrundens densitet och kan därför ge viktig information om dess uppbyggnad och storskaliga strukturella drag i tre dimensioner. Tyngdkraftsmätningarna i området är utförda med ett punktavstånd på 1,0–1,5 km. Resultaten från tyngdkraftsmätningarna redovisas i form av bougueranomalier (tyngdkraftsanomalier som korrigerats för på vilken höjd mätningen gjorts och inverkan från terrängens topografi). Analyser av representativa bergartsprovers densitet har gjorts för att utvärdera variationer i bougueranomalimönstret. Till exempel finns en trend med höga positiva anomalier i östra kartområdet som sammanfaller med den sydöstra delen av den eklogitförande basala skjuvzonen och det amfibolitrika bergartsstråket söder därom i trakten av Drängsered (se avsnittet *Amfiboliter och mafiska granuliter nedan*; jämför fig. 4 och 8). En mer omfattande och mer systematisk provtagning av olika bergartsled krävs för modellering och mer detaljerad tolkning av tyngdkraftsfältets variation.

Elektromagnetiska data

Elektromagnetiska VLF-data kan bland annat användas som ett underlag för identifiering av spröda deformationszoner i berggrunden, framförallt för att identifiera vattenförande sprickzoner som kan uppträda som långsträckta lågresistiva anomalier i VLF-kartan (hög ledningsförmåga ger låg resistivitet). Lågresistiva anomalier i den elektromagnetiska kartan kan även orsakas av vattenförande jordlager. I många fall finns även en god korrelation mellan VLF-anomalier och topografiskt framträdande sprickdalar i höjddata (jämför fig. 5 och 6). Tolkningen av VLF-kartan diskuteras vidare i avsnittet *Spröda strukturer* nedan.

Gammastrålningsmätningar

I kartområdet har data om berggrundens naturliga gammastrålning samlats in för att identifiera eventuella områden med risk för förhöjd gammastrålning och förhöjda radonvärden. 187 markbaserade gammastrålningsmätningar utförts på berghällar med handburen gammaspektrometer varpå den totala gammastrålningen och halterna av ^{40}K , ^{238}U och ^{232}Th bestämts. Radiumindex och aktivitetsindex (även benämnt gammaindex), har beräknats för samtliga mätpunkter och data finns tillgängligt i SGUs databaser. Radiumindex beräknas genom bestämning av koncentrationen av U i materialet, där 16,7 ppm U motsvarar 200 Bq/kg ^{226}Ra , vilket i sin tur motsvarar ett radiumindex på 1,0. För byggnadsmaterial skall radiumindex vara <1,0 (BFS 1990).

Gammaindex m_γ är beräknat enligt:

$$m_\gamma = C_K/3000 + C_{\text{Ra}}/300 + C_{\text{Th}}/200$$

där C_K , C_{Ra} och C_{Th} är koncentrationerna av ^{40}K , ^{226}Ra respektive ^{232}Th , alla i enheten Bq/kg.

Halterna av K, U och Th redovisas i massandelar som procent för K och miljondelar (ppm) för U och Th. Halterna kan omräknas till Bq/kg enligt följande:

1 % K = 313 Bq/kg

1 ppm U = 12,35 Bq/kg

1 ppm Th = 4,06 Bq/kg

Resultaten från strålningsmätningarna visar att ingen av de undersökta hållarna i området har ett aktivitetsindex överstigande 1,0. Den högsta uppmätta U-halten i området ligger på knappt 2 ppm och är alltså mindre än en åttiondel av det rekommenderade gränsvärdet på 16,7 ppm (se ovan och fig. 32). De naturliga gammastrålningsnivåerna i kartområdet är alltså mycket låga.

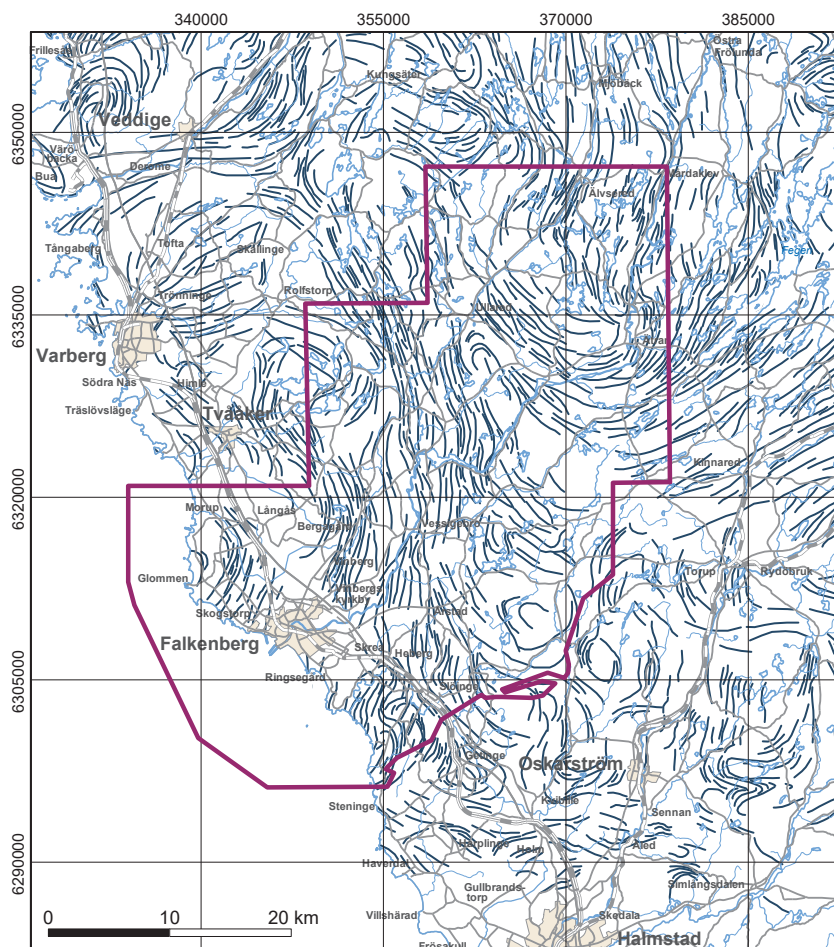
TOPOGRAFISKA DATA

Topografiska data (höjddata) används vid kartläggningen av olika bergartsenheters rumsliga utbredning och för identifiering av lineament (se avsnittet *Lineament och magnetiska konnektioner*). Topografiska data åskådliggörs i höjdreliëfkartan över kartområdet (fig. 6). Den är baserad på Lantmäteriets digitala höjddatabank med 50 m rutnät.

LINEAMENT OCH MAGNETISKA KONNEKTIONER

Positiva och negativa linjära anomalier i magnetiska data, VLF- och höjddata identifierades genom semiautomatisk bearbetning i både nord–sydlig och öst–västlig riktning. Linjära trender i data söktes ut genom semiautomatisk bearbetning av negativa magnetiska anomalier respektive lågtopografiska signaturer inom karteringsområdet. En semiautomatisk bearbetning och visuell samtolkning av magnetfält-, VLF- och höjddata utfördes därefter för att identifiera särskilt framträdande lineament. Det är denna tolkning som genom korrelationer med berggrundsgeologiska observationer ligger till grund för den slutliga lineamentstolkning som presenteras i berggrundskartan och som kan åskådliggöra plastiska och spröda deformationsmönster i berggrunden. Lineamentskartor och geologisk tolkning av uttolkade lineament presenteras i avsnittet *Spröda strukturer* nedan.

En karta över magnetiska konnektioner har tagits fram genom bearbetning av magnetiska anomalidata (filtrering) och visuell identifikation av framträdande positiva bandade magnetanomalier (Lutz Kübler, SGU, fig. 7). I magnetiska konnektionskartan framträder områdets plastiska deformationsmönster tydligt. Den har utgjort underlag för identifieringen av storskaliga deformationsstrukturer och bergartsenheters rumsliga utbredning (jämför fig. 7 och 8).



Figur 7. Magnetiska konnektioner baserade på visuell tolkning av filtrerade magnetfältdata. Lila ram visar kartläggningsområdet.

BERGGRUNDSGEOLOGI – BERGARTSGRUPPER I KARTDATABASEN

Berggrundskartan över Falkenbergsområdet visas i figur 8. Indelningen av berggrunden är baserad på en bedömning av de olika bergartsledens mineralogiska sammansättning och ursprungsåldrar. Berggrundsytorna har i några fall fått överbeteckningar för särskilda texturella egenskaper såsom förekomst av fältspatögon eller rester av primär grovkornig eller ojämnkornig magmatisk textur.

Bergarternas geokemiska och mineralogiska sammansättning har bestämts på ett antal representativa prover genom geokemisk analys och mikroskopstudier av tunnslipspreparat. Analyser av bergarternas densitet har även varit ett stöd för klassifikation.

Baserat på bedömningar av bergarternas mineralogiska sammansättning och deras protolitåldrar (ursprungsbergarternas åldrar) har berggrunden i karteringsområdet delats in i elva olika bergartsgrupper (fig. 8). Dessa beskrivs nedan ordnade efter ålder och sammansättning.

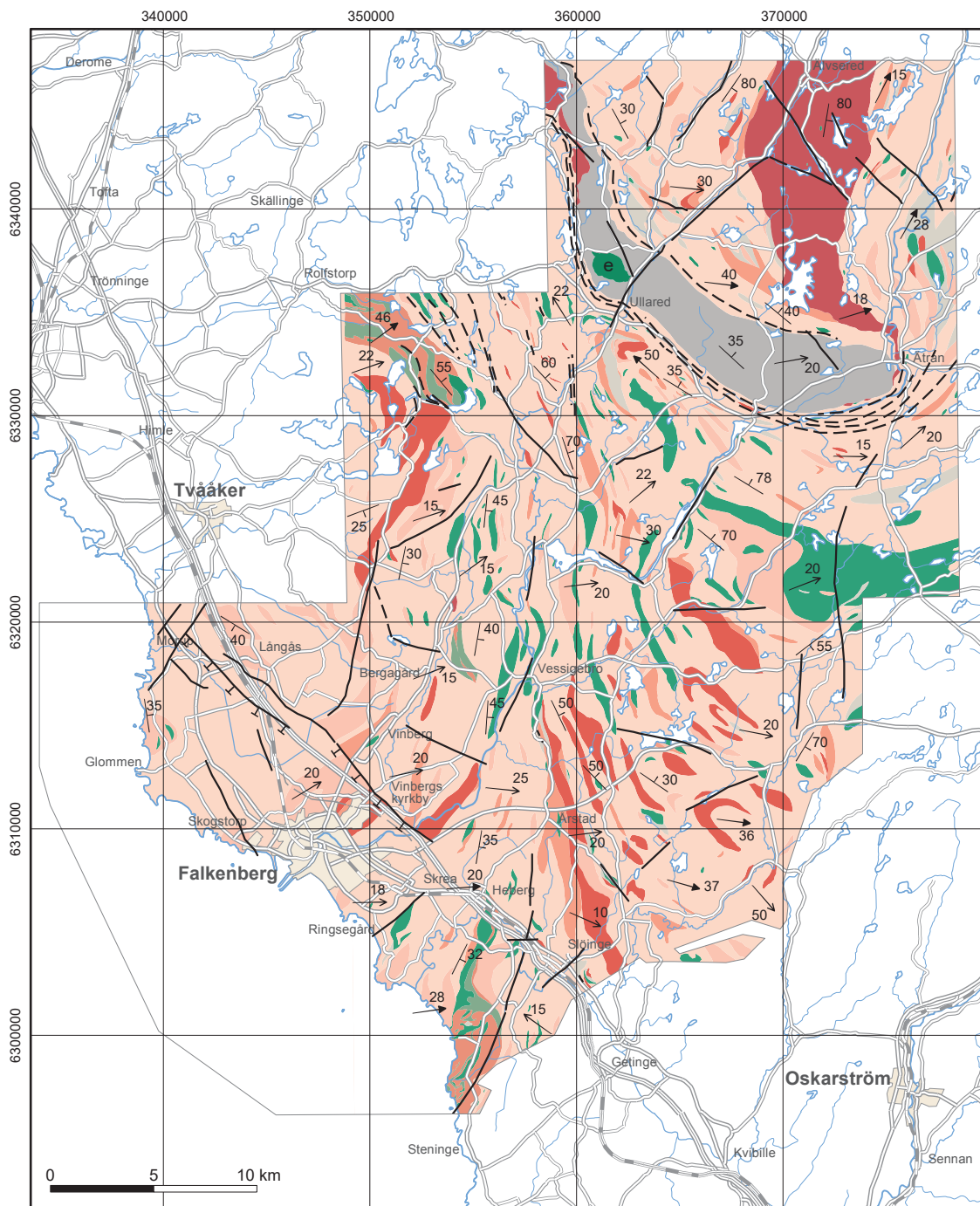
Granitiska–granodioritiska-kvartsmonzodioritiska gnejser med 1,74–1,66 miljarder år gamla ursprungsåldrar protolitåldrar

Området domineras av till olika grad delvis uppsmälta, ådrade ortognejser med protolitåldrar mellan 1,74 och 1,66 miljarder år (Söderlund m.fl. 2002, SGU opublicerade data, se även Möller m.fl. 2007 och Petersson m.fl. 2015). De är genomgående penetrativt deformerade och omkristalliserade under hög temperatur. Band, sliror eller inneslutningar av både felsiska och mafiska bergarter är vanliga men volymmässigt underordnade (fig. 9A). Bergartsklassifikation baserad på den geokemiska sammansättningen indikerar granitisk till kvartsmonzodioritisk sammansättning, med en dominans av granitiska sammansättningar (se avsnittet *Bergarternas geokemiska sammansättning* nedan). Variationer i kornstorlek och mineralsammansättning kan vara stora och förekommer ställvis över små avstånd (< dm). Ursprungliga kontaktrelationer mellan olika bergartsled har genomgående modifierats (plattats ut, veckats och sträckts) av överpräglade deformation. Gnejsernas textur, mineralogi, och andelen migmatitådror, liksom ådrornas struktur, textur och mineralogi, varierar stort mellan olika delar av kartområdet (fig. 9–11). I Varbergs- och Falkenbergsområdet är gnejserna mer sparsamt ådrade och har oftare en bättre bevarad protolittextur från den magmatiska ursprungsbergarten, om än kraftigt omkristalliserad (fig. 9B). Där finns även större områden med välbevarade pyroxenförande (granulitfacies) gnejser och lokalt förekommer även mörkt gröngrå charnockit (fig. 9C). I Ullared–Fageredsområdet (den inre delen av eklogitskollan) uppträder gnejserna däremot mer eller mindre genomgående som penetrativt, kraftigt ådrade stromatiska migmatiter (fig. 9D).

Variationerna i struktur, textur och mineralogi beror på skillnader i metamorf utveckling mellan olika delar av berggrunden (se avsnittet *Metamorfos* nedan). Eftersom berggrundskartan bygger på en klassning av bergarternas ålder och sammansättning visar den inte skillnader i metamorfa petrologi. En detaljerad beskrivning av kartområdets varierande metamorfa och petrografiska karaktär och därtill kopplade tekniska egenskaper presenteras av Andersson m.fl. (under sammanställning).

I berggrundskartan har fyra huvudtyper av 1,74–1,66 miljarder år gammal ådergnejs skiljts ut baserat på mineralogisk sammansättning och textur (fig. 8). Den dominerande typen utgörs av rödgrå till gråröd granitisk till granodioritisk ådergnejs (fig. 9A, E). Ljusare och rödare varianter utgörs av röd- till gråröd ådergnejs av dominerande granitisk sammansättning (fig. 9F), medan grå till mörkt grå gnejser huvudsakligen varierar från granodioritisk och kvartsmonzonitisk till kvartsmonzodioritisk och monzodioritisk sammansättning (fig. 10A). Alla tre varianterna är oftast makroskopiskt relativt jämnkorniga. En fjärde bergartsgrupp av gnejser med 1,74–1,66 miljarder år gamla protolitåldrar har skiljts ut på grundval av texturella kriterier då de har en delvis framträdande bevarad reliktporfyrisk, ojämnkornig eller grovkornig textur (fig. 10B). Denna bergartsgrupp varierar i sammansättning från ljus röd granit till mörkt grå kvartsmonzodiorit till monzodiorit (fig. 9B–C och 10B). De motsvarar gnejser som i äldre litteratur och berggrundskartor ofta har refererats till som gnejsgraniter, en term som antyder att bergarten är mer ”granitisk, magmatisk” än ”gnejsig, metamorf” i sitt fältuppträdande. I likhet med omgivande likåldriga gnejser är de dock penetrativt omkristalliserade vid höga temperaturer, och ofta deformerade till att ha en välutvecklad gnejsig struktur. Övergångarna mellan gnejs med bevarad magmatisk textur och omgivande ådergnejser är ofta glidande och kan variera stort inom ett och samma hållområde. I kartbilden har berggrund med reliktporfyrisk, ojämnkornig eller grovkornig textur skiljts ut endast i de områden där dessa särskilda texturella egenskaper har bedömts vara särskilt framträdande.

I äldre litteratur, kartor och kartdatabaser har gnejser med reliktporfyrisk textur ibland förmodats ha yngre



Bergarter med 1,74–0,91 miljarder år gamla protolitåldrar

- Leukokratiska graniter och granitiska gnejser
- Mafisk högtrycksgranulit, granatamfibolit och amfibolit

Bergarter med 1,42–1,38 miljarder år gamla protolitåldrar

- Kvartsmonzonitiska metaintrusiv/ögonggnejser

Obbhult–Steningeenheten

- Intermediär–amfibolitisk gnejs med 1,42–1,38 miljarder år gamla ursprungsåldrar
- Kvartsfältspatgnejs av oklart ursprung och ålder

Eklogitskollans basala skjuvzon

- Kraftigt deformerade, delvis mylonitiska gnejser med 1,74–1,66 miljarder år gamla ursprungsåldrar
- Större eklogittills

Bergarter med 1,71–1,66 miljarder år gamla protolitåldrar

- Granitisk–granodioritisk gnejs (grå–rödgrå)
- Granitisk gnejs (röd–grågrå)
- Granodioritisk–kvartsmonzodioritisk gnejs (grå)
- Ögongnejs och relik grovkornig eller grovt ojämnkornig gnejs

65 Gnejsig foliation med gradtal för stupning

65 Veckaxel med gradtal för stupning

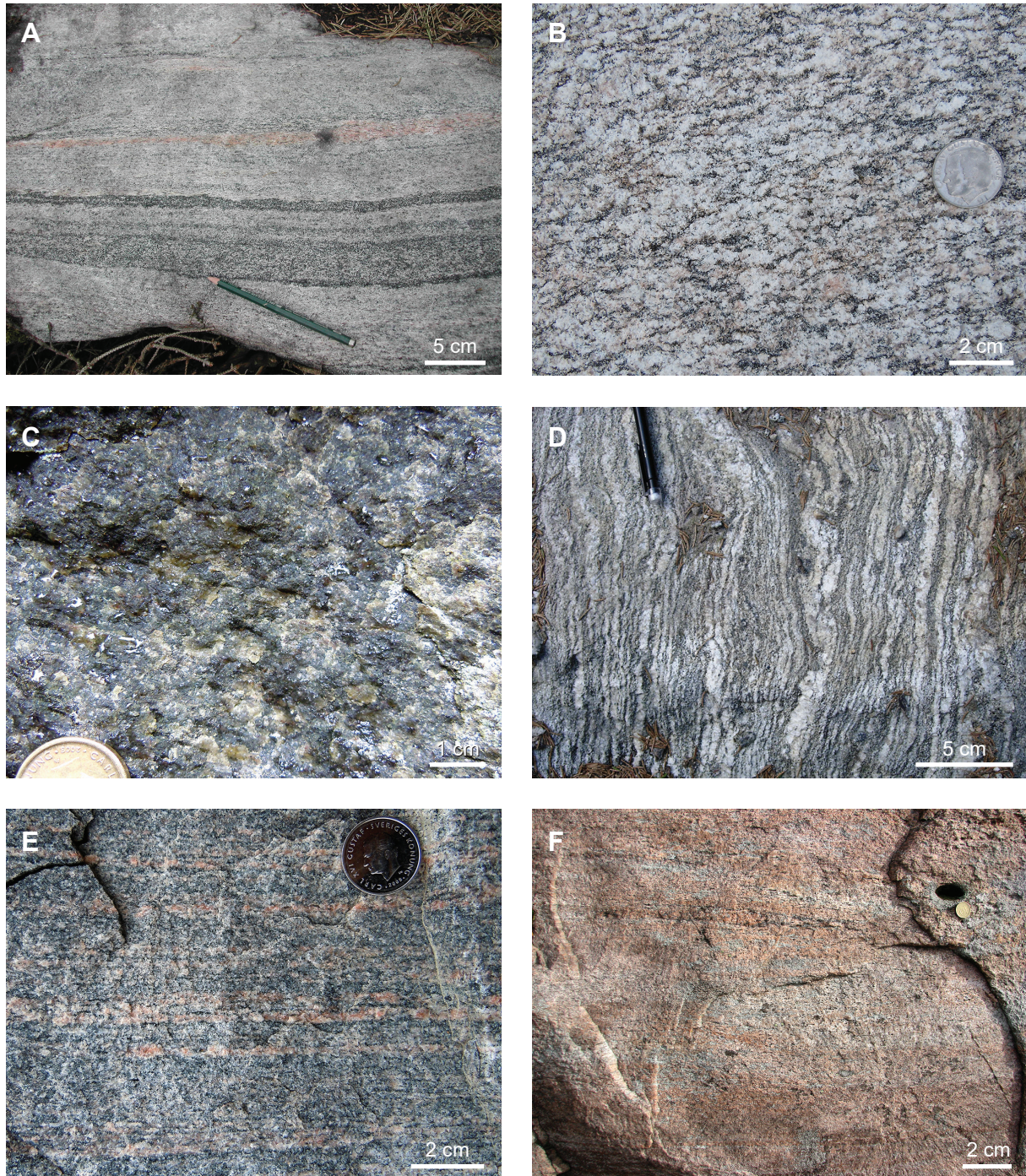
65 Stänglighet med gradtal för stupning

--- Framträdande plastisk deformationszon

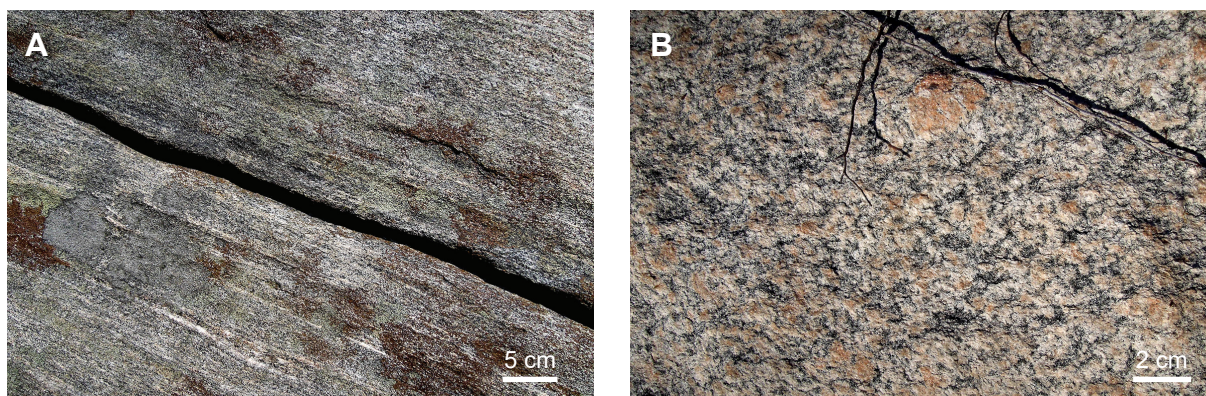
— Framträdande uthållig spröd deformationszon

— Spröd rörelsezon med okänd stupning. Symboler i det sänkta blocket.

Figur 8. (Se sidan 18). Litologisk karta. Bearbetat utsnitt från SGUs kartdatabas. Obbhult–Steninge- och Eklogitenheternas utbredning har i huvudsak kartlagts av C. Möller och studenter vid Lunds universitet (se även Möller m.fl. 2015a och Tual m.fl. 2015; 2017 och 2018). Steningekusten i sydväst har även kartlagts av E. Hansen och studenter vid Hope College, Michigan, USA.



Figur 9. Fältfotografier av olika varianter av 1,74–1,66 miljarder år gamla ådergnejser. **A.** Litologiskt bandad granitisk till granodioritisk gnejs (Sävekulla, 6344306/375613, JAN100020). **B.** Kvartsmonzodioritisk, relik grovkornig till grovt ojämnkornig eller porfyrisk gnejs (Sjönevad, LBR111061). **C.** Relikt medelkornig charnockitisk gnejs av granitisk sammansättning (Älmebjär, 6317162/355508, IML100192). **D.** Stromatolitisk migmatitisk gnejs typisk för den inre delen av eklogitskollan (Stenåsen, 6345571/364725, FHM101020). Foto: F. Hellström. **E.** Granitisk till granodioritisk ådergnejs som är den dominerande bergarten i området (Kila, 6329630/372074, LBR100041). Foto: L. Brander. **F.** Ljust röd granitisk ådergnejs (Torstorp, 6313265/352697, LBR111031). Foto: L. Brander.



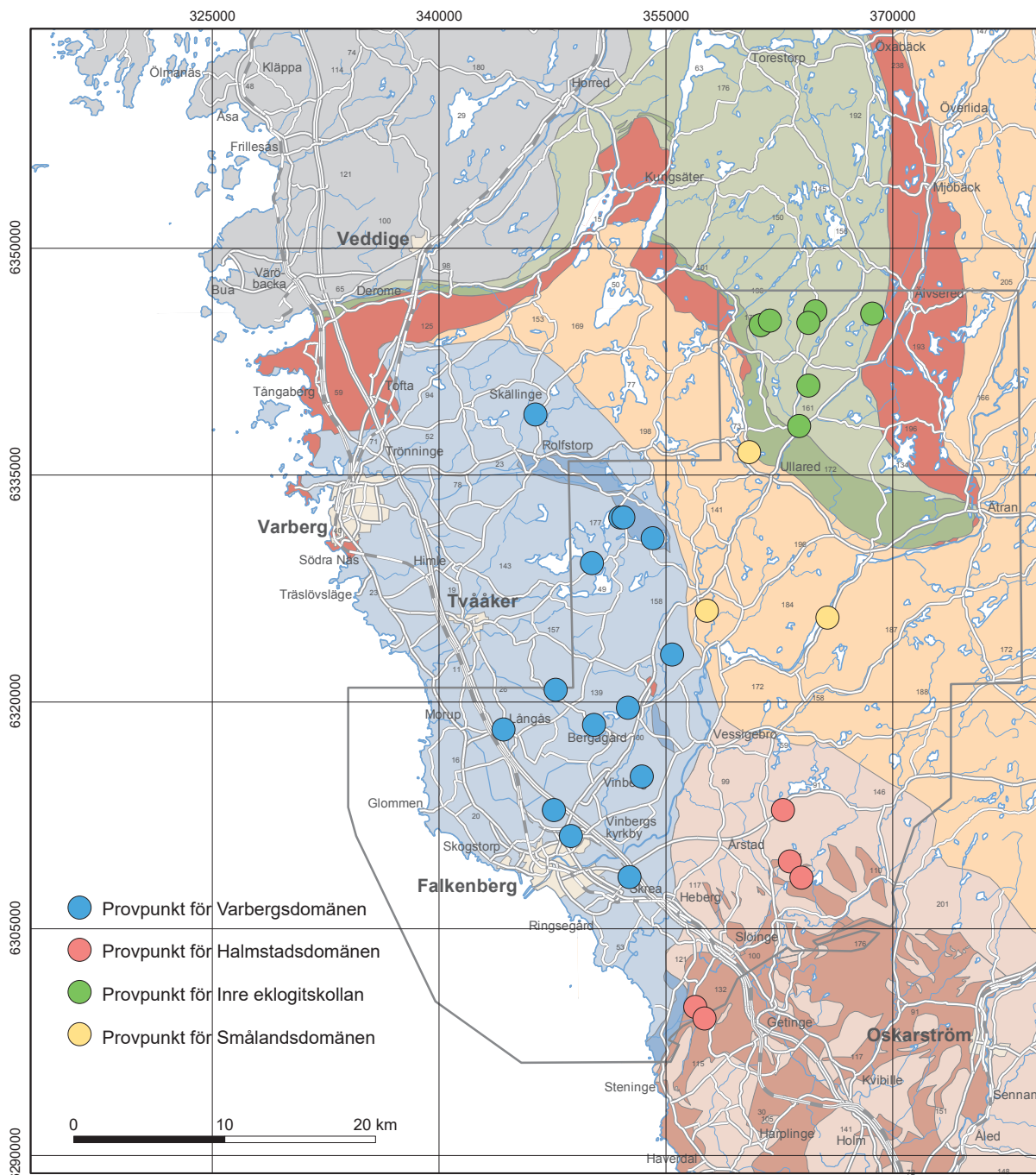
Figur 10. A. Grå ådergnejs av kvartsmonzonitisk till kvartsmonzodioritisk sammansättning (Syrhult, 6333466/369476, CM14-501303). Foto: C. Möller. **B.** Granitisk ögongnejs av Hinnerydstyp (Kogstorp, 6332652/358600, IML110184). Foto: I. Lundqvist.

protolitåldrar, det vill säga den magmatiska ursprungsbergarten skulle vara yngre än 1,74–1,66 miljarder år. Åldersbestämningar av protoliter till dessa bergarter har dock visat att de är likåldriga med omgivande gnejser och att skillnader i metamorf textur mestadels speglar ursprungliga texturella skillnader hos protolitbergarten och efterföljande deformations-, omkristalliserings- och migmatiseringsgrad (till exempel så kallad Vägaholmsgranit, Hinnerydsgranit, Skipåsgranit och Fröllingegranit; Wik m.fl. 2006, 2009, Lundqvist & Carlsäter Ekdahl 2014, Petersson m.fl. 2015).

Granitiska till intermediära metamorfoserade intrusivbergarter och gnejser med 1,42–1,38 Ga miljarder år gamla protolitåldrar

Grovkorniga till grovporfyrisk granitiska till monzonitiska metaintrusivbergarter och ögongnejser med 1,42 och 1,38 miljarder år gamla protolitåldrar förekommer i två principiella stråk i kartområdets norra delar (fig. 8). Ett större stråk som uppträder mellan Älvsered och Ätran tillhör den så kallade Tjärnesjögraniten (Andersson m.fl. 1999, Rimsa m.fl. 2007b, Möller m.fl. 2015a). I kartområdets nordvästra delar, i trakten omkring Källsjö, uppträder ett liknande bergartsstråk som i väster utanför kartbladet ansluter till en större kropp med delvis välbevarade grovkorniga till grovporfyrisk granitiska till monzonitiska metaintrusiv och ögongnejser, den så kallade Torpagraniten och Varbergsscharnockiten (Hubbard 1975, Åhäll m.fl. 1997, Christoffel m.fl. 1999, Andersson m.fl. 2002, Ekdahl 2001, Lundqvist 2008, Harlov m.fl. 2013, 2014). De två stråken med ögongnejs omsluter den eklogitförande enheten och mindre boudinerade kroppar av samma ögongnejs uppträder i kraftigt deformerade stråk längs den södra kontakten till den eklogitförande enheten (fig. 8 och 12A, Möller m.fl. 2015a). Protoliterna till metaintrusiven domineras av ortoklasporfyrisk, kvartsmonzonitiska intrusiv med underordnade inslag av granitiska och monzonitiska led (fig. 12B). De monzonitiska leden är oftast finkornigare och mer jämnkorniga än de granitiska och kvartsmonzonitiska leden (jämför fig. 12B och C). Det förekommer även finkorniga aplitiska synmagmatiska gångar (fig. 12D). Kontakten mellan texturellt och sammansättningsmässigt olika varianter kan vara både skarp och diffus (fig. 12D). Decimeterstora mafiska enklaver förekommer ställvis. Grovporfyrisk varianter har ortoklasmegakrister i storleksordningen 3–8 cm (fig. 12B och D). De grovporfyrisk granitiska till monzonitiska metaintrusiven är mycket heterogent deformerade, med övergångar över endast ett par meter mellan tektoniska linser med nästan odeformerad granit till kraftigt migmatiserad och deformerad och ställvis mylonitisk gnejs (fig. 13A, Möller m.fl. 1997, Andersson m.fl. 1999, Ekdahl 2001, Rimsa m.fl. 2007). Den grovporfyrisk, kvarts- och glimmerfattiga kvartsmonzonitiska protoliten har varit motståndskraftig mot plastisk deformation (fig. 12A, Andersson m.fl. 1999). Med ökande grad av deformation har ortoklasmegakristerna omkristalliserat till finkorniga, ljus röda mikroklinomimerade aggregat (fig. 12F och 13B, Andersson 1996).

Välbevarade partier av kvartsmonzonit har perititisk ortoklas, antipertitisk plagioklas och finkornig kvarts. Myrmekit förekommer ofta längst korngränser till grova ortoklaskrystaller. Ställvis har ortoklasmegakristerna finkorniga mantlar av plagioklas, kvarts och myrmekit (fig. 14A). Dominerande Fe-Mg-mineral är olivgrönt hornblände, rödbrun biotit och oxid (fig. 14B). Granat är vanligt förekommande i både odeformerade, starkt deformerade och migmatitiserade varianter (fig. 14B–C). Ljust grön klinopyroxen med en sammansättning mot-



Östra segmentet

Granitiska djupbergarter som omvandlats under mycket höga tryck och temperaturer, ställvis flerfaldig omvandling.

- Tjarnesjö-Torpa-Varbergsintrusiv/gnejs: ofta grovkorniga, och ställvis kraftigt omvandlade granitiska bergarter
- Varbergsdomänen: glimmerfattiga sparsamt ådrade gnejser med sammanväxt fältspat
- Obbhult-Steningeenheten: amfibolitiska gnejser och kvartsfältspatgnejs
- Halmstadsdomänen: flerfaldigt omvandlade gnejser, ökad glimmerhalt, minskad sammanväxt av fältspat.
- Ådergnejsdominerade områden med förekomster av estetiskt och tekniskt värdefull natursten - Hallandignejs
- Smålandsdomänen: ökande glimmerhalt. Mindre grad av sammanväxt fältspat, i öster icke sammanväxt fältspat. Ökande grad av omkristallisation vid låga temperaturer.

Eklogitskollan

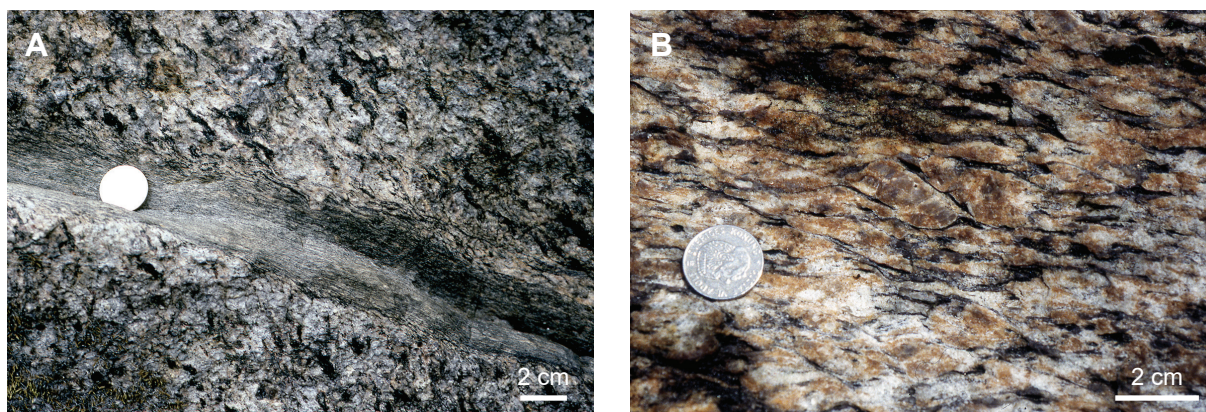
- Basala skjuvzonen, dominerad av kraftigt deformerade, delvis mylonitiska gnejser med inneslutningar av relik eklogit
- Inre delen, dominerad av kraftigt ådrade, glimmerrikare, sockerkorniga gnejser, utan sammanväxt fältspat med inneslutningar av kraftigt amfibolitiserade mafiska bergarter.

Figur 11. Petrografisk domänkarta baserad på de olika berggrundsdomänernas övergripande mineralogiska och textuella egenskaper med provpunkter för bergkvalitetsanalyser.



Figur 12. Fältuppträdande för 1,42–1,38 miljarder år gamla metaintrusiv/gnejser av Tjärnesjö-Torpa-typ. **A.** Tektonisk lins med välbevarad och grovkornig kvartsmonzonit omsluten av fint medelkornig ådergnejs med förmodad 1,74–1,66 miljarder år gammal ursprungsålder (Buskabygd, 6332030/367560, JAN100053). Kontakten till ådrad sidognejs markerad med streckad linje. **B.** Grovt ortoklasporfyrisk Tjärnesjögranit i välbevarad tektonisk lins (Sävekulla, 6345348/372990, JAN100007). **C.** Minglande faser av medelkornig och finkornig kvartsmonzonit (Pukabjär, sydväst om Tjärnesjön). **D.** Finkornig co-magmatisk aplitgång i grovporfyrisk Tjärnesjögranit. Notera ortoklasmegakristen som tvärs över kontakten (pil) och den delvis diffusa kontakten i högra övre delen av bilden (Sävekulla, 6345348/372990, JAN100007). **E.** Kvartsmonzonit med Fe-Mg-mineralaggregat dominerad av grön klinopyroxen (grön pil) och röd granat (röd pil, höjden norr om Tjärnemosse, 6336681/371842, lokal C4 i Andersson 1996). **F.** Migmatitiserad Tjärnesjögranit (Älvsered, 6342988/370934, JAN100003). Figur C och E, foto: L. Johansson.

svarande lika delar hedenbergit och diopsid förekommer både som större kristaller med avblandningslameller och med karaktäristiskt mikroskopiska korn av oxid, eller som klara nybildade korn (fig. 14C). Den senare typen uppträder i textuell jämnvikt med granat och plagioklas (Andersson m.fl. 1999). Ortopyroxen har inte observerats. Amfibolitiserade varianter är ofta titanitrika och koronor av titanit förekommer ofta omkring opaka mineral i dessa bergarter (fig. 14D).



Figur 13. A. Diskret deformationszon i relativt välbevarad kvartsmonzonit (samma lokal som i figur 12E). Foto L. Johansson.
B. Vertikalsnitt mot norr i tektonisk lins med ögongnejs vid Gnipe i Källsjöstråket (se Möller m.fl. 1997). S-C-textur med dextral rörelseindikation, östlig vergens. Foto: C. Möller.

I Tjärnesjöstråket förekommer ställvis diskreta zoner med sena hydrotermala omvandlingar där Fe-Mg-mineral brutits ner (hornblände, granat, biotit och opakmineral) och bergarten domineras i dessa zoner av kvarts, kraftigt omvandlad fältspat och muskovit (fig. 14E–F).

Bergartsled med oklar ålderställning

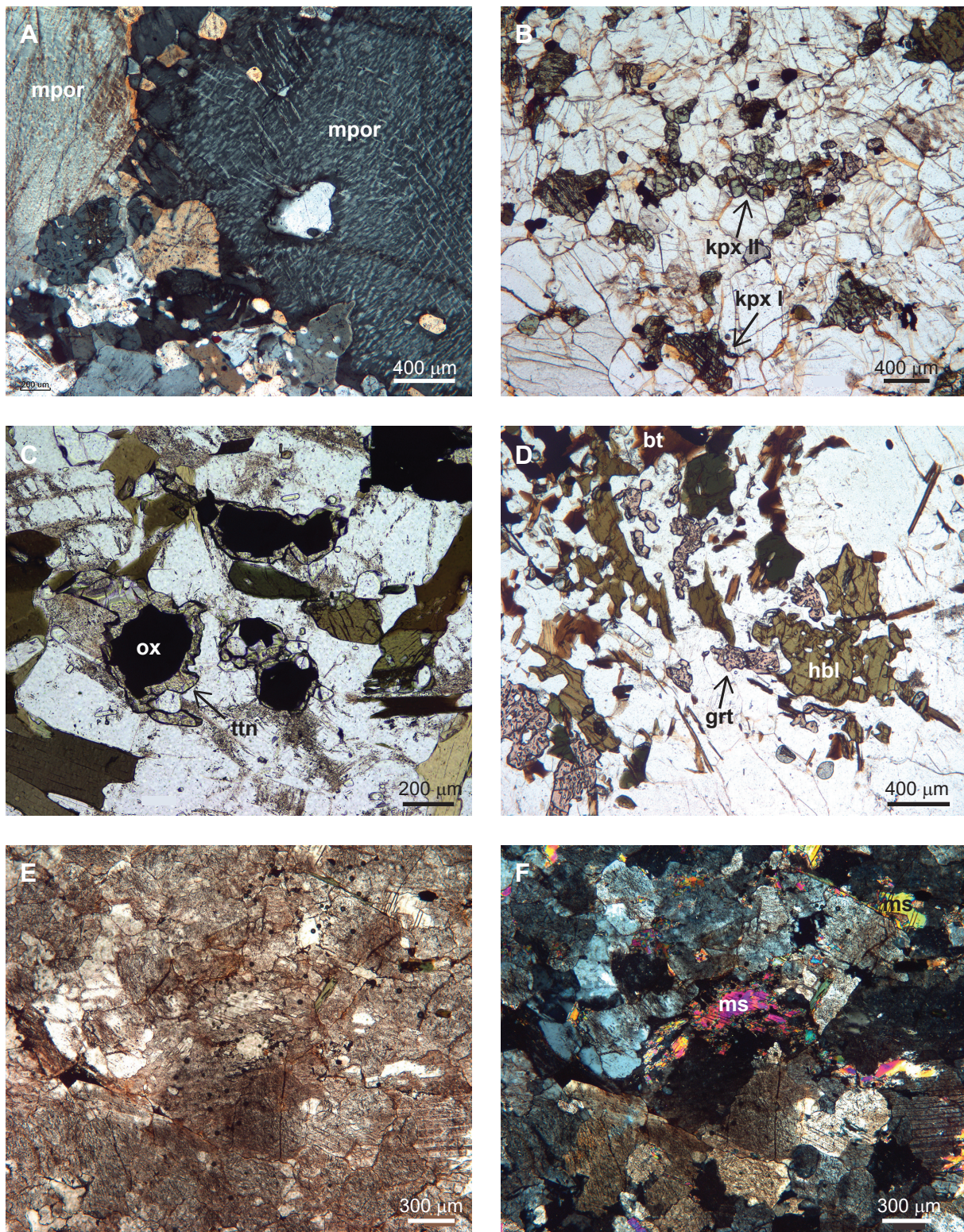
Berggrunden i kartområdet har genomgått omfattande och ställvis upprepad omvandling under hög temperatur. Ursprungliga texturer och kontaktförhållanden mellan olika bergarter har överpräglats, och för vissa bergartsled är ursprung och bildningsåldrar oklara. I kartområdet uppträder två huvudtyper av bergarter av oklart ursprung och av okänd bildningsålder: (a) fullständigt metamorft omkristalliserade mafiska bergarter vars ursprungliga fältuppträdande och kontaktrelationer till omgivande berggrund helt överpräglats av senare deformation och metamorfos och (b) leukokratiska granitiska, aplitiska och pegmatitiska bergarter som genomgått upprepad omvandling och omfattande partiell uppsmältning (granitiska bergarter).

Både de leukokratiska och de mafiska bergartsleden bedöms vara av magmatiskt ursprung, se beskrivningarna av de olika bergartsleden i de följande avsnitten *Amfiboliter och mafiska granuliter* och *Leukogranit och leukogranitisk gnejs* nedan. Deras bildningsåldrar begränsas till tidsintervallet 1,74–0,91 miljarder år, baserat på bildningsåldern för omgivande 1,74–1,66 miljarder år gamla ortognejs och den yngsta kända fasen av metamorfos och deformation i området som beräknas vara $\geq 0,91$ miljarder år gammal.

Amfiboliter och mafiska granuliter

Mafiska bergarter är vanligt förekommande inom området men de uppträder oftast som band, sliror, linser eller boudiner som är ytmässigt alltför begränsade för att illustreras i skala 1:50 000. Detta gör att inslagen av mafiska komponenter i berggrunden inte alltid framträder i kartbilden. Ett sådant exempel är de kraftigt omvandlade inre delarna av eklogitskollan i nordöst. Här domineras berggrunden av uppsmälta, kraftigt ådrade, stromatiska, migmatitiska gnejser med frekventa, men volymmässigt underordnade ($< 5\%$) inlagringar av mafiska band och boudiner. Inslag av mafiska bergartsled i berggrunden är alltså ställvis vanliga men volymmässigt underordnade och de framträder därför inte alltid i kartbilden.

Ett antal större, mer eller mindre sammanhängande, stråk med mafiska bergarter har påträffats i kartområdets centrala delar, i ett område mellan Sjönevad, Vessigebro och Okome, där de uppträder som långsmala skivor konformt inlagrade i den regionala plastiska deformationsstrukturen (fig. 8). En större sammanhängande mafisk kropp har också skiljts ut i områdets östra delar, i trakterna av Drängsered. I denna uppträder linser och skivor av granitisk gnejs, vanligen leukokratisk. Låg observationstäthet och ställvis låg blottningsgrad gör att de ytmässiga relationerna mellan granitisk gnejs och metamafit är oklar. De granitiska och leukogranitiska inslagen kan ha större utbredning än vad kartbilden visar, varpå utbredningen av den mafiska enheten är överskattad.



Figur 14. Mikroskopfotografier av tunnslipspreparat av metamorfa bergarter från Tjärnesjökomplexet. Parallellt ljus i B-E. Korsade nicoler i A och F. **A.** Finkorniga myrmekit-, plagioklas- och kvartsmantlar omkring mikropertitisk ortoklasmegakrist (mpor) i välbevarad nästan isotrop tektonisk lins vid Björshult, referenslokal för välbevarad Tjärnesjögranit, cirka 2 km norr om Tjärnesjö (Andersson m.fl. 1999, 6333466/369476, slip 92-11C tillhörande Leif Johansson, Lund). **B.** Gnejsig kvartsmonzonit med två typer av klinopyroxen (ljus grön): större kristaller med avblandningslameller och nykristalliserad klinopyroxen (neoblastar) av samma sammansättning utan avblandningslameller (samma lokal som i figur 12E). **C.** Finkornig metamonzonitisk gnejs rekristalliserad i amfibolitfacies med titanitkoronor (ttn) omkring oxid (mindre blottning längs vägen, cirka 400 m norr om om Getås, prov-id Tjm2 i Holme 2001). **D.** Typisk mineralparagenes i meta-intrusiv av Tjärnesjötyp med Fe-Mg mineralfasen dominerad av brungrönt hornblände (hbl), rosa granat (grt) rik på inneslutningar (poikiloblastisk) och djupt rödbrun biotit (bt, lokal C2 i Andersson 1996). **E.** Fältspatomvandling och tillväxt av muskovit (ms) i strukturellt unga diskreta dm-breda deformationszoner i Tjärnesjögranit (söder om Apeltjärn, lokal TJ25-D i Andersson m.fl. 1999). **F.** Samma som E med korsade nicoler.

De mafiska bergarterna i kartområdet är i regel migmatiserade och uppträder vanligen som ådrade, gnejsiga granatamfiboliter (fig. 15A). De migmatitiska ådrorna uppträder som fläckar (eng. *patch och dilation migmatite*, enligt klassifikation efter Sawyer 2008) eller som nätverk. De är vita, ofta sockerkorniga, och av tonalitisk sammansättning, dominerade av plagioklas (ställvis antipertitisk) och kvarts, ställvis uppträder även skapolit (fig. 15B). Melanosom och mesosom består generellt av hornblände, plagioklas, granat, klinopyroxen, opakmineral, biotit, apatit och kvarts ± ortopyroxen, men halten av granat och pyroxen varierar mycket mellan olika mafiska metatexiter (fig. 15C–D). Ofta är matrix granatrikt och klinopyroxenförande (fig. 15C–D). Biotithalten är generellt låg (< 5 %). Andelen opak fas varierar. I de mafiska metatexiterna förekommer opak ställvis sammanväxt med hornblände och matrix (fig. 15C) eller i något fall med klinopyroxen (fig. 15D).

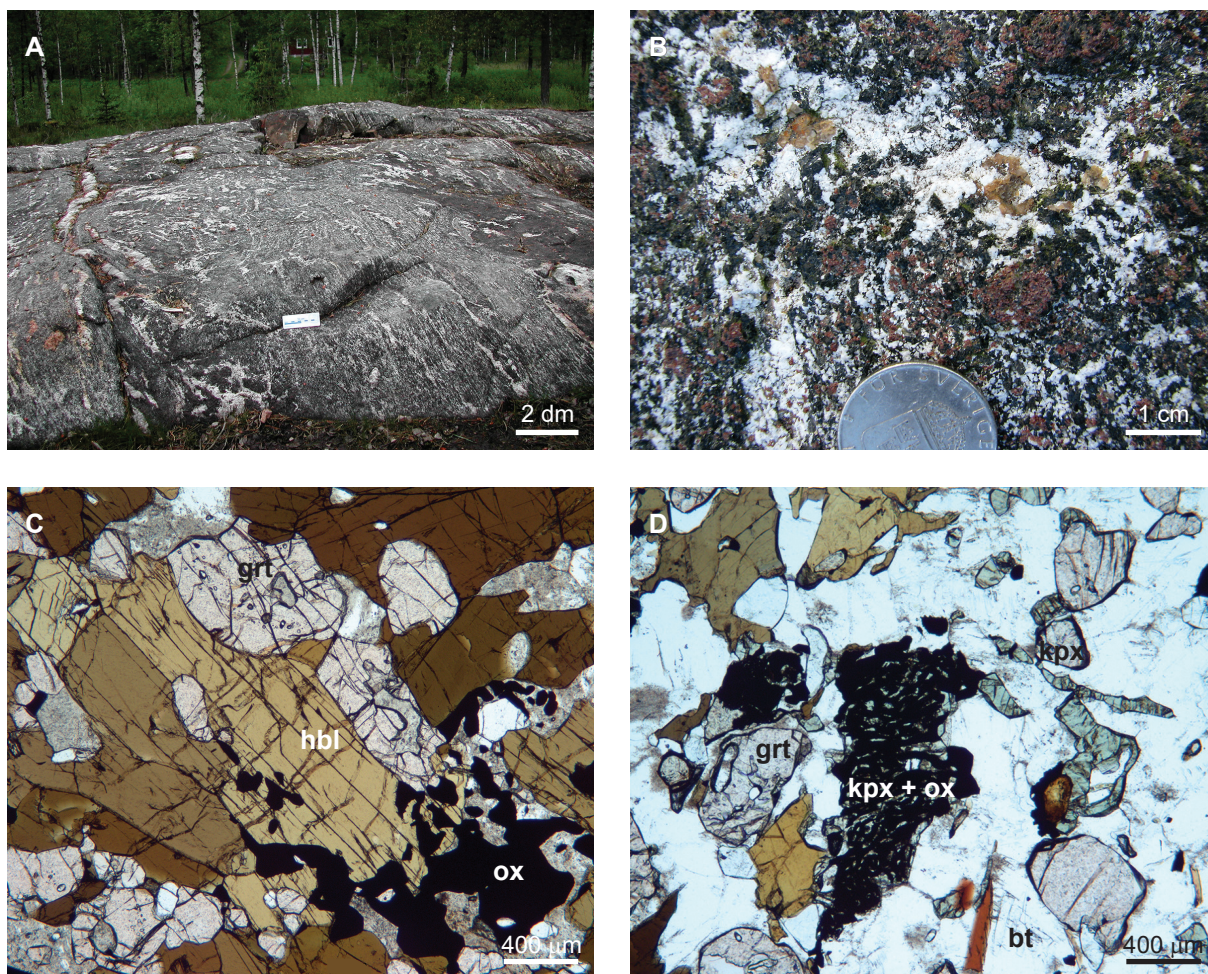
Ställvis uppträder mafiska granuliter med granat, klinopyroxen, plagioklas, hornblände, biotit, ortopyroxen, apatit och kvarts (fig. 16A). Halten metamorf pyroxen kan vara hög. I ådrade varianter uppträder ställvis större klinopyroxenkristaller med innesutningar av ljusa mineral (troligtvis plagioklas och kvarts, fig. 16B–C). Ställvis uppträder flera centimeterstora kristaller av granat, pyroxen eller hornblände i ådrorna som så kallade peritektiska mineral bildade i samband med uppsmältningen (fig. 16B–E). Migmatitiska granatamfiboliter med ortopyroxenförande tonalitiska ådror förekommer i flera stråk, från Steningekusten i sydväst till de mafiska stråken mellan Ullared och Drängsered i öster (Hansen m.fl. 2015). I de mafiska migmatiterna har ådrorna ställvis karaktäristiska rostiga hålrum ofta mantlade av granat och klinopyroxen; dessa hålrum är vittringsfenomen och har vanligen en kärna av ortopyroxen (fig. 16D).

Stråkvis uppträder granatamfiboliter med 5–20 cm stora granater, till exempel längs Björkasjöns norra strand och vid Hästasaberget i Sjönevad. De stora granaterna kan ha en nära euhedral form (fig. 16E). Omfattande sammansättningsförändringar i matrix (reaktionskoronor i melanosomet eller mesosomet) saknas som regel, men vanligen omges de stora granaterna av en varierande mängd tonalitisk smälta. I granatamfibolitstråken i kartbladets centrala delar finns ett antal gruvor och skärpningar och granatutvinning från kartområdet är belagd från stenåldern fram till 1950-talet (se avsnittet *Industriella mineral* nedan).

Pyroxen och granatfria amfiboliter bestående av hornblände, plagioklas, biotit, titanit, opak och kvarts förekommer som regel bara i de inre delarna av eklogitförande enheten (fig. 17A–B).

Leukogranit och leukogranitisk gnejs

Ljust röda till ljust grå leukokratiska graniter och granitiska gnejser förekommer i de centrala och östra delarna av kartområdet, och är vanligt förekommande i omgivande områden i norr, öster och söder (Wik m.fl. 2006, 2009, Lundqvist & Carlsäter Ekdahl 2014). Leukokratiska granitiska bergartsled har inte urskiljts i någon större omfattning i trakterna omkring Falkenberg eller andra västliga delar av kartområdet. Bergarten klassas som leukokratisk då den sammanlagda halten av Fe-Mg-mineral understiger 5 volymprocent. Kemiska analyser av leukokratiska graniter och gnejser nordost om kartområdet visar på höga SiO₂-halter mellan 75 och 78 procent (opublicerade data SGU och opublicerade data Jenny Andersson 1999). De leukokratiska granitiska bergarterna består till största delen av kvarts, kalifältspat och plagioklas samt accessoriska halter av biotit, opakmineral eller granat (fig. 16A och B). Mikrotextur, fältspatmineralogi och typen av accessoriskt Fe-Mg-mineral varierar mellan de olika petrografiska domänerna (se avsnittet *Metamorfos* nedan). De leukokratiska granitiska bergarterna varierar även i kornstorlek, från finkorniga, aplitiska till grovkorniga, pegmatitiska varianter, ställvis inom samma blottning. Avsaknaden av mörka mineral gör att bergarten ofta saknar tydliga deformations- och åderstrukturer (fig. 18A) och leukosombildning kan vara svår att urskilja i fält. De leukokratiska graniterna och gnejserna kan även uppträda med en penetrativt gnejsig struktur. Ett sådant exempel finns exponerat strax sydöst om Mårdaklev, i kartområdets nordöstra gränsområde där det ligger en typlokal för Östra segmentets leukokratiska graniter och gnejser (gnejs av Mårdaklevstyp, se beskrivning av Söderlund m.fl. 2002). Zirkonpopulationen i ett penetrativt gnejsigt prov från denna lokal består av tre ålderskomponenter, daterade till att vara omkring 1,7, 1,4 och 1,0 miljarder år (Söderlund m.fl. 2002, SGU opublicerade data). Detta visar att zirkonerna i den leukokratiska gnejsen kristalliserat eller omkristalliserat i närvaro av en smälta vid dessa tre tidpunkter. Omfattande höggradig metamorfos och plastisk deformation har överpräglat bergartens ursprungliga fältuppträdande och ursprungliga kontaktrelationer och åldersdata är därför svårtolkade. Granitens bildningsålder är därför begränsad till ett brett tidsintervall för mellan 1,74 och 0,91 miljarder år sedan. Liknande komplexa zirkonpopulationer med tre åldersfaser har beskrivits från leukokratiska gnejser i kartområdets sydvästra delar (Steninge, Piñán Llamas m.fl. 2015), och i Halmstadsområdet strax söder därom (Söndrum, Rimsa m.fl. 2007).

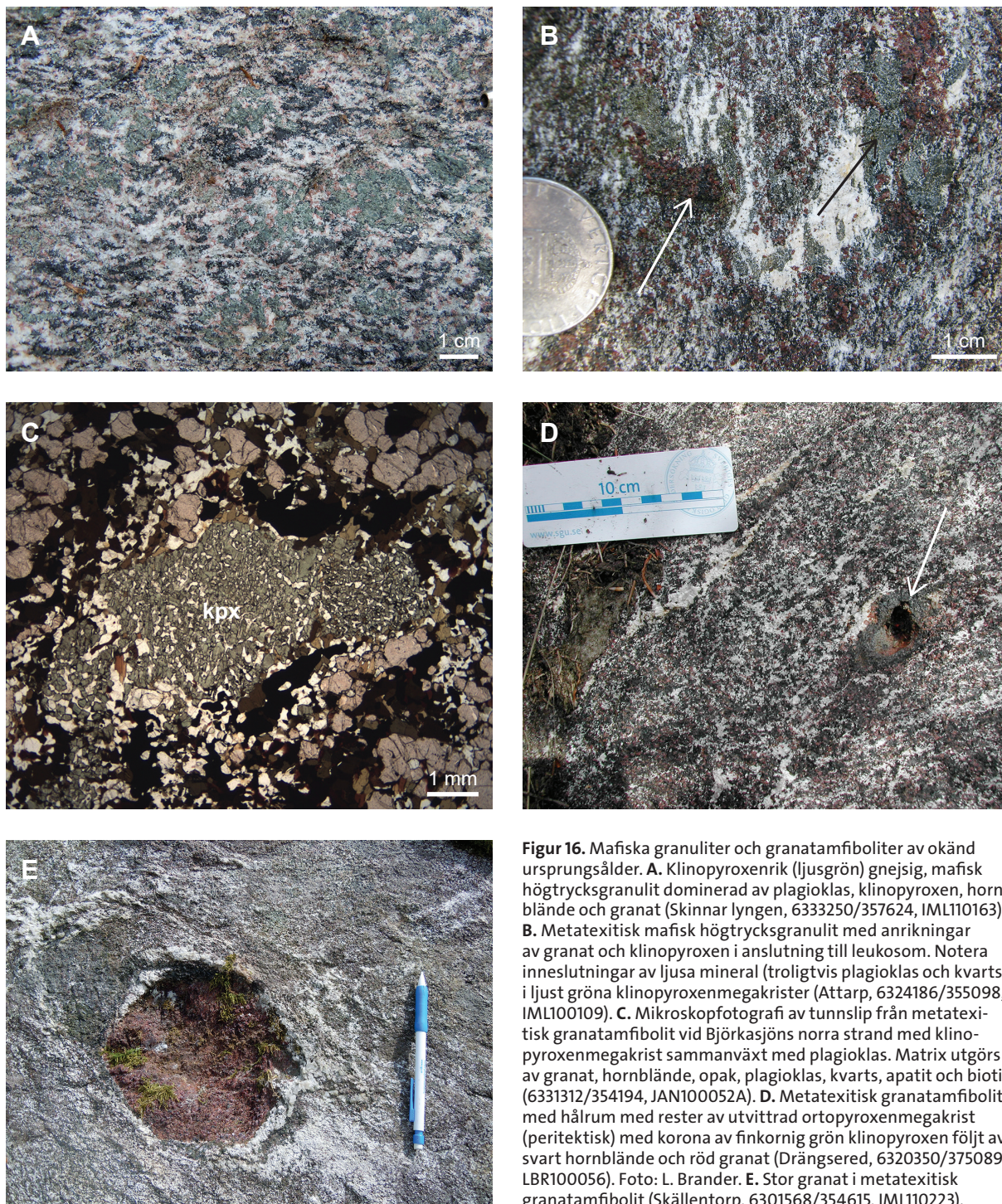


Figur 15. Ådrade amfiboliter av okänd ursprungsalder. A och B fältuppträdande, C–F mikroskopfotografier av tunnslipspreparat från matrix i mafiska metatexiter. A. Metatexitisk granatamfibolit (Bäckhult, 6324082/370423, LBR100067). Foto: L. Brander. B. Leukosom- och granatrik nätådrad mafisk metatexit med svart hornblände, vit plagioklas, gulbrun skapolit och röd granat (Rya, 6325189/368188, LBR100116). C. Matrix i metatexitisk granatamfibolit dominerat av hornblände, granat, opik (ilmenit) och plagioklas (Heberg, 6305657/355570, BDK110007). D. Plagioklasrikt matrix med granat, hornblände (brun), opakgytter spatiellt associerat med klinopyroxen och underordnat inslag av biotit (rödbrun, Glostorp, 6318467/358246, IML110018A).

De leukokratiska graniterna–gnejserna uppträder ofta inom eller i anslutning till röda och grå-röda granitiska gnejser där de även många gånger är rumsligt associerade med mafiska linser. Granitiska bergarter har lägre smältpunkt än de mörkare bergartsleden (vid liknande vattentryck) och uppsmältning kan därför ske tidigare och i större omfattning i dessa sammansättningar. Den rumsliga kopplingen till mafiska bergarter kan indikera uppsmältning av det granitiska sidoberget intill heta mafiska intrusioner. Uppsmältningen kan ha varit särskilt främjad av höga värmeflöden och tillgång till metamorfa fluider vid regionalmetamorfosen i samband med de halländska och svekonorvegiska orogenesiserna.

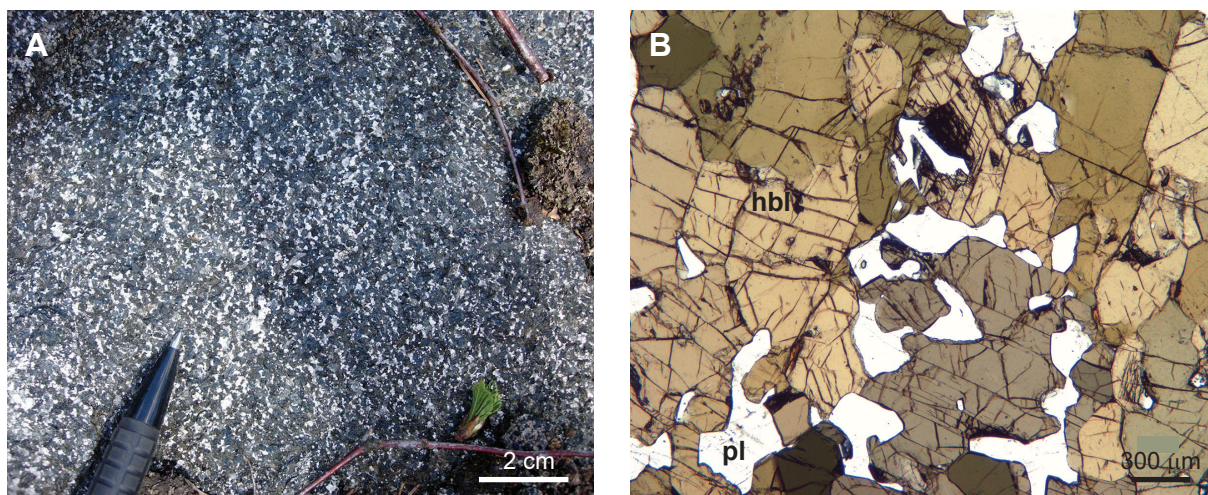
Eklogit och mylonitiska gnejser i eklogitskollans basala skjuvzon

I ett stråk från Källsjö i nordväst till Ätran i sydost uppträder en eklogitförande skolla som litologiskt kan delas in i två delar (fig. 11): (A) kraftigt plastiskt deformerade gnejser (fig. 19, mylonitiska gnejser) med boudinier av delvis retrograderad eklogit (fig. 20, kyaniteklogit och kvartseklogit). Delar av enheten identifierades av Svedmark (1893) under översiktlig kartläggning av berggrunden i området och benämndes då som ”granatgnejs” vilket syftar på den ställvis rikliga förekomsten av granat. Enheten har i senare litteratur refererats till som Ullareds-zonen (*Ullared Deformation Zone*, Möller m.fl. 1997, Möller 1998, 1999) och som den basala skjuvzonen till eklogitskollan (*Basal Shear Zone*, Möller m.fl. 2015a, Tual m.fl. 2015, 2017 och 2018). Omfattande detaljerade studier och detaljerad

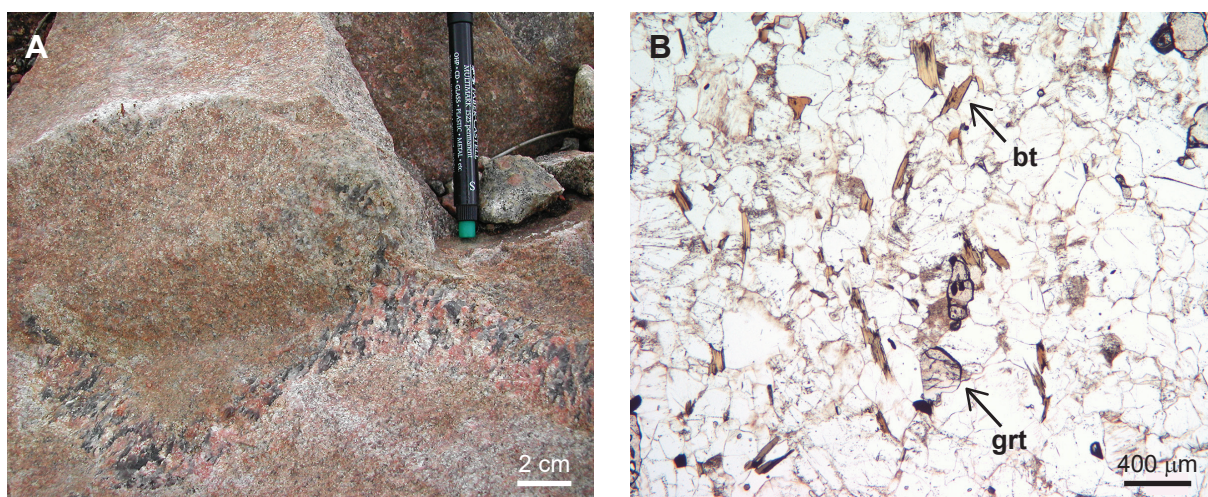


Figur 16. Mafiska granuliter och granatamfiboliter av okänd ursprungsålder. **A.** Klinopyroxenrik (ljusgrön) gnejsig, mafisk högtrycksgranulit dominerad av plagioklas, klinopyroxen, hornblände och granat (Skinna lya, 6333250/357624, IML110163). **B.** Metatexitisk mafisk högtrycksgranulit med anrikningar av granat och klinopyroxen i anslutning till leukosom. Notera inneslutningar av ljusa mineral (troligtvis plagioklas och kvarts) i ljusa klinopyroxenmegakrister (Attarp, 6324186/355098, IML100109). **C.** Mikroskopfotografi av tunnslip från metatexitisk granatamfibolit vid Björkasjöns norra strand med klinopyroxenmegakrist sammanväxt med plagioklas. Matrix utgörs av granat, hornblände, opak, plagioklas, kvarts, apatit och biotit (6331312/354194, JAN100052A). **D.** Metatexitisk granatamfibolit med hålrum med rester av utvittrad ortopyroxenmegakrist (peritektisk) med korona av finkornig grön klinopyroxen följt av svart hornblände och röd granat (Drängsered, 6320350/375089, LBR100056). Foto: L. Brander. **E.** Stor granat i metatexitisk granatamfibolit (Skällentorp, 6301568/354615, IML110223).

kartläggning av enheten utförd av C. Möller och studenter vid Lund universitet (fig. 1, se avsnittet *Metodik* ovan) har gett upphov till en modell där deformationszonen utgör en basal skjuvzon till en skiva av kraftigt omvandlad och deformerad berggrund som i samband med den svekonorvegiska orogenesen initialt pressades ned till stora djup (> 60 km). Därefter sköts enheten in på den tektoniska nivå (cirka 40 km) som områdets omgivande berggrund befann sig på, och genomgick tillsammans med omgivande berggrund deformation och metamorfos under högtrycksgranulitfacies- till amfibolitfaciesförhållanden.



Figur 17. Penetrativt amfibolitiserad pyroxen- och granatfri metamafit dominerad av hornblände (svart) och plagioklas (vit) i eklogitskollans inre del. **A.** Fältuppträdande (Funtaliden, Fagered, 6343035/364967, FHM101076). Foto: F. Hellström. **B.** Mikroskopfotografi av tunnslip dominerat av grönt hornblände och färglös plagioklas (Häljared, 6334124/372011, FHM101155A).



Figur 18. Exempel på leukokratisk granit-granitisk gnejs. **A.** Veckad och folierad pegmatitgång som indikerar kraftig deformation som är svår att spåra i den leukokratiska sidognejsen (Lia, 6319492/364675, LBR111055, foto: L. Brander). **B.** Mikroskopfotografi av tunnslip från leukokratisk metagranit med färglös kvarts och fältspat, ljus röd granat och ljus brun, ställvis kloritiserad biotit (ca 2 km sydöst om Åkulla fritidsgård, 6332916/354625, IML10140B).

Mylonitiska gnejser

I eklogitskollans basala skjuvzon uppträder olika typer av kraftigt deformerade gnejser av granitisk till dioritisk sammansättning (fig. 19). Deformationsgraden varierar men kännetecknas generellt av mycket kraftig deformation vid hög temperatur (fig. 19A–D). Merparten av sidoberget till de eklogitiska linserna klassas som mylonitiska gnejser, det vill säga en motsvarighet till bergarten mylonit men bildad under högre temperatur, i det här fallet högtrycksgranulitfacies till övre amfibolitfacies. De mylonitiska gnejserna är genomgående kraftigt stängliga och visar kraftig östvästlig sträckning (fig. 19A och B). Förekomst av leukosom varierar. I Gällaredsområdet uppträder till exempel omfattande stråk av oftast kraftigt deformerad oådrad gnejs (fig. 17E och F, se beskrivning av gnejs vid Gällared South i Söderlund m.fl. 2002). I andra delar uppträder röda leukokratiska ådror och gångar i de grå gnejserna; melanosom saknas oftast och ådringen är ställvis relativt diskret. De leukokratiska ådrorna är parallella med den gnejsiga foliationen, och bedömningen är att en del av dessa ådror kan vara injekterade leukogranitiska gångar. I intermediära till mafiska mylonitiska gnejser förekommer även synkinematiskt leukosom bildat vid

partiell uppsmältning. De kan förekomma i tryckskuggor mellan mafiska boudiner, och ställvis klippa den gnejsiga litologiska bandningen, men de är kraftigt stängliga och sträckta parallellt med lineationen i sidoberget (fig. 19C och D, se Tual m.fl. 2015). Åldersbestämningar och geokemisk analys indikerar att dessa kraftigt deformerade gnejser är ekvivalenter till de ursprungligen 1,74–1,66 miljarder år gamla granitiska till kvartsmonzodioritiska bergarter som identifierats i omgivande berggrund (Söderlund m.fl. 2002, opublicerade data tillhörande SGU och C. Möller, Lund). Mineralogiska och textuella särdrag hos de mylonitiska gnejserna i den basala skjuvzonen beskrivs översiktligt nedan i avsnittet *Metamorfa domäner* och i detalj av Möller m.fl. (2015a) och Tual m.fl. (2015, 2017 och 2018).

Eklogitlinser

I eklogitskollans mylonitiska och migmatitiska gnejser uppträder linser av delvis retrograderad mafisk eklogit (fig. 20A–D). En del av de mafiska kropparna har haft en ursprunglig primär lagring. Den största sammanhängande eklogitförande linsen är drygt två kilometer lång och en kilometer bred, och finns vid Lilla Ammås norr om Ullareds samhälle (fig. 8). Mindre eklogitförande linser, från några meter till någon kilometer i storlek förekommer i hela eklogitskollans basala skjuvzon, från Åtran i sydöst och västerut (Möller m.fl. 2015a). Eklogitlinserna är i varierande grad överpräglade av deformation och metamorfos i amfibolitfacies, och lokalt granulitfacies, samt är delvis omvandlade till mylonitiska bergarter (fig. 20D). De mest välbevarade varianterna av eklogit uppträder i linsernas centrala delar och utgörs av litologiskt bandade domäner av granat- och pyroxenrika bergarter (Möller 1998, 1999). Två speciella typer kan urskiljas: en kyanitförande Mg-Al-rik variant (kyaniteklogit, fig. 20B och C) och en granat- och rutilrik (Fe-Ti-rik) kvartsförande variant (Fe-Ti-eklogit, fig. 20A). De mest välbevarade eklogiterna är makroskopiskt medel- till grovkorniga, gröngrå, granatrika, och ofta nästan massformiga (fig. 20A). Grovkornig ljus mattgrön klinopyroxen med mikroskopiska inneslutningar av plagioklas dominerar. Lokalt kan även 2–4 cm stor granat förekomma, ställvis associerad med leukokratiska segregationer. Ställvis förekommer millimeterstora rosa korundkristaller inuti större bladformade kyanitkristaller. En tredje litologisk komponent i de eklogitiserade linserna är decimeterbreda, felsiska lager som domineras av kvarts, kyanit och granat, lokalt enbart av kyanit och granat, och som också är rika på rutil (fig. 20C). Detaljerad beskrivning och illustrationer av eklogiternas mineralogi och reaktionstexturer ges av Möller (1998, 1999). I eklogiterna uppträder plagioklas endast som en sekundär fas, bildad genom metamorfa reaktioner under sjunkande tryck och ökande temperatur under granulit- och amfibolitfaciesförhållanden. Granat är genomgående välbevarad och nära euhedral och har en kemisk prograd zonering (Möller 1998, 1999, Tual m.fl. 2017, 2018). Andra mineral som huvudsakligen kan identifieras i mikroskop är ortopyroxen som förekommer i symplektitiska sammanväxningar med plagioklas i reaktionskoronor omkring klinopyroxen, sekundära plagioklasinneslutningar i klinopyroxen (reaktionsprodukt efter högtryckspyroxen, omfacit), samt safirin som ställvis förekommer som sammanväxningar med korund och plagioklas i reaktionskanter omkring kyanit. För mer information om eklogiternas petrografi, metamorfa och tektoniska utveckling, deformationsmönster och relation till omgivande bergarter hänvisas till Möller (1998, 1999), Johansson m.fl. (2001), Möller m.fl. (2015) och Tual m.fl. (2015) och Tual (2016).

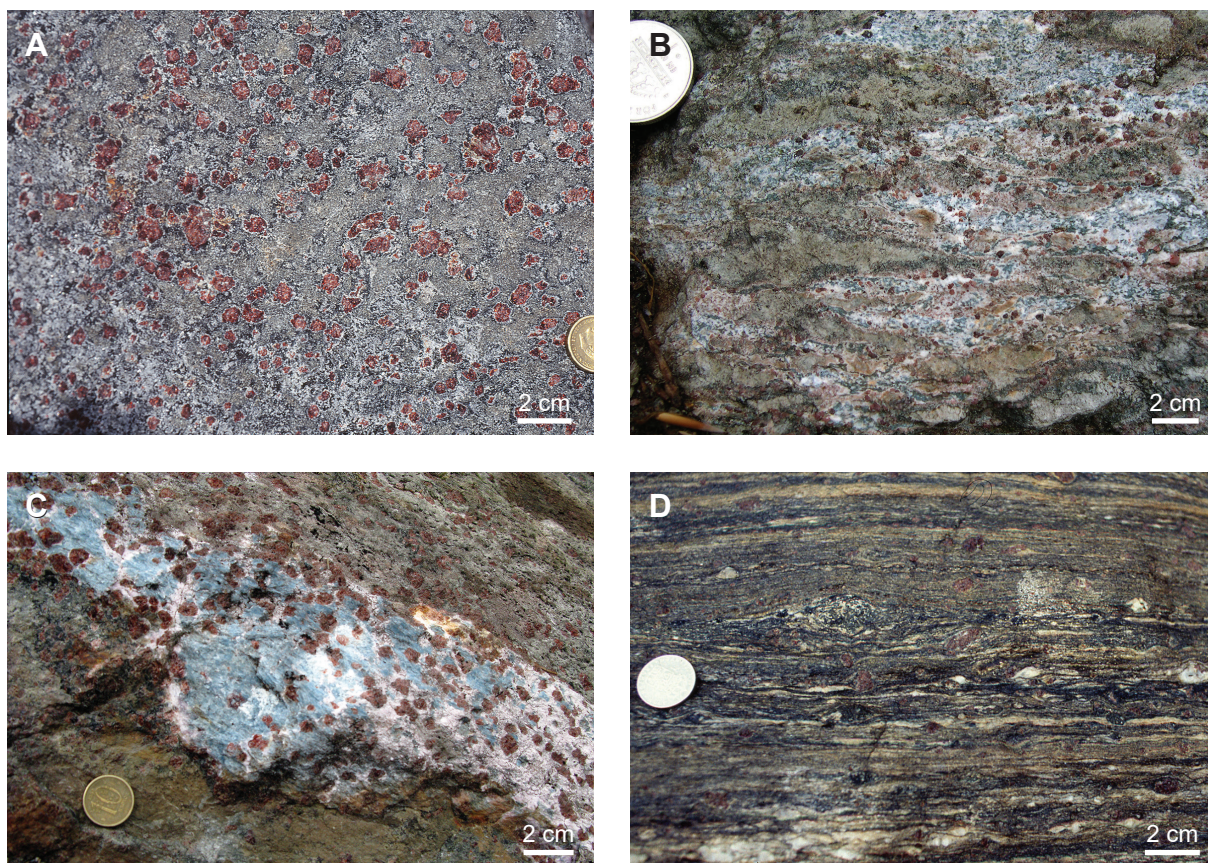
Obbhult–Steningeenhetens bergarter: Intermediär till mafisk gnejs och kvartsfältspatgnejs

Obbhult–Steningeenheten är en litologiskt heterogen sekvens av kraftigt deformerade och metamorfoserade bergarter: litologiskt bandade kvartsfältspatgnejsjer med förmodade 1,74–1,66 miljarder år gamla protolitåldrar, ställvis med stora mängder metapegmatit-metapegmatitgranit, samt kvartsfattiga (basiska) magmatiska bergarter som daterats till att vara 1,42–1,38 miljarder år gamla, de senare huvudsakligen plagioklasrika amfibolitiska gnejser (Möller m.fl. 2015b). Ställvis uppträder decimeter- till meterstora boudiner av grovkornig metanorit till metaanortosit. Metatexitiska granatamfiboliter med grov granat förekommer också tillsammans med Obbhult–Steningeenhetens bergarter. Dessa uppträder dock även i omgivande berggrund (se avsnittet *Amfiboliter och mafiska granuliter* ovan) och är inte specifikt associerade med denna enhet. Obbhult–Steningeenheten är en litologiskt specifik enhet som är sammanveckad med omgivande gnejskomplex, och som kan följas i ett stråk längs den regionala, plastiska deformationszonen från Knutsböke–Stenaljung (Obbhult) i kartområdets nordvästra del till Steningekusten i sydväst (fig. 8 och 11). Enheten förekommer även i angränsande områden utanför kartområdet i nordväst (i området mellan Rolfstorp och Skällinge, Michalchuk 2013), men omfattning och utbredning mot väster är oklar. Större sammanhängande förekomster av Obbhult–Steningeenhetens bergarter har skiljts ut i två



Figur 19. Gnejser i eklogitskollans basala skjuvzon. **A.** Veckning (F2) och kraftig plastisk sträckning i mylonitisk gnejs. Fotot visar både toppyta och veckaxelns och lineationens orientering (Lindeberg, 6334800/0365200, externt prov-id 8006). **B.** Kraftig sträckningslineation. Foto taget parallellt med sträckningslineationen (Tranabo, 6336126/0364520, externt prov-id CM10-11c). **C.** Litologiskt bandad mylonitisk gnejs med söndersliten amfibolitiserad dm-bred eklogitlins. Notera även brottstycken av cm-stora amfibolitiserade linser (A), utvalsade vita ådror (L) och roterade granatporfyroklaster (grt). Foto taget parallellt med sträckningslineationen med vy mot väster (Vräk, CM10-16). **D.** Närbild på deformationstextur från hälltyta i figur C. Notera roterad porfyroklast i utvalsad smälta. **E.** Grå granodioritisk gnejs (Gällaredsgnejs i Möller & Söderlund 1996 och Söderlund m.fl. 2002) med kraftigt deformerad pegmatit-granitgång i låg vinkel gentemot sidognejsens foliation (lokal Gällared South, granite-aplite dyke i Söderlund m.fl. 2002). **F.** Oådrad plagioklasrik gnejs av Gällaredstyp (lokal Gällared South, granite-aplite dyke i Söderlund m.fl. 2002). Samtliga fotografier tagna av C. Möller.

områden; i Obbhultsområdet i nordväst och i kustområdet vid Ugglarp–Steninge i sydväst (fig. 8 och 11). En mindre förekomst har skiljts ut i området mellan Ljungby och Alshög i kartområdets centrala delar (fig. 8). Litologier, metamorfos och strukturell utveckling i det södra kustområdet (Steningeområdet) har beskrivits i detalj av Piñán Llamas m.fl. (2015) och Hansen m.fl. (2015). Motsvarande information för den norra enheten (Obbhultsområdet) är under sammanställning av C. Möller, Lunds universitet och J. Andersson, SGU, Uppsala (se Möller m.fl. 2015b). Nyligen publicerade och pågående arbeten visar att Obbhult–Steningeenhetens berggrund delar den unga 0,98–0,91

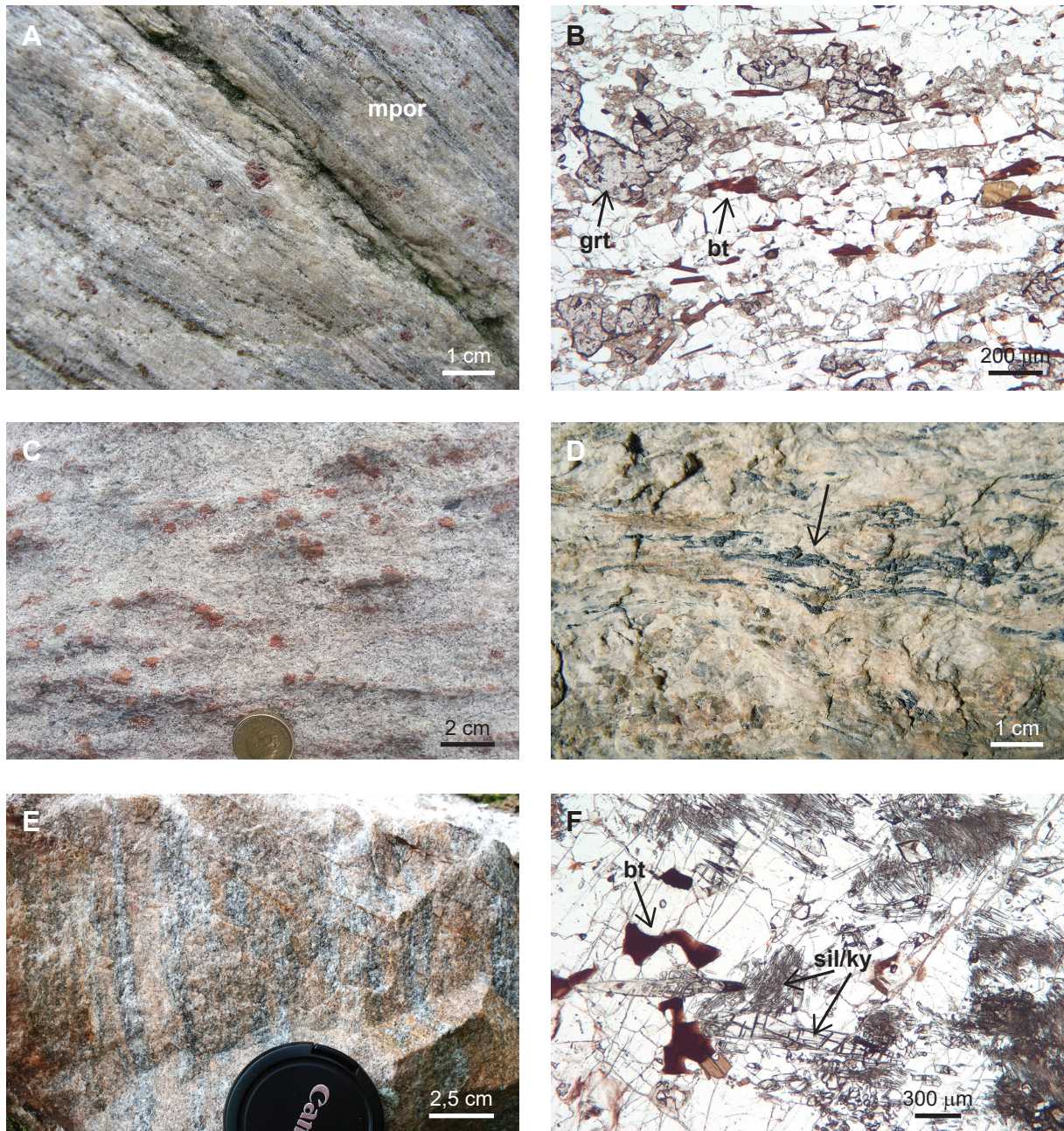


Figur 20. Retrograderad eklogit i eklogitskollans basala skjuvzon. **A.** Kvarterseklogit (Åtran). **B.** Välbevarad safrinförande kyanit-eklogit (Buskabygd). **C.** Kyanit och granatrikt segregat i grovkornig kyanitförande eklogit. Ljust blå kyanit, röd granat och vit plagioklas (Lilla Ammås). **D.** Mafisk mylonitisk gnejs (Buskabygd). Samtliga fotografier tagna av C. Möller.

miljarder år gamla svekonorvegiska metamorfa och strukturella utvecklingen med omgivande berggrund i Varberg-Falkenbergsområdet (Michalchuk 2013, Piñán Llamas m.fl. 2015, Möller m.fl. 2015b). Obbhult–Steningeenhetens litologier karaktäriseras av kemiska och mineralogiska sammansättningar där bergarterna antingen är kvartsrika eller kvartsfattiga, medan intermediära sammansättningar som dominerar i omgivande gnejskomplex är mer underordnade (se avsnittet *Bergartsgeokemi* nedan). Andra särdrag är att både kvartsrika och kvartsfattiga litologier ställvis är Al-rika och sillimanit/kyanitförande, samt att amfibolitiska gnejser och kvartsfältspatgnejs stråkvis innehåller epidot- eller epidot-granatrika linser (Krehel m.fl. 2012). Dessa linser har i berggrundskartan märkts ut som kalksilikatlinser och hänvisas även i texten nedan till som kalksilikatlinser. Linsernas genetiska ursprung är inte känt, och termen kalksilikat används därför här som ett ogenetiskt begrepp. Litologiska associationer liknande dem i Obbhult–Steningeenheten har hittills inte beskrivits från andra delar av Östra segmentet.

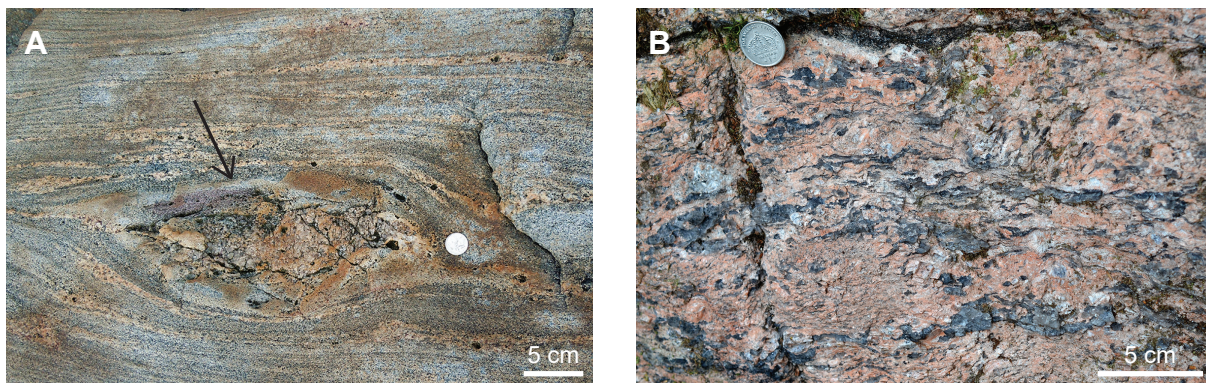
Kvartsfältspatgnejs

Inom Obbhult–Steningeenheten uppträder kvartsrika, felsiska bergarter som i kartan benämns under samlingsnamnet kvartsfältspatgnejs (fig. 8). Bergartsgruppen domineras av finkorniga till fint medelkorniga, ljus grå till ljus rödgrå gnejser dominerade av kvarts, kalifältspat och plagioklas, och varierande halt av något eller några av mineralen biotit, granat eller oxid (fig. 21A–C). Ställvis förekommer oxidmineral anrikade i millimeter- till nära centimeterbredda sliror eller aggregat (fig. 21D). Rester av eventuellt ursprungliga magmatiska eller sedimentära strukturer har inte observerats och kvartsfältspatgnejserna har därför kodats som bergart av okänt ursprung. Kvartsfältspatgnejserna är ofta kompositionellt bandade i centimeter- till meterskala och är ställvis även sillimanit/kyanitförande (fig. 21A–F). I välblottade strandhållar i Stensjöstrand, i kartområdets södra del, har även decimeterstora kalksilikatförande linser observerats (fig. 22A). Geokemisk analys av kvartsfältspatgnejserna pekar på en aluminiumrikare sammansättning än sidoberget (peraluminös signatur, se avsnittet *Berggrundens geokemiska*



Figur 21. Obbhult–Steningeenhetens kvartsfältspatgnejsar. **A.** Granatförande, grå, kraftigt deformerad kvartsfältspatgnejs (Obbhults sandtag, 6335875/349763, JAN100051). **B.** Mikroskopfotografi av tunnslip av granatförande kvartsfältspatgnejs i A, med rosa granat, kvartsband (ribbon quartz) och rödbrun biotit (JAN100051B). **C.** Rödfleckig kvartsfältspatgnejs i Obbhults stenbrott (sekundärt rödfärgade kvartsfältspataggregat). Foto: L. Johansson. **D.** Sillimanit/kyanitförande gnejsig granitpegmatit med mörka oxidrika mm-breda stråk (Obbhults stenbrott). **E.** Röd och vitbandad kvartsfältspatgnejs nära kontakt till amfibolit (Heberg, 6305620/356083, BDK110006). Foto: B. Dyck. **F.** Mikroskopfotografi av tunnslip av sillimanit/kyanitförande kvartsfältspatgnejs av samma typ som i E (Eftra, 6305094/355958, BDK110044B).

sammansättning nedan), detta tillsammans med förekomsten av kalksilikatlinser indikerar att kvartsfältspatgnejserna kan vara av ytbergartsursprung. Undersökningar av zirkon i sparsamt ådrade kvartsfältspatgnejsar i Steningeområdet, i kartområdets södra del, visar att dessa bergarter huvudsakligen har välbevarade magmatiskt zonerade kristaller daterade till 1695 ± 8 (sillimanit/kyanitfri) och 1690 ± 8 miljoner år gamla (sillimanit/kyanitförande, Piñán Llamas m.fl. 2015). Zirkonkristallernas karaktär och åldrar liknar zirkon i sparsamt ådrade ortognejsar i sidoberget och ger inga indikationer för ett sedimentärt (epiklastiskt) ursprung för just dessa kvartsfältspatgnejsar. Studier av zirkonsystemet i åderrika partier av kvartsfältspatgnejsen visar på partiell uppmältning



Figur 22. A. Bandad, kalksilikatförande kvartsfältspatgnejs (Stensjö, 6295581/354176, JAN120002). **B.** Pegmatitrik kvartsfältspatgnejs väster om Obbhults stenbrott (Knallaås, 6334822/350391).

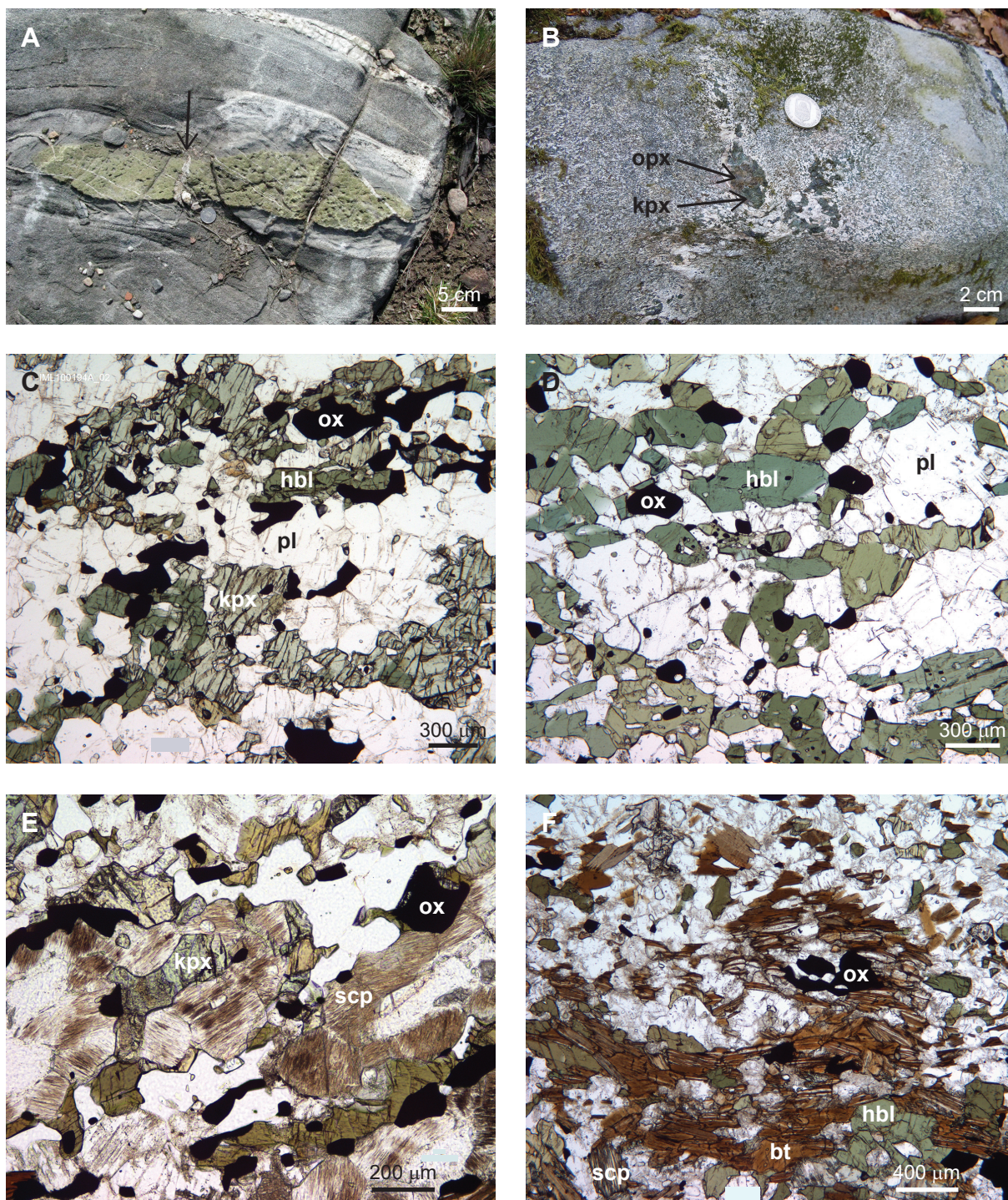
för 1,40–1,39 och 0,97 miljarder år sedan (Piñán Llamas m.fl. 2015). I kvartsfältspatgnejsen förekommer ställvis omfattande inslag av ljust röd kvarts- och kalifältspatrik, leukokratisk metagranit och metapegmatitgranit (fig. 22B). Även dessa är ställvis sillimanit/kyanitförande (fig. 22B).

1,42–1,38 miljarder år gamla amfibolitiska gnejser

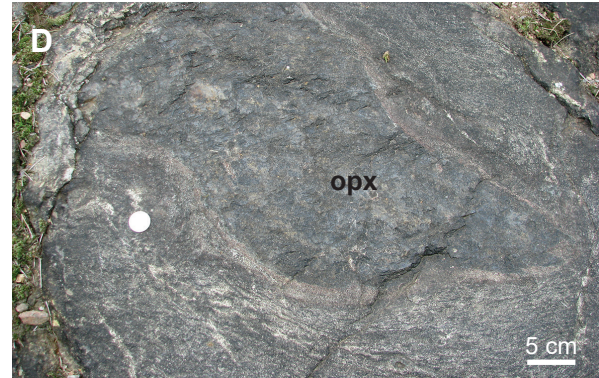
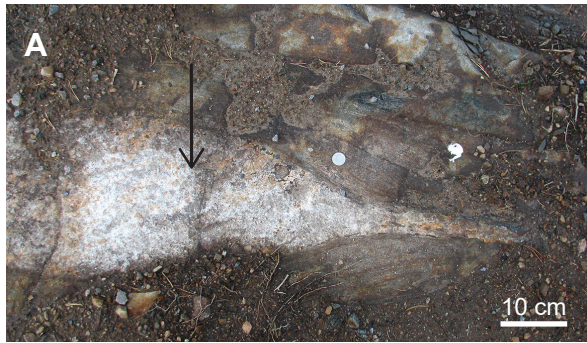
Den kvartsfattiga bergartsgruppen inom Obbhult–Steningeenheten uppträder som heterogent deformerade, kompositionellt lagrade meta-intrusiv som varierar i sammansättning från gabbro till anortosit. Två huvudkomponenter kan urskiljas: 1) huvudsakligen finkorniga, litologiskt bandade, plagioklasrika och granatfattiga amfibolitiska gnejser med enstaka kalksilikatlinser (fig. 23), samt 2) lager och boudinerade linser av grovkornig metaleukonorit till metaanortosit (fig. 24A–B). I komplexet förekommer även granatrika amfiboliter med ortopyroxenförande ådror av samma typ som återfinns i andra delar av kartbladet (se avsnittet *Amfiboliter och mafiska granuliter* ovan).

De finkorniga amfibolitiska gnejserna uppträder som grå till mörkt grå genomgående bandade bergarter med plagioklas, olivgrönt hornblände, ljusgrön pyroxen, oxidmineral och kvarts (fig. 23). Banden är några decimeter- till mindre än centimeterbredda och speglar en variation i proportionerna mellan klinopyroxen och hornblände (jämför fig. 23C och D). Granat och biotit uppträder generellt sparsamt eller saknas helt. Lokalt förekommer granat och biotitförande stråk, och även stråk med omfattande sammanväxningar mellan skapolit och biotit har observerats (fig. 23F). De amfibolitiska gnejserna är sparsamt ådrade med millimeter- till centimeterbredda ofta plagioklasrika ådror (fig. 23B). Ådrorna innehåller ställvis större kristaller av mörkgrön klinopyroxen (peritektisk klinopyroxen). En del ådror innehåller större kristaller av ortopyroxen, mantlad av klinopyroxen och ibland förekommer även finkornig granat i anslutning till pyroxenerna (fig. 24C). En del band i de amfibolitiska gnejserna innehåller decimeterstora granatrika eller epidotrika kalksilikatlinser (fig. 23A, Krehel m.fl. 2012). Ställvis är den amfibolitiska gnejsen mycket heterogen med granat- och plagioklasrika sliror, linser av ortopyroxenmegakrister, upp till flera decimeter i storlek, med kanter av finkornig granat och plagioklas, och grovkorniga anortositiska ådror och sliror (fig. 24D). Lokalt förekommer även oxidmineral- eller ortopyroxenrika centimeterbredda ådror och aggregat.

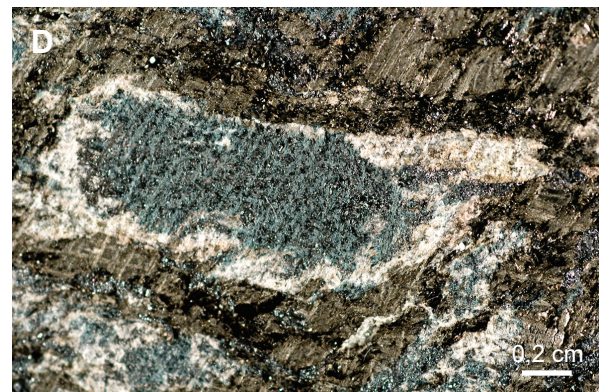
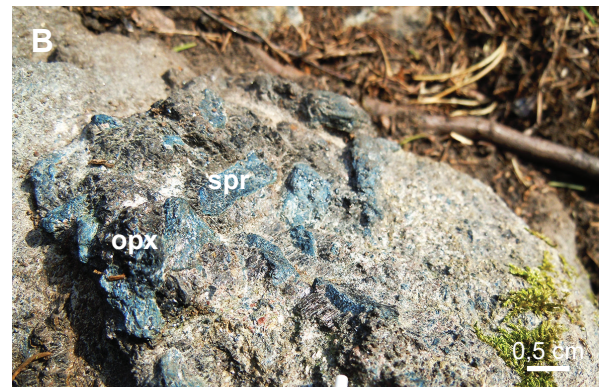
Välbevarade grovkorniga anortositiska och leukonoritiska led förekommer som gångar eller boudinerade meter- till decimeterbredda linser med odeformerad kärna i det kvartsfattiga (basiska) komplexet (fig. 24A–B, Möller m.fl. 2015b). Rester av grovkornig, magmatisk plagioklas, ortopyroxen och Fe-Ti-oxid förekommer i de välbevarade varianterna, medan deformerade varianter är omkristalliserade och har en metamorf mineralogi bestående av granat, ortopyroxen, plagioklas, sillimanit/kyanit, biotit, kordierit, kvarts och Fe-Ti-oxid (hemoilmenit m.fl.). I anslutning till anortositiska lager förekommer även enstaka decimeterbredda inlagringar av biotit, ortopyroxen, Fe-Ti-oxid och safirinrika horisonter (fig. 25). Ett prov från en oxid-safirinrik horisont (fig. 25C–D), gav en uppmätt densitet på 3,64 kg/m³ (petrofysikprov MEB133027A, OBB LJB). Petrografen hos detta prov är närmare beskrivet av Eklöv-Pettersson (2013).



Figur 23. Obbhult–Steningeenhetens kvartsfattiga gnejser och metaintrusiv. **A.** Kalsilikatlin i plagioklasrik, amfibolitisk gnejs (Stensjöstrand). Foto: L. Johansson. **B.** Plagioklasrik amfibolitisk gnejs med stora peritektiska pyroxenkristaller i leucosom (Grönmad, 6300208/358648, IML100210). **C–F** mikroskopfotografier av tunnslip från plagioklasrik amfibolitisk gnejs. **C.** Biotitfri, klino-pyroxen- och oxidrik variant (Nabben, 6332240/352106, IML100194A). **D.** Pyroxenfri varietet dominerad av plagioklas, hornblände och oxid (Stensjö, 6296782/354527, JAN140003S). **E.** Pyroxen och oxidrik varietet med skapolit (Nabben, 6332220/351986, SPN-130344S). **F.** Samma tunnslip som i E i pyroxenfritt stråk med stor andel biotit och skapolit.



Figur 24. (Se sidan 35). **A.** Boudinerad anortositlins i Obbhults bergtäkt. **B.** Närbild på välbevarad isotrop anortositlins i Obbhults bergtäkt. **C.** Peritektisk ortopyroxen med korona av finkornig klinopyroxen och granat (Grönemad, 6300208/358648, samma lokal som figur 23B). **D.** Flera decimeter stor ortopyroxenkristall (Stenaljung, 6335996/350161, JAN100050).



Figur 25. Safirinförande, oxidrik horisont i Obbhults stenbrott. **A.** Översikt. **B.** Detalj med cm-stora korn av blå safirin och brunsvart ortopyroxen. **C.** Sågad skiva av safirinförande oxidrik horisont provtagen nere i brottet på nu bortsprängd lokal (6335062/349234, externt prov-id LJ-SAF, L. Johansson, Lund). **D.** Detalj av den sågade skivan i C med cm-stor safirinkristall (blå) med svart oxidimpregnering och bård av plagioklas, sillimanit/kyanit och granat. Matrix utgörs till största delen av oxid, flogopit och ortopyroxen.

Strukturellt unga metadiabaser

Metadiabasgångar som klipper högmetamorfa strukturer i sidoberget, men som själva metamorfoserats i amfibolit eller granulitfacies har observerats på några ställen inom karteringsområdet (fig. 26). Liknande strukturellt unga metadiabasgångar har tidigare beskrivits från kartområdets södra del (Stensjöstrand, Christoffel m.fl. 1999, Fredrich 2014) och från andra metamorft höggradiga delar av Östra segmentet (Möller m.fl. 2005, Eliasson m.fl. 2007a, b, Lundqvist & Carlsäter Ekdahl 2014). Gångarna är oftast omkring nord-sydligt strykande och mellan någon dm till flera meter breda. Oftast är kontakten deformerad, men gångarnas centrala delar kan i vissa fall vara massformiga med rester av magmatisk textur (fig. 26A), trots omkristallisation under höggradiga metamorfa förhållanden med nytillväxt av granat och klinopyroxen (fig. 26B, Boda, 6341768/375813). Direkta åldersbestämningar av gångarna saknas, men den klippande relationen till strukturer i sidoberget tillsammans med den metamorfa överpräglingen antyder en ålder omkring 0,97–0,95 miljarder år. De bedöms följaktligen att vara likåldriga med den nord-sydligt strykande 0,97–0,94 miljarder år gamla diabassvärmen i den frontala delen av och öster om den svekonorvegiska orogenen (Blekinge–Dalarnadiabaserna, fig. 1, Söderlund m.fl. 2005).

I kartområdet har tydligt klippande metadiabasgångar observerats på tre ställen; vid Dagsås, Gällsås och i Stensjöstrand. På lokalen i Gällsås kan man se en decimeterbred huvudgång som följs av små centimeterbreda parallella gångar längs ett nordnordöstligt spricksystem i hällen (fig. 26C–D, 6324113/361861). Gången är helt metamorft omkristalliserad, med granoblastisk textur och domineras av olivgrönt hornblände, plagioklas och oxid (fig. 26E). Enstaka granater och kraftigt omvandlade korn av klinopyroxen förekommer också. Metadiabasen i Dagsås klipper en gnejsig foliation som definieras av pyroxen (mest ortopyroxen men även klinopyroxen), oxidmineral, hornblände och lite biotit. Gången har en granoblastisk textur och består nästan uteslutande av hornblände, pyroxen och plagioklas (fig. 26F, 6329797/349681).

I hamnen vid Stensjöstrand finns en finkornig, klippande, decimeterbred diabasgång som har en tydlig lineation samt en omkristalliserad, granoblastisk textur. Dominerande mineral är klinopyroxen, granat, plagioklas och oxidmineral. Preliminära kvantitativa beräkningar av tryck och temperaturförhållanden under metamorfosen har gett temperaturer på omkring 770–850 °C och tryck omkring 8–10 kbar (Fredrich 2014).

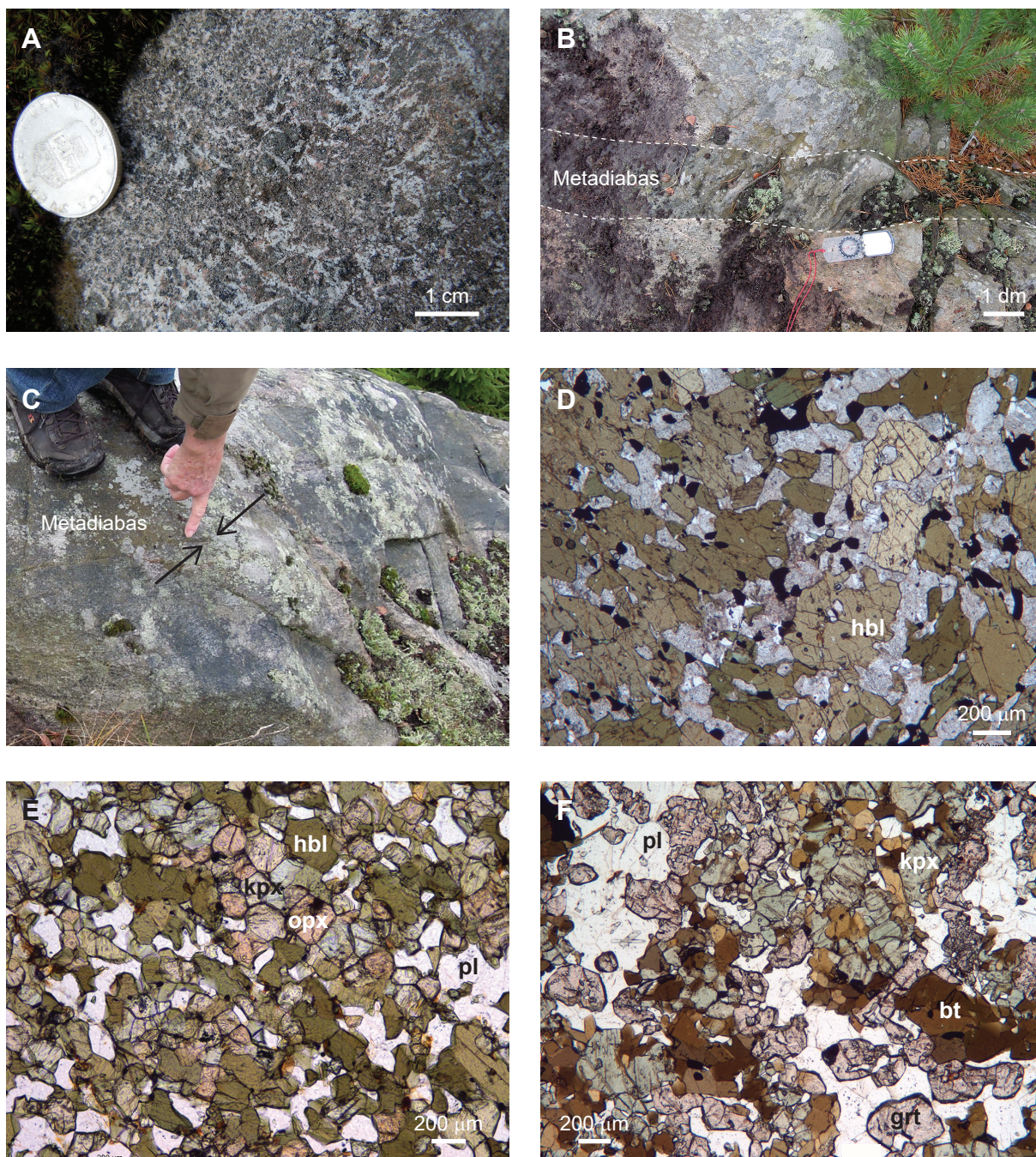
Pegmatitiska och granitiska gångintrusioner

I kartområdet förekommer två strukturellt olika varianter av granitiska, aplitiska och pegmatitiska gångar: (I) dels deformerade (pretektoniska) gångar, antingen veckade, skjuvade eller boudinerade, som lokalt klipper tidig ådring och tektonisk bandning, men som därefter har genomgått plastisk deformation tillsammans med sidoberget (fig. 27A), (II) dels odeformerade (post-tektioniska), oftast raka gångar som klipper de plastiska deformationsstrukturerna i sidoberget i hög vinkel (fig. 27B och C). De strukturellt äldre gångarna (generation I) har åldersbestämts till 1,44–1,38 miljarder år (Steningekusten, Söderlund 1996, Christoffel m.fl. 1999 och Piñán Llamas m.fl. 2015, Gällared, Söderlund m.fl. 2002). De strukturellt unga odeformerade och ometamorfa pegmatit och granitgångarna är de yngsta bergarterna som har påträffats i karteringsområdet. De har daterats till att vara 0,96–0,94 miljarder år gamla (granit–pegmatitgång i Gällared av Möller & Söderlund 1997, pegmatitgång i Kärnebygd av Andersson m.fl. 1999, pegmatitgång i Stensjöstrand av Christoffel m.fl. 1999, samt pegmatitgångar på Högabjär i angränsande område av Möller m.fl. 2007).

I området är även granitiska, aplitiska och pegmatitiska band och ådror som uppträder helt konkordant till sidobergets tektoniska och metamorfa bandning vanligt förekommande. Vissa av dessa kan vara likåldriga med gnejsprotoliten, men de kan också vara betydligt yngre (jämför fig. 9A, 19B och E). Enstaka grövre pegmatitiska segregat innehåller megakrister av hornblände eller klinopyroxen (fig. 27D).

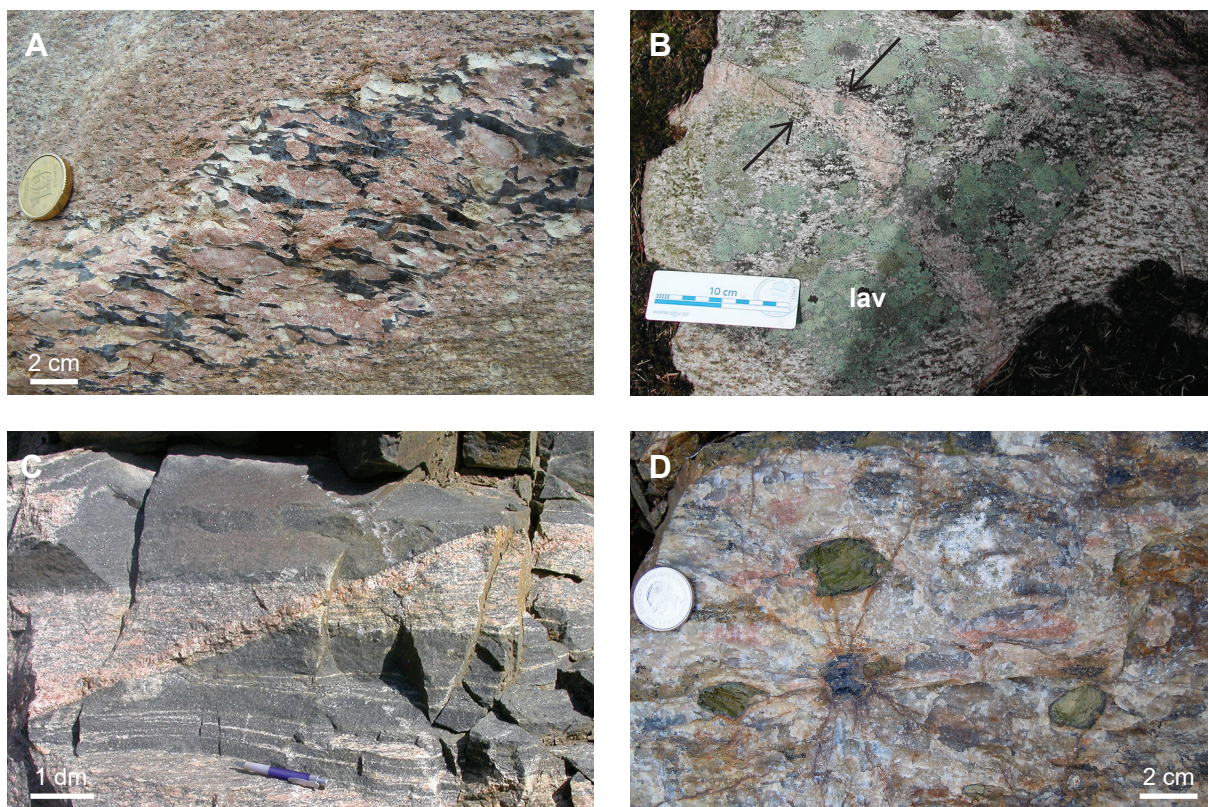
METAMORFOS

Berggrunden inom kartområdet exponerar de djupaste snitten av den omkring 1 miljard år gamla svekonorvegiska bergskedjebildningen (Möller m.fl. 2015a och referenser i denna studie). Berggrunden har i sin helhet deformerats och omkristalliserats under höga tryck och temperaturer (omkring 10 kbar och 800 °C) och delvis smält upp (Andersson m.fl. 1999, Söderlund m.fl. 2002, Möller m.fl. 2007, Hansen m.fl. 2015, Möller m.fl. 2015a, b, Piñán Llamas m.fl. 2015). De eklogitförande enheterna i de norra delarna av kartområdet har omvandlats under ännu högre tryck (≤ 17 kbar, Möller 1998, 1999, Möller m.fl. 2015a, Tual m.fl. 2017). Skillnader i den tektonometamorfa



Figur 26. Strukturellt unga metadiabaser. **A.** Grovkornig mafisk högtrycksgranulit med rester av ofrisk textur indikerad av lister med omkristalliserad plagioklas. Matrix domineras av hornblände, grön klinopyroxen och granat (Svalåsen, 6320060/365573, IML11071). Foto: I. Lundqvist. **B.** Amfibolitiserad metadiabas (streckade kontakter) i klippande relation till stänglighet och foliation i kvartsmon-zodioritisk gnejs (Gällsås, 6324120/361860, IML110119). **C.** Mm-breda, amfibolitiserade gånger som följer nordnordöstliga sprickzoner. Samma lokal som i B. **D.** Mikroskopfotografi i planpolariserat ljus av klippande amfibolitiserad metadiabas från figur B. **E.** Mikroskopfotografi i planpolariserat ljus av klippande granatfri metadiabas associerad med charnockitiseringszon i relikjt ojämknornig, medelkornig, granitisk gnejs. Granoblastisk textur definierad av brungrönt hornblände, ljus grön klinopyroxen, ljus brun ortopyroxen, vit plagioklas och kvarts. (Skärbäcks naturreservat, 6329797/349681, IML100027A). **F.** Mikroskopfotografi (planpolariserat ljus) som visar den vanligaste mineralogin i finkorniga diabaser som har blivit metamorft rekristalliserad till mafisk högtrycksgranulit. Rosa granat, ljus grön klinopyroxen, vit kvarts-plagioklasrik matrix och brun biotit (Vattumosse, 6341768/375813, JAN100029A).

utvecklingen mellan olika delar av området har resulterat i skillnader i gnejsernas generella mineralogiska och texturella (petrografiska) egenskaper. Berggrunden i kartområdet kan därför delas in i fem petrografiskt olika domäner: Varbergsdomänen, Halmstaddomänen, Smålandsdomänen, och den eklogitförande enheten som består av en basal skjuvzon och en inre kraftigare migmatitiserad del. En schematisk översikt över de olika petrografiska



Figur 27. Fältuppträdande för granitpegmatitgångar. **A.** Kraftigt deformerad pegmatit med mörkt gråblå kvarts i granitisk gnejs (lokal i anslutning till stenbrott vid Lungby-Prästgård, 6319627/352476, JAN140010). **B.** Post-kinematisk aplitgång i högvinkeldiskordant relation till veckad gnejsighet i granodioritisk-kvartsmonzonitisk gnejs. Notera avsaknad av lavtillväxt på den näringsfattiga leukokratiska aplitgången (Okome, 6327573/360499, LBR100093). Foto: L. Brander. **C.** Cm-bred, ljus röd pegmatitgång i ett förkastningsplan som klipper en litologisk bandning och en gnejsig foliation. (Falkenbergs station, 6311161/348622, IML090150). **D.** Meta-pegmatit med cm-stora kristaller av grön klinopyroxen (med mm-bred svart kant av amfibol) och svartbrun allanit, den senare omgiven av radiella sprickor (bergtäkt vid Knobesholm, 6308329/363937, JAN140013).

domänernas utbredning ges i figur 11. Deras olika metamorfa och texturella särdrag och deras tekniska egenskaper beskrivs i detalj av Andersson m.fl. (under sammanställning) och sammanfattas kortfattat nedan. Med undantag från avgränsningen av den eklogitförande enhetens utbredning som kartlagts i detalj i externa projekt ledda av C. Möller, Lunds universitet, är gränsdragningen mellan de övriga domänerna högst schematisk. Detaljavgrensning av de övriga petrografiska domänerna kräver mer detaljerad kartläggning och mer omfattande petrografiska undersökningar än de som hittills genomförts i området av SGU. Tjärnesjö–Källsjö- och Steninge–Obbhultenheternas bergarter är helt eller delvis av annan ålder och sammansättning än omgivande gnejskomplex och räknas därför inte som särskilda petrografiska domäner.

Varbergsdomänen

Berggrunden i kartområdets nordvästra delar (Varbergsdomänen) har låg grad av partiell uppsmältning och hydriering. Gnejserna kännetecknas av OH-fattiga mineralparageneser, låga glimmerhalter, och välbevarade granulitiska gnejser är relativt vanliga. I granitiska sammansättningar domineras Fe-Mg-mineralogin av hornblände och opakmineral, medan pyroxen, framförallt klinopyroxen, och opakmineral, dominerar i mörkare, mer intermediära sammansättningar. Lokalt uppträder både klino- och ortopyroxenförande granitiska gnejser. Biotit förekommer som rödbruna, finkorniga flak och oftast endast i små mängder. Fältspat är pertitisk eller antipertitisk och kalifältspat saknar gallertvillinger. Korngränser är oregelbundna och det finns vanligen finkorniga sammanväxningar av fältspat och kvartsfältspat. Sekundära omvandlingar som sericitisering och saussuritisering är relativt ovanligt. Titanit saknas generellt, granat förekommer men generellt i betydligt mindre utsträckning än i öster och söder

(Smålands- och Halmstaddomänen). Gnejserna är ofta sparsamt ådrade eller saknar tydlig ådring. Pegmatitiska gångar och segregat är plagioklasfattiga och kännetecknas av grov, mörkt lila ortoklas och mörk kvarts. Typiskt för Varbergsenheten är även förekomst av charnockitlika omvandlingar associerade med ökad förekomst av pyroxen på bekostnad av OH-förande mineral som hornblände och biotit. Inom Varbergsdomänen finns även bergartsstråk som har tecken på långtgående omkristallisation under lägre temperaturer och hydrerade förhållanden (mikroklinförande, glimmerrikare och med rakare korngränser). Dessa stråk är generellt underordnade.

Halmstaddomänen

I de södra delarna av kartbladet förekommer gnejser som visar tydlig påverkan av höggradig metamorfos och deformation under både den hallandiska och svekonorvegiska orogenesisen (Möller m.fl. 2007, Piñán Llamas m.fl. 2015). I de polymetamorfa ådergnejserna i Halmstaddomänen förekommer ställvis flera generationer av felsiska ådror och gångar, och domänen kännetecknas av ådror som har deformerats långt efter att de bildats. En särskild typ av komplext ådrad polymetamorf gnejs kallas Hallandignejs. Den har höga estetiska och tekniska värden och har under lång tid brutits som natursten (Möller 2010, Schouenborg m.fl. 2015). I kartbladsområdets södra delar förekommer en fyndighet som har klassats som riksintresse för natursten av SGU (se avsnittet *Industriella bergarter* nedan). Hallandignejserna har ställvis mikropertitisk fältspat, men mikroklin är ganska vanlig och dominerar i granitiska sammansättningar. Rester av pyroxen (metamorf eller magmatisk) uppträder ställvis i mörkare mer intermediära sammansättningar. Gnejserna i Halmstaddomänen är ganska biotitrika men titanit är mer ovanligt. Ställvis uppträder zoner med charnockit och på ett fåtal ställen förekommer grovkorniga peritektiska Fe-Mg-mineral i de migmatitiska ådrorna. I en bergtäkt vid Knobesholm förekommer till exempel centimeterstora kristaller av grön klinopyroxen i pegmatitiska segregat (fig. 27D). I de fall gnejserna överpräglats av deformation under amfibolitfaciesförhållanden har klinopyroxenkristallerna ersatts av hornblände. Hallandignejs har i närliggande områden beskrivits och daterats av bland annat Möller m.fl. (2007). Halmstaddomänen rymmer även sparsamt ådrade gnejser med relikta magmatiska texturer, såsom grovt ojämnkornig eller porfyrisk textur. I äldre litteratur har dessa kallats gnejsgraniter, och i angränsande områden i söder och öster för gnejser eller graniter av Fröllinge och Hinnerydstyp (jämför Wik m.fl. 2006, 2009, Lundqvist & Carlsäter Ekdahl 2014). Dessa gnejser har samma mineralogiska och mikrotexturella karaktär som Hallandignejserna.

Smålandsdomänen

Berggrunden i karteringsområdets östra delar har stora likheter med höggradigt metamorfa berggrundsenheter som är kartlagda och beskrivna öster om karteringsområdet (jämför SGUs länskartering Jönköpings län, Wik m.fl. 2006). Dominerande bergarter är gråröda till rödgrå gnejser, vanligtvis migmatiserade och deformerade i övre amfibolitfacies. Migmatiseringsgraden varierar och ådringen skiftar från endast diskret till penetrativ. Texturen i ådrorna har varierande deformation, från kraftigt stänglig (utdragen) till närmast granoblastisk textur. Mellanmassan är jämnkornig till något ojämnkornig. Felsiska eller amfibolitiska band och ådror är oftast sträckta och veckade. Mellanmassan saknar generellt tydlig foliation men har ofta en tydligt utvecklad stänglighet. Ställvis förekommer större områden med relikt medel- till grovkorniga, relikt ojämnkorniga till ögonförande ortognejs som har rester av ursprunglig magmatisk textur. I SGUs tidigare rapportering har dessa varianter benämnts Vägaholmsgnejs eller Hinnerydsgnejs (till exempel Wik m.fl. 2006, 2009). Gnejser med relikt grov magmatisk textur uppträder typiskt som stängliga gnejser med kraftigt utsträckta aggregat. Åldersbestämningar av olika ådergenerationer i denna typ av migmatitiska gnejser i angränsade områden ger 1,44–1,42 och 0,97–0,93 miljarder år gamla åldrar (Möller m.fl. 2005, Johansson m.fl. 2006, Möller m.fl. 2007).

De granitiska-granodioritiska ortognejserna är mikroklinförande (ofta med tydliga gallertvillinger), har relativt jämna korngränser och mer välutvecklad granoblastisk textur. I de rent granitiska leden dominerar biotit medan hornblände dominerar i mörkare mer intermediära varianter som även kan innehålla metamorf klino- och ortopyroxen. Både leukokratiska och intermediära varianter är granatförande, de senare är ofta relativt granatrika. Titanit är vanligt förekommande, ofta i reaktionskoronor omkring opaka mineral. Mafiska bergartsled uppträder som högtrycksgranuliter eller granatamfibolit, de senare granatrika och migmatiserade. De mafiska granuliterna är rika på granat och metamorf klinopyroxen.

Den eklogitförande skollan

I kartområdet exponeras en del av en storskalig eklogitförande enhet som utgör mycket djupt nedpressad berggrund som skjutits in i omgivande gnejskomplex – det vill säga en skolla (fig. 2 och 11). På grundval av berggrundens texturella och mineralogiska särdrag kan den delas in två underenheter: (1) den basala skjuvzonen (se avsnittet *Eklogit och mylonitiska gnejser i eklogitskollans basala skjuvzon*) och (2) den interna, starkt migmatitiska delen. I den basala skjuvzonen är gnejserna genomgående kraftigt deformerade till mylonitiska och starkt veckade, men generellt måttligt till sparsamt ådrade. Ställvis är en relik granitisk textur bevarad (se till exempel Gällaredsgnejs beskriven av Möller & Söderlund 1997 och Söderlund m.fl. 2002). Granitiska led är mikroklinförande och ställvis relativt biotitrika. Mörkare intermediära led kan vara relativt rika på pyroxen och antipertitisk fältspat.

Den inre delen av eklogitskollan karaktäriseras av genomgående kraftig deformation och veckning, omfattande migmatisering, kraftig metamorf segregation och långtgående omkristallisering under amfibolitfaciesförhållanden. Till skillnad från andra delar av kartområdet är eklogiterna här, med några viktiga undantag, kraftigt amfibolitiserade. Pyroxen är ovanligt och granatförande led förekommer sparsamt medan titanit är vanligt. De felsiska leden är pyroxenfria och oftast granatfattiga. De saknar sammanväxt fältspat och kalifältspat har tydliga gallertvillingar (mikroklin). Hornblände dominerar kvartsfattigare sammansättningar medan ljusare brun biotit dominerar kvartsrikare sammansättningar. Biotithalten är ställvis relativt hög (5–10 %). Titanit är vanligt både som större enskilda kristaller och som reaktionskoronor omkring opaka mineral. Allanit är ett vanligt accessoriskt mineral och förekommer ofta med en yttre reaktionskorona av epidot. Muskovit uppträder sporadiskt. Bergarterna i den inre delen av eklogitskollan har genomgått långtgående omkristallisering under amfibolitfaciesförhållanden i samband med kristallisationen av de partiella smältorna. Jämfört med andra bergarter i området är de mer jämnkorniga och har rakare korngränser (högre grad polygonal morfologi), samt har en större andel OH-förande mineral än motsvarande bergarter i kartområdets övriga metamorfa domäner.

STRUKTURER

Plastiska strukturer

Det kartlagda området karaktäriseras av genomgående kraftig plastisk deformation vid höga tryck och temperaturer under metamorfa förhållanden motsvarande övre amfibolitfacies eller lokalt högtrycksgranulitfacies. Bergarterna är kraftigt förgnejsade med väl utvecklade duktila deformationstexturer och de flesta bergartskontakter är parallella med den regionala foliationen. Med undantag för de kraftigt migmatiserade eklogitförande gnejserna i eklogitenhetens inre del har nästan alla bergarter en tydlig sträckningslineation definierad av kraftigt utsträckta mineralaggregat, beroende på deformationsgrad ofta sträckta i proportionen 1:7–10 (fig. 28B). Gnejsiga foliationer definieras ställvis av tillplattade mineralaggregat, men oftare av en kompositionell bandning. Denna bandning har uppstått genom tektonisk överprägling av ursprungliga variationer i berggrundens sammansättning eller av tektoniskt transponerade och till foliationen parallelliserade lager, gångar, enklaver eller andra inneslutningar (fig. 9A). Bergarter, som är motståndskraftiga mot plastisk deformation, såsom eklogit, grovkornig metagabbro och metaanortosit samt grovporfyrisk kvartsmonzonit är heterogent deformerade och uppträder som meter- till kilometerstora tektoniska linser (fig. 12A, 24A–B). Den regionala plastiska deformationsutvecklingen omfattar flera faser. 1,44–1,38 miljarder år gammal åderbildning har daterats på några ställen i kartläggningsområdet genom åldersbestämning av zirkontillväxt i leukosom. Förekomst av 1,44–1,38 miljarder år gamla deformerade pre-tektoniska granitiska gångar (till exempel granit-aplitgång i Gällaredsområdet, Söderlund m.fl. 2002) som är svagt diskordanta i relation till en gnejsig foliation och bandning visar på förekomst av presvekonorvegiska strukturer. De tidiga 1,44–1,38 miljarder år gamla hallandiska deformationsstrukturerna är genomgående överpräglade av plastisk svekonorvegisk deformation, till exempel vid Dagsås och Gällared (Söderlund m.fl. 2002) och i Steninge (Piñán Llamas m.fl. 2015).

Den svekonorvegiska deformationssekvensen har delats in i fyra faser, D1–D4 (Möller m.fl. 2015a). I den första faser, D1, skjuts eklogitskollan in i det omgivande ortognejskomplexet och de olika tektoniska enheterna deformeras tillsammans under högtrycksgranulitfacies- till övre amfibolitfaciesförhållanden. Under D1 utvecklas en mer eller mindre penetrativ gnejsighet (S1, fig. 28A) och deformationen sker under kraftig sträckning (ut-tänjning) av bergartsleden (L1, fig. 28B och C). Äldre strukturer parallelliseras med den regionala gnejsigheten (S1, fig. 28D och 29A). Fortsatt kraftig plastisk deformation (D2) kännetecknas av tät (eng. *tight*) veckning och



Figur 28. Plastiska strukturer. **A.** Tätt intrafolialt veck (F2) i retrograd eklogit (externt lokal-id CM100512, lokalt block Tranabo). Foto: C. Möller. **B.** Hällar i Suseån vid Asige med tydligt utvecklad sträckningslineation, se streckade linjer (6305350/363890, BDK111057). Foto: B. Dyck. **C.** Toppyta med kraftigt sträckta kalifältspatdominerade aggregat i ökongnejs (ca 3 km norr om Asige, 6309005/362358, DLL110001). Foto: L. Lundqvist. **D.** Kraftigt deformerad sträckt och veckad ådra i Hallandian gnejs (bergtäkt vid Knobesholm, 6308329/363937, JAN140013).

fortsatt sträckning längs öst–västliga axlar (F2 och L2, fig. 29B–D, fig. 30) och ställvis utveckling av en axialplansparallel foliation (S2). Den öst–västliga veckningen uppträder i hållskala som täta till isoklinala veck med varierande spetsiga till rundade veckomböjningar. Vecken har oftast flacka axialplan och återfinns i hela området (fig. 29B–D). Under D2 deformerades hela den tektoniska sekvensen med eklogitskollan och omgivande berggrund till ett mot öster överstjälp, liggande storskaligt veck. Deformation under D2 skedde under liknande höggradiga metamorfa förhållanden som D1 och i samband med partiell uppsmältning. Hela sekvensen återveckas därefter i en tredje och en fjärde deformationsfas av storskalig veckning; dels öppna till täta lutande veck med veckaxlar av varierande orientering (F3), och därefter mycket öppna upprätta veck längs nord–sydliga flacka veckaxlar. Båda dessa veckfaser medförde ställvis storskalig omorientering av S2 och L2. Ett tydligt exempel på detta är området mellan Ullared och Åtran, där öst–västliga lineationer (L2) gradvis roteras mot norr för att norr om Gunnarp vara helt nord–sydliga och flacka (se Smålandsområdet i fig. 30). I samma område roteras den gnejsiga foliationen in i en brant till nära vertikalt stupande nord–sydlig struktur (fig. 31). De sena veckfaserna är tydliga i kartskala, till exempel framträder den storskaliga veckningen tydligt i det magnetiska anomalimönstret och i den magnetiska konnektionskartan (fig. 3 och 7). I större blottningar, till exempel i stenbrott, kan sena veckstrukturer observeras som undulerande foliation i vilken stängligheten är veckad, till exempel i bergtäkten vid Hjärtared strax väster om Ullared i den kraftigt deformerade kontakten till eklogitskollan (den basala skjuvzonen).

Mätningar i fält av plastiska strukturer är åskådliggjorda i figur 30 och 31. All strukturdata från den eklogitförande basala skjuvzonen och delar av strukturdata från den inre delen av eklogitskollan, Tjärnesjö–Källsjö-enheten och Smålandsdomänen är från Möller m.fl. (2015a). På grund av glesa observationspunkter är den strukturdata som samlats in av SGU inte heltäckande för hela området (jämför fig. 1). För vissa områden orsakar detta

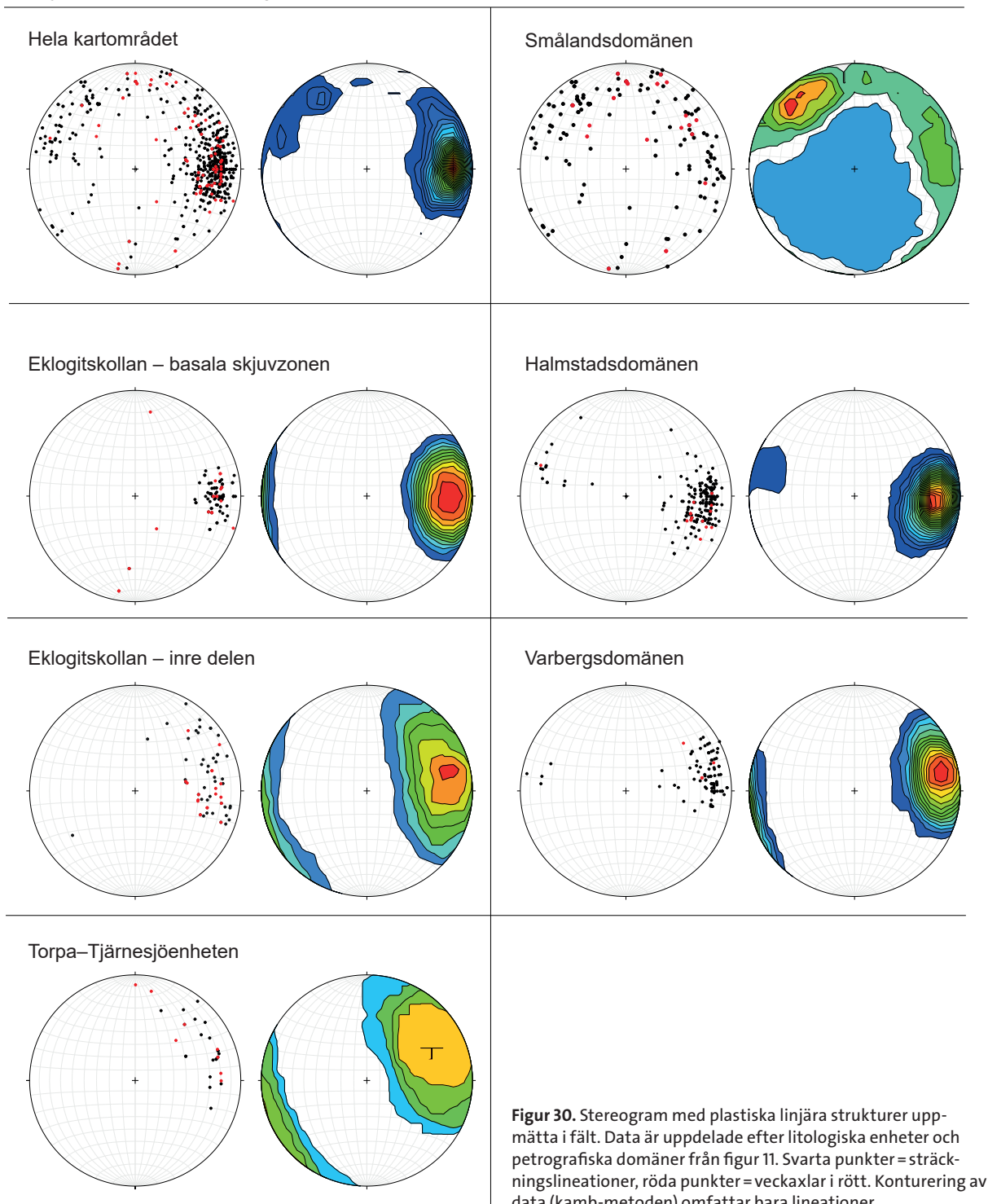


Figur 29. A. Närbild på kraftigt deformerad ådra (av förmodad Hallandisk ålder). Vertikalt snitt, bergtäkt vid Knobesholm, 6308329/363937, JAN140013). B. Bandad granodioritisk ådergnejs med öst–västliga veck (F2) överstjälppta mot söder. Vy mot väster vinkelrätt mot sträckningslineationen (74/20) och veckaxeln (Grinnared, 6312544/363491, BDK111046). Foto: B. Dyck. C. Kraftigt sträckt (L2) och veckad (F2) stromatisk, migmatitisk gnejs i inre delen av eklogitskollan med veckaxlar (75/26) som är parallella med kraftigt utvecklad sträckningslineation. (Stenåsen, ca 3 km norr om Fagered, 6345813/364818, FHM101018). Foto: F. Hellström. D. Detalj av veckad (F2) stromatisk migmatitisk gnejs i den inre delen av eklogitskollan med spetsiga veckomböjningar och sockerkornig textur i de veckade ådrorna (vertikalt snitt mot norr, Töresjö, 6345215/361822, FHM101031).

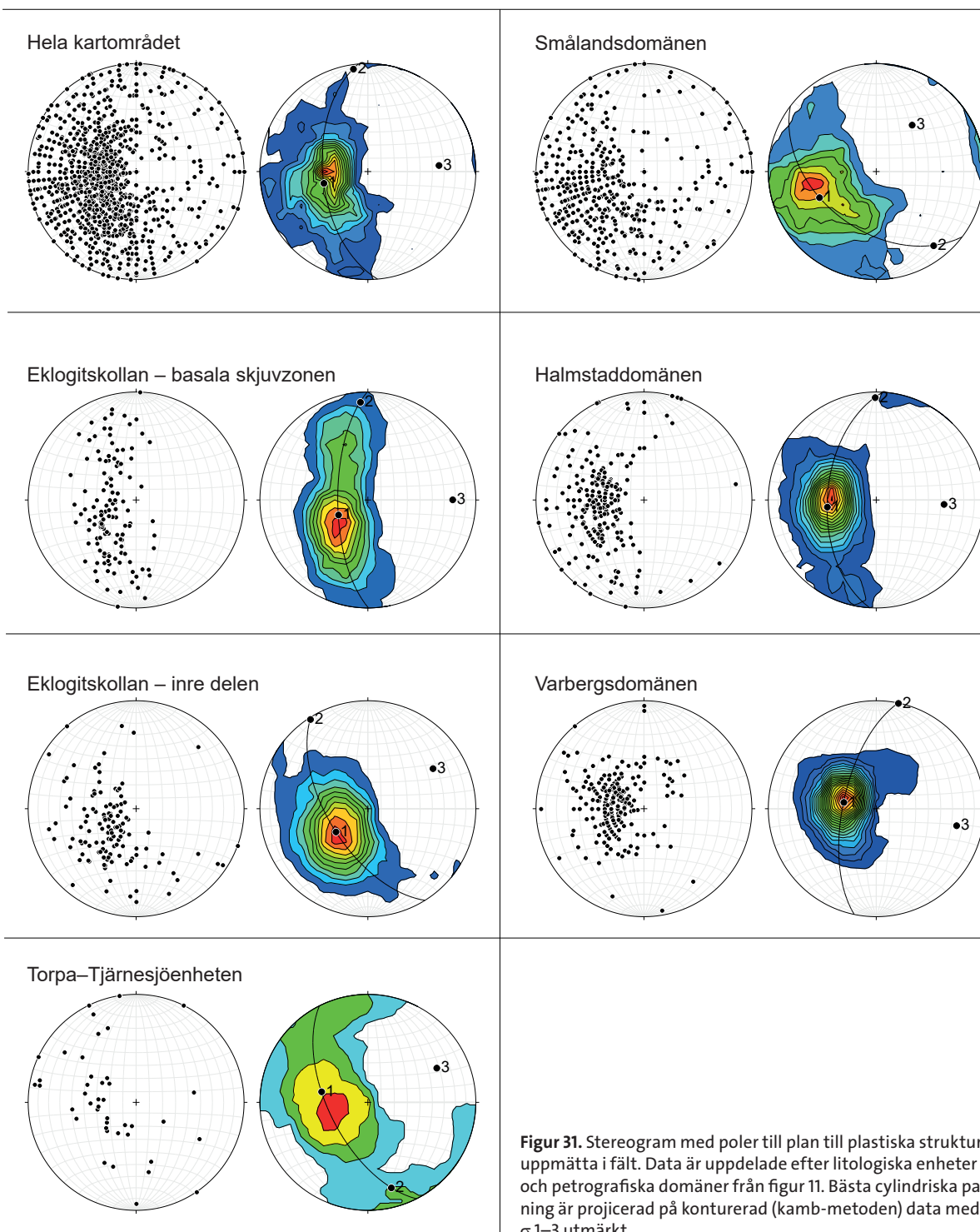
en bias (systematiskt missvisande) i strukturdata. I Varbergsdomänen, till exempel, har strukturdata huvudsakligen insamlats i områden kraftigt påverkade av deformation i veckbenen till den storskaliga nord–sydliga sena veckfasen (Svartenzonen), medan mer öst–västligt orienterade foliationer i samma domän i norra och västra delen av kartområdet är underrepresenterad (jämför fig. 3, 7 och 31).

De i hållskala tydligast framträdande plastiska deformationsstrukturerna tillhör deformationsfasen D1 och D2 och omfattar kraftig sträckning, gnejsig foliation och veckning. Gnejserna har i större delen av kartområdet en tydligt utvecklad sträckningslineation (L1+L2), typiskt definierad av öst–västliga, generellt flackt stupande (5–30°) kraftigt utsträckta kvartsfältspataggregat (1:5–10 gånger, fig. 28C och 29C). Den dominerande stupningen är mot öster, men även västliga stupningar förekommer (fig. 30). I områden kraftigt påverkade av den senare nord–sydliga veckningen (F3 och F4) kan man se en omorientering av dessa lineationer mot norr (jämför Smålandsdomänen, den inre delen av eklogitskollan och Tjärnesjö–Torpaenheten i fig. 30). Veckaxlarnas orientering i området följer samma trend som sträckningslineationerna (fig. 30). Gnejsiga foliationer omfattar mineralfoliation, litologisk bandning och åderbandning (fig. 9, 10, 28 och 29). Den litologiska bandningen är ofta ett resultat av planställning och tillplattning (eng. *flattening*) av litologiska heterogeniteter som enklaver, inneslutningar och pre-tektoniska mafiska eller felsiska gångintrusioner (fig. 9A, 28A, C och D, 29A–C). Omfattande metamorf segregation och åderbandning (stromatisk bandning) förekommer endast i större omfattning i de inre delarna av den eklogitförande enheten (fig. 9D, 29C–D).

Linjära strukturer–sträckningslineationer och veckaxlar.



Detaljerade studier av den strukturgeologiska utvecklingen har gjorts i delar av kartområdet som har bedömts att vara av särskilt intresse för förståelsen av den geologiska utvecklingen i Sydvästsverige. Detta gäller eklogitskollan med omgivande gnejskomplex i området Ullared–Källsjö–Fagered–Ätran (se fig. 1, Ekdahl 2001, Mozafari Amiri 2013, Möller m.fl. 2015a, Tual m.fl. 2015), Stensjöområdet (Piñán Llamas m.fl. 2015), samt Obbhultsområdet (C. Möller, Lunds universitet, opublicerade data) och dess förlängning västerut (Michalchuck 2013).

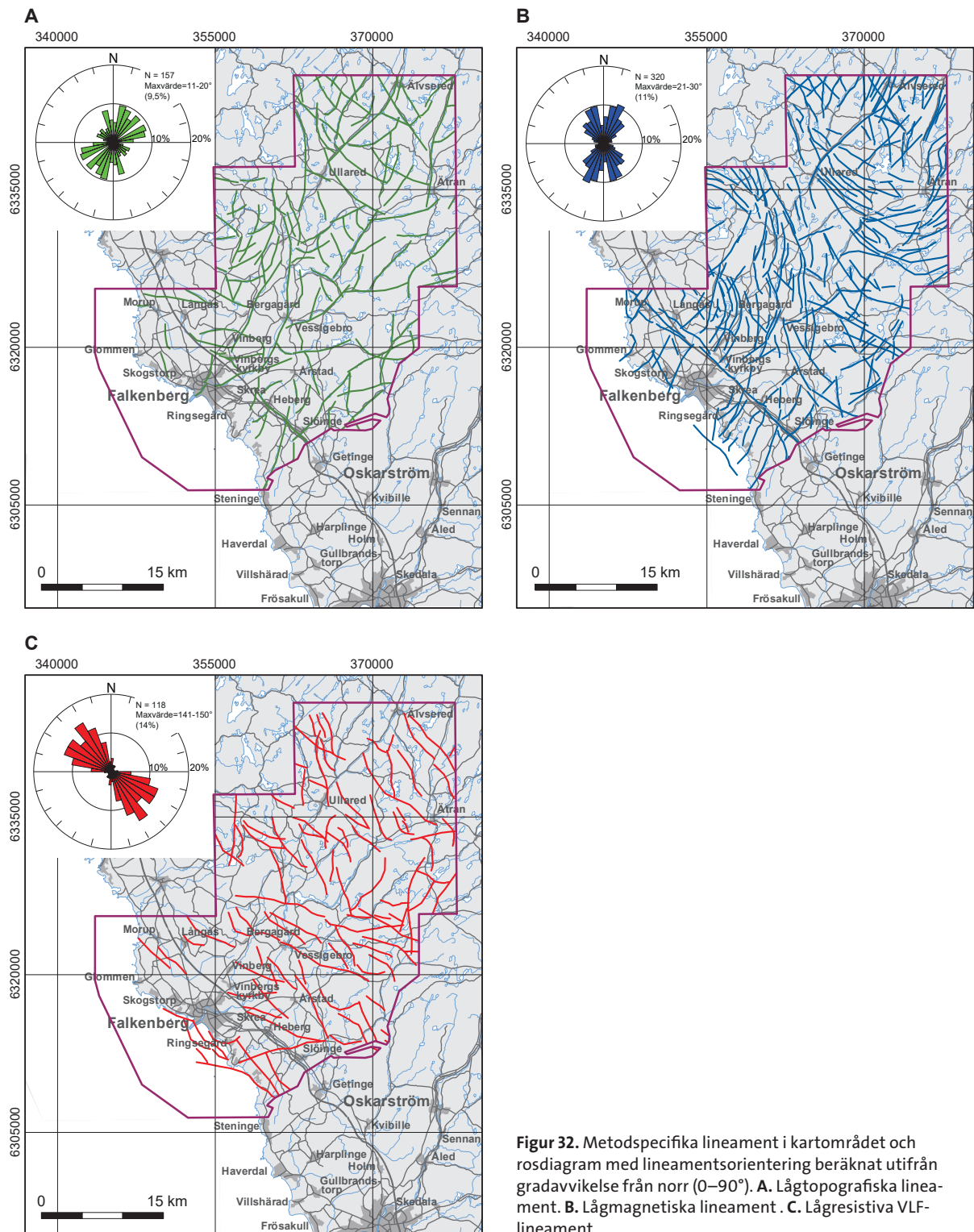


Spröda strukturer

Kartläggningsprojektet har inte omfattat kartläggning av spröda strukturer. Information om sprickbildning och förkastningar finns endast dokumenterad i ett begränsat antal observationer (SGUs databas berggrundsobservationer). En inventering av spröda strukturer i en bergtäkt strax nordöst om Falkenberg (Stavsjö bergtäkt) har dock genomförts inom ramen för projektet (Grigull & Andersson 2019). Samma täkt har varit i fokus för en studie om sprickfyllnader i Halland (LaRoche m.fl. 2014).

Vid lineamentstolkningen (se avsnittet *Lineamentstolkning* ovan), har tre olika lineamentskartor tagits fram. De visar tre olika typer av lineament som baseras på tolkning av höjddata (fig. 32A), magnetiska anomalimönstret (fig. 32B), respektive VLF-data (fig. 32C). I figuren åskådliggörs även lineamentens orientering (strykning från norr, ej stupning) genom projicering i rosdigram. Denna är beräknad utifrån lineamentens start och slutpunkt, de enskilda lineamenten har inte delats upp i raka segment. Detta innebär att strykningen för bågformiga lineament blir något felaktig. Denna bias är tydlig i det magnetiska anomalimönstret som innehåller ett relativt stort antal bågformiga lineament, men försumbar i VLF-data. Med utgångspunkt från observationer i fält och lineamentsdata som åskådliggörs i figur 32, kan man översiktligt identifiera två huvudtrender i det spröda deformationsmönstret, som också kan identifieras i geofysiska data och höjddata i regional skala utanför karteringsområdet. Den i håll vanligast förekommande sprick- och förkastningsorienteringen är nordnordöstlig, med brant till nästan vertikal stupning (fig. 32 och 33). Denna sprick- och förkastningsorientering överensstämmer väl med orienteringen av lineament identifierade i höjddata (fig. 32A) och i viss mån även i det magnetiska anomalimönstret, särskilt i områdets nordöstra delar (fig. 32B), och återfinns även i regionalt i Östra Segmentet (fig. 2, Andreasson och Rodhe 1992, Wik m.fl. 2006). I välblottad terräng är de nordnordöstliga sprickorna ofta följbara flera meter, och ibland längre (fig. 32A). Ställvis uppträder karaktäristisk rödfärgning, vanligen mindre än 1 cm bred, av sidoberget i anslutning till sprickan (fig. 32B och C). En del rödfärgade nordnordöstliga sprickor är fyllda med epidot (Laroche m.fl. 2014), och i vissa sprickzoner är rödfärgning och epidotbildning omfattande (fig. 32B). De nordsydliga till nordnordöstliga sprickorna har samma orientering som spröda och spröd-plastiska deformationsstrukturer i den östligaste delen av den svekonorvegiska orogenen söder om Vättern, samt som Blekinge–Dalarnadiabaserna (fig. 2, se avsnittet *Berggrundens bildnings- och utvecklingshistoria* ovan, jämför även Andreasson & Rodhe 1990). Som nämnts tidigare (under avsnittet *Strukturellt unga metadiabaser*) förekommer även strukturellt unga metadiabaser med nordsydlig till nordnordöstlig orientering i kartområdet, till exempel vid Stensjöstrand och Gällsås (Fredrich 2014, fig. 26). På Gällsås finns blottningar med över flera meter uthålliga nordnordöstligt strykande, branta till nära vertikala sprickor som löper parallellt med en strukturellt sen, helt amfibolitiserad, ett par decimeter bred metadiabasgång som i låg vinkel klipper sidobergets plastiska deformationsstruktur. På samma lokal förekommer även en cirka 1 cm bred amfibolitiserad metadiabas i de branta nordnordöstliga sprickorna (fig. 26C). Detta indikerar att den nordnordöstliga sprickbildningen ligger nära i tiden med intruderandet av de sensvekonorvegiska diabaserna. Förekomst av lågradig hydrotermalomvandling i anslutning till nordnordöstliga sprickor (grönskifferfacies, Laroche m.fl. 2014), indikerar en sensvekonorvegisk ursprungsalder för denna generation sprickor. Det nordnordöstliga spricksystemet i kartområdet bedöms vara genetiskt relaterat till det storskaliga nordsydliga till nordnordöstliga sprick- och förkastningssystemet i Östra segmentet som bland annat kopplas till Vätternsänkan. Reaktivering av detta spricksystem har föreslagits äga rum ända fram till tidig holocen (Jakobsson m. fl. 2014).

Västnordvästliga lineament framträder tydligt i VLF-data (fig. 32C). Denna riktning är parallell med den stor-regionala Tornqvist–Sorgenfreizonen genom Skåne (se till exempel Bergerat m.fl. 2007), och omfattar den största förkastningszonen inom kartområdet. Zonen som framträder tydligt i höjddata och magnetiska data (fig. 3, 6, 7 och 32B), stryker cirka N60V och löper från kusten i områdets nordvästra del mot sydost. I berggrundskartan framträder förkastningszonen även som en signifikant bergartsgräns. Kartsammanställningen indikerar en dextral förskjutning, men sannolikt även en relaterad vertikalförskjutning, av berggrunden längs förkastningen (fig. 8). Området med västnordvästliga förkastningszoner sammanfaller även med förändringar i landskapet, såsom lägre topografi, ett djupare jordtäckte och markant färre sjöar (jämför fig. 6). Västnordvästliga sprickor har studerats i en bergtäkt strax nordöst om Falkenberg (Stavsjö bergtäkt). I tätten syns västnordvästliga, kalkitfyllda skjuvsprickor eller förkastningar påverka en nordnordöstlig brant pegmatitgång, vilken i sin tur klipper den regionala gnejsiga strukturen i sidoberget (Grigull & Andersson 2019, fig. 32E och F).



Figur 32. Metodspecifika lineament i kartområdet och rosdigram med lineamentsorientering beräknat utifrån gradavvikelse från norr (0–90°). **A.** Lågtopografiska lineament. **B.** Lågmagnetiska lineament. **C.** Lågresistiva VLF-lineament.

BERGGRUNDENS GEOKEMISKA SAMMANSÄTTNING

73 bergartsprover valdes ut för geokemisk analys av huvud- och spårelement. Analysdata har lagrats i SGUs litogeokemiska databas (LIKE). I databasen finns även information om provpreparering och analysmetod. Detta gäller inte data från gnejserna av Tjärnesjö–Torpatyp (ursprungsåldrar omkring 1,42–1,38 miljarder år) som är äldre opublicerade data (J. Andersson, opublicerade data).

Analysresultaten presenteras nedan där analysdata har grupperats efter berggrundskartans bergartsindelning (se fig. 8), med undantag för (1) gnejserna inom eklogitskollan, vilka har skiljts ut som en egen grupp, och (2) strukturellt sena metadiabaser (se ovan) som har slagits ihop med övriga mafiska (basiska) bergarter. För presentation av spårelementdata har bergartsgrupperna delats in i en mafisk, kvartsfattig (≤ 53 viktprocent SiO_2) och en intermediär till felsisk, kvartsrikare undergrupp (> 53 viktprocent SiO_2).

De geokemiska analysresultaten skall tolkas med utgångspunkt från kartområdets högmetamorfa karaktär eftersom metamorf segregation, och i synnerhet partiell uppsmältning, kraftigt kan förändra berggrundens ursprungliga sammansättning. Vid provtagning har i möjligaste mån homogena, icke segregerade bergartsled utan ådring valts ut. En del dominerande bergartstyper förekommer dock inte i oådrad form, till exempel eklogitförande stromatisk gnejs i den inre delen av eklogitskollan (se fig. 9D, 29C–D). Ett annat exempel är den typiskt ådrade Hallandignejsen (fig. 29 A–B). Upprepade analyser av bergartsprov från ett antal lokaler visar på en viss heterogenitet i den geokemiska sammansättningen, även för prov tagna på samma lokal av bergarter som bedömts vara homogena (fig. 33). Detta gäller även sammansättningen hos bergartsprov som tagits fram genom delning av ett större prov. Resultaten visar på viss geokemisk (och mineralogisk) heterogenitet hos områdets högradiga gnejser, även för stora prov på omkring 15–25 kg. Spridningen är störst mellan analyser av stromatiska, migmatitiska gnejser i eklogitskollans inre del.

Resultaten från de geokemiska analyserna av bergarter från kartläggningsområdet redovisas översiktligt nedan.

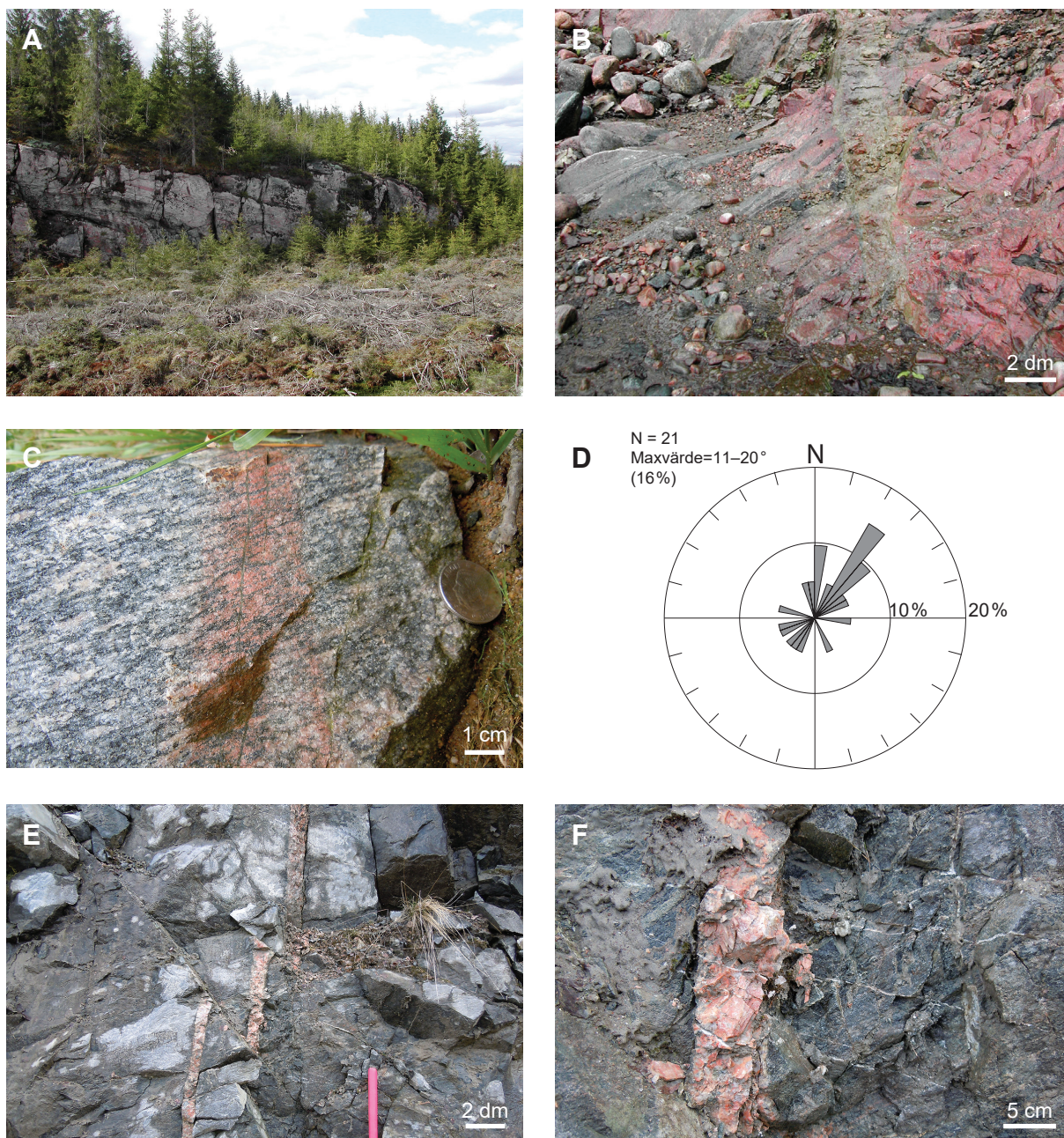
Huvudelement

De i området dominerande 1,74–1,66 miljarder år gamla ortognejserna har huvudsakligen granitisk (adamellitisk) till kvartsmonzodioritisk sammansättningstrend av företrädesvis metaluminös karaktär (fig. 34A–C). I diagrammet som visar förhållandet mellan Fe, Mg och SiO_2 (fig. 32D) plottar de i området mellan Fe- och Mg-rika granitiska bergarter, med viss övervikt mot Fe-anrikade sammansättningar. Gnejserna i eklogitskollan har en dragning åt något mer granitoida sammansättningar och omfattar även peraluminösa led (fig. 34A–C) liksom mer Mg-rika sammansättningar (fig. 34D). De yngre 1,42–1,38 miljarder år gamla ortognejserna av Tjärnesjö-Torpatyp visar en mer syenitoid trend med huvudsakligen granitiska till kvartsmonzonitiska och monzonitiska sammansättningar av tydlig metaluminös karaktär; de är även tydligt Fe-rikare (fig. 34). Bland bergartsproven från Obbhult–Steningeenheten saknas intermediära sammansättningar och analyserna plottar i två distinkta grupper; en kvartsrik och en kvartsfattig grupp (fig. 34). Det är oklart om denna gruppering motsvarar hela enhetens litologiska sammansättning eller om grupperingen beror på att alltför få prover analyserats. Ett par av proven från den kvartsfattiga gruppen plottar även utanför klassificeringsdiagrammen. Dessa analyser kommer från den finkorniga, bandade, kalksilikatförande amfibolitiska gnejsen och indikationen av anomala sammansättningar kan spegla hydrotermala omvandlingar i denna bergartstyp (se beskrivning av bergarten ovan). Vid inspektion av bergarten i tunnslip har biotit- och skapolitrika stråk identifierats (fig. 23E–F).

Sammansättningen hos de 1,74–1,66 miljarder år gamla gnejserna liknar den hos 1,87–1,66 miljarder år gamla mer välbevarade bergarter i det transskandinaviska magmatiska bältet i Småland och Bergslagen (se Ahl m.fl. 2001, Wahlgren m.fl. 2008, Stephens m.fl. 2009). De är också helt överlappande med 1,81–1,77 och 1,74–1,66 miljarder år gamla magmatiska bergarter och metamorfa ekvivalenter i de mindre kraftigt omvandlade delarna av Östra Segmentet och området öster därom (jämför Wik m.fl. 2006, 2009, Wikman 1998, 2000). Indikationer på mer granitoida sammansättningstrender, det vill säga granit–granodiorit–tonalit med kalkalkalina signaturer som är vanliga väster om Mylonitzonen (Åhäll & Connelly 2008), har inte kunnat påvisas.

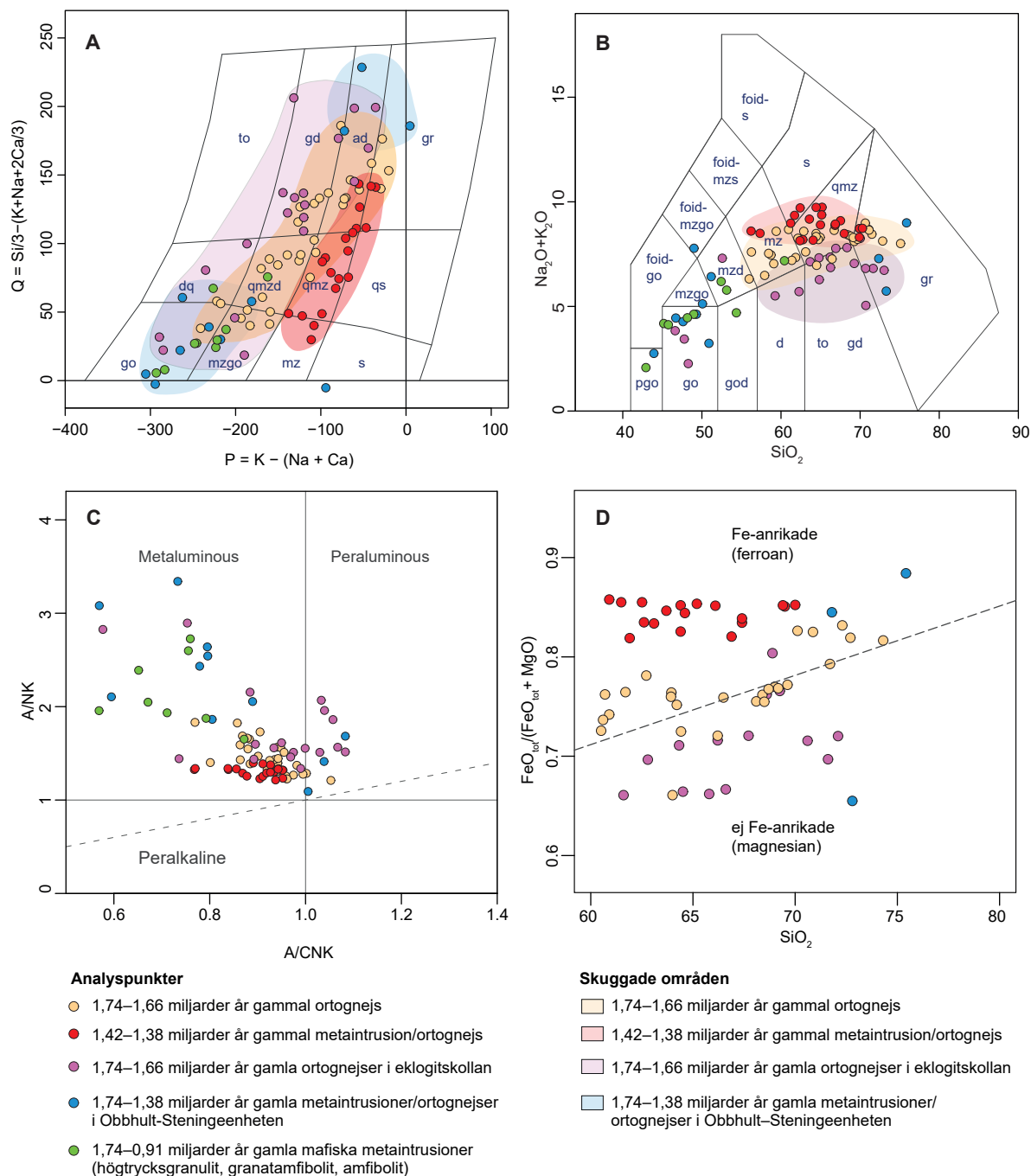
Spårelement

Resultat från spårelementanalyser illustreras i figur 35 och 36. På grund av stora sammansättningsvariationer mellan de mafiska och felsiska bergarterna har presentationen av analysresultaten delats in i två grupper; bergarter med över 53 viktprocent SiO_2 (kvartsrikare intermediära till felsiska bergarter) och bergarter med lägre halt SiO_2 (mafiska kvartsfattigare bergarter). De SiO_2 -rikare bergarterna har jämförts med (normaliserats mot) den övre kontinentala jordskorpan genomsnittliga sammansättning (fig. 35, Taylor & McLennan 1995). De SiO_2 -fattigare bergarterna har jämförts med sammansättningen av den oceaniska jordskorpan (fig. 33, basalt från de mittoceanska ryggar, MORB, enligt Pearce 1983). De sällsynta jordartsmetallerna (REE) har jämförts med en kondritisk sammansättning, det vill säga med planeternas förmodade ursprungssammansättning (enligt Nakamura 1974).



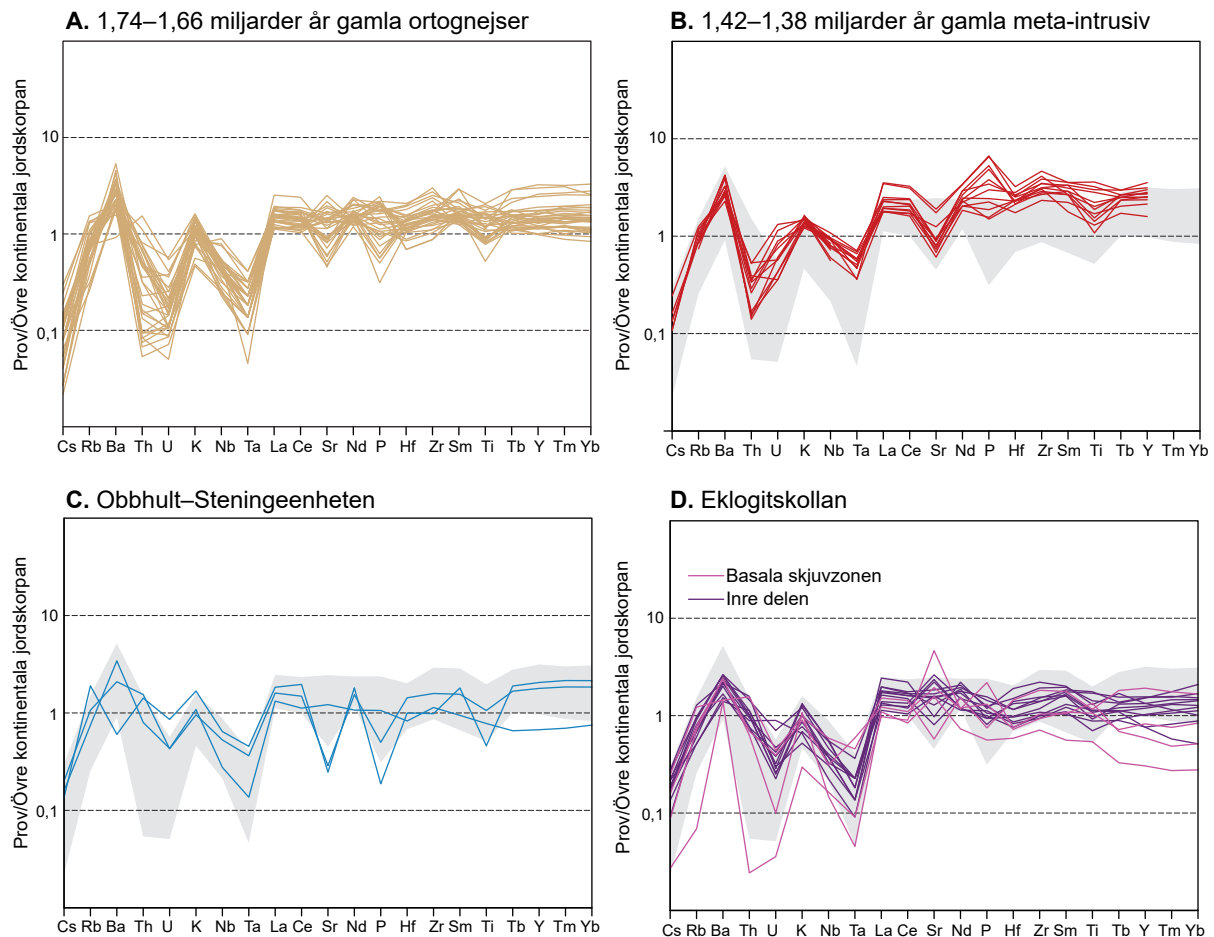
Figur 33. Fältfotografier av spröda deformationsstrukturer. **A.** Nordnordöstlig, uthållig (>100 m) subvertikal förkastningsbrant med kraftigt oxiderat berg (Alnäs, 6346472/376242, JAN100011). **B.** Epidotrik nordnordöstlig sprickzon som klipper litologisk bandning i granitisk ådergnejs som är kraftigt rödfärgad i anslutning till zonen (2 m bred toppyta, Gudvarshult, 6323453/370024, LBR100070). **C.** Karaktäristiska nord–sydliga till nordnordöstliga sprickor med röda, ofta uthålliga, cm-breda kanter (Köinge, 6325958/357819, IML100164). **D.** Rosdiagram med sprickdata från fältobservationer (N= 21). **E.** Nordnordöstlig pegmatitgång som klipper gnejsig lagring i kvartsmonzonitisk ådergnejs (Stavsjö stenbrott). Pegmatitgången är i sin tur sönderbruten av västnordvästliga kalcitfyllda förkastningsplan. **F.** Detalj av E.

Spårelementfördelningen i de 1,74–1,66 miljarder år gamla ortognejserna visar i stort sett samma mönster över hela kartområdet (fig. 35). Icke-mobila element (till exempel Hf, Ti, Zr, Y), som inte är kända för att påverkas av metamorfos, visar ett flackt mönster med något förhöjd eller överlappande fördelning i förhållande till övre jordskorpans sammansättning. Av de mer mobila, stora litofila elementen (eng. *large ion lithophile elements*, LILE) har de äldsta ortognejserna samma typ av variation med lägre halt Cs och högre halt Ba, medan Rb och K ligger nära övre kontinental jordskorpans sammansättning. Nb och Ta (eng. *high field strength elements*, HFSE) uppvisar viss utarmning, särskilt Ta. U och Th i de äldsta gnejserna skiljer sig från övriga bergarter genom att de genomgående



Figur 34. Bergartsklassificering utifrån halten av olika huvudelement. **A.** PQ-diagram efter Debon & Lefort (1983). **B.** TAS-diagram efter Middlemost (1985). **C.** Diagram efter Shand (1943). $\text{A}=\text{Al}$, $\text{N}=\text{Na}_2\text{O}$, $\text{K}=\text{K}_2\text{O}$. **D.** Diagram efter Maniar & Piccoli (1989). Streckad linje visar gräns mellan Fe-anrikade (ferroan) och ej Fe-anrikade (magnesian) granitiska bergarter från Frost m.fl. (2001).

är mer utarmade, i synnerhet U. Detta är en orsak till de låga strålningsnivåer som uppmäts i berggrunden i kartområdet (se avsnittet *Gammastrålningsmätningar* ovan). De mafiska, kvartsfattiga bergarterna är anrikade på de stora litofila elementen (Sr, K, Rb, Ba) jämfört med basalterna i de mittoceanska ryggar (MORB, fig. 36A) och det finns mycket stor variation i spårelementmönstret bland eklogiterna och högtrycksgranuliterna i eklogitskollan (fig. 36C). De yngre 1,42–1,38 miljarder år gamla ortognejserna i Tjärnesjö–Källsjöenheten visar delvis liknande mönster som de äldre gnejserna, men har något högre halter av icke-mobila element och visar inte samma utarmning av Ta som de omgivande gnejserna (fig. 35B). Obbhult–Steningeenhetens bergarter har ett mindre enhetligt

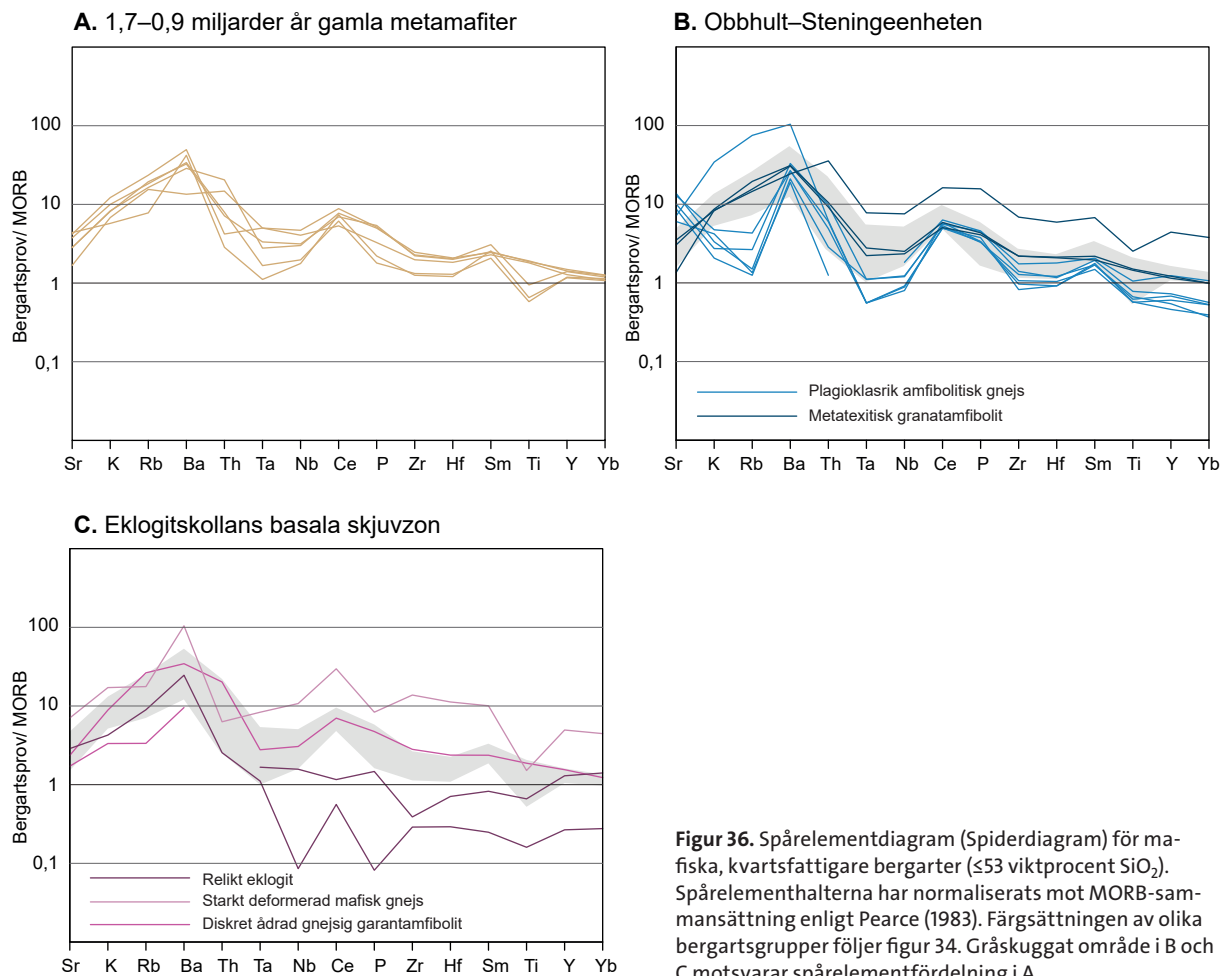


Figur 35. Spårelementdiagram (Spiderdiagram) för felsiska och intermediära, kvartsrikare bergarter (>53 viktprocent SiO_2). Spårelementhalterna har normaliserats mot den övre kontinental jordskorpans sammansättning enligt Taylor och McLennan (1995). Färgsättningen av olika bergartsgrupper följer figur 34. Gråskuggat område i B–D motsvarar spårelementfördelning i A.

spårelementmönster (fig. 35C och 36B). De kvartsrikare leden saknar negativa Th-U-anomalier men följer annars i stora drag sidognejsernas generella fördelningsmönster. De metatexitiska amfiboliterna och de grå, plagioklasrika amfibolitiska gnejserna i Obbhult–Steningeenheten har stor variation bland de mobila elementen (fig. 36B). De icke-mobila elementen följs generellt åt och liknar sammansättningen hos de omgivande gnejserna, med undantag för något lägre halter av Nb, Ta och Yb. Ett prov av metatexitisk amfibolit från Steninge har genomgående något högre halter av immobila element (fig. 36B).

Sällsynta jordartsmetaller (REE)

REE-mönstret för de intermediära till felsiska 1,74–1,66 miljarder år gamla ortognejserna visar lätt sluttande trend för lätta REE, svag till markerad Eu-anomali och flack trend för tunga REE (fig. 37A). De yngre ortognejserna i Tjärnesjö–Källsjöenheten har lätt förhöjda halter REE (fig. 37B). De tre kvartsrika proven från Obbhult–Steningeenheten visar viss spridning, men i övrigt har de liknande REE-trend som omgivande ortognejs (fig. 37C). De eklogitförande ortognejserna visar på en utarmning av medeltunga och tunga REE (fig. 37D). Detta kan indikera ökad halt av granat i källbergarten då trenden är mer uttalad för proverna från den basala skjuvzonen. Samtliga bergartsled innehåller komponenter med svag eller obefintlig negativ Eu-anomali. De tydligaste Eu-anomalierna uppträder bland de 1,74–1,66 miljarder år gamla gnejserna. Skillnader i Eu-anomalimönstret speglar troligtvis



Figur 36. Spårelementdiagram (Spiderdiagram) för mafiska, kvartsfattigare bergarter (≤ 53 viktprocent SiO_2). Spårelementhalterna har normaliserats mot MORB-sammansättning enligt Pearce (1983). Färgsättningen av olika bergartsgrupper följer figur 34. Gråskuggat område i B och C motsvarar spårelementfördelning i A.

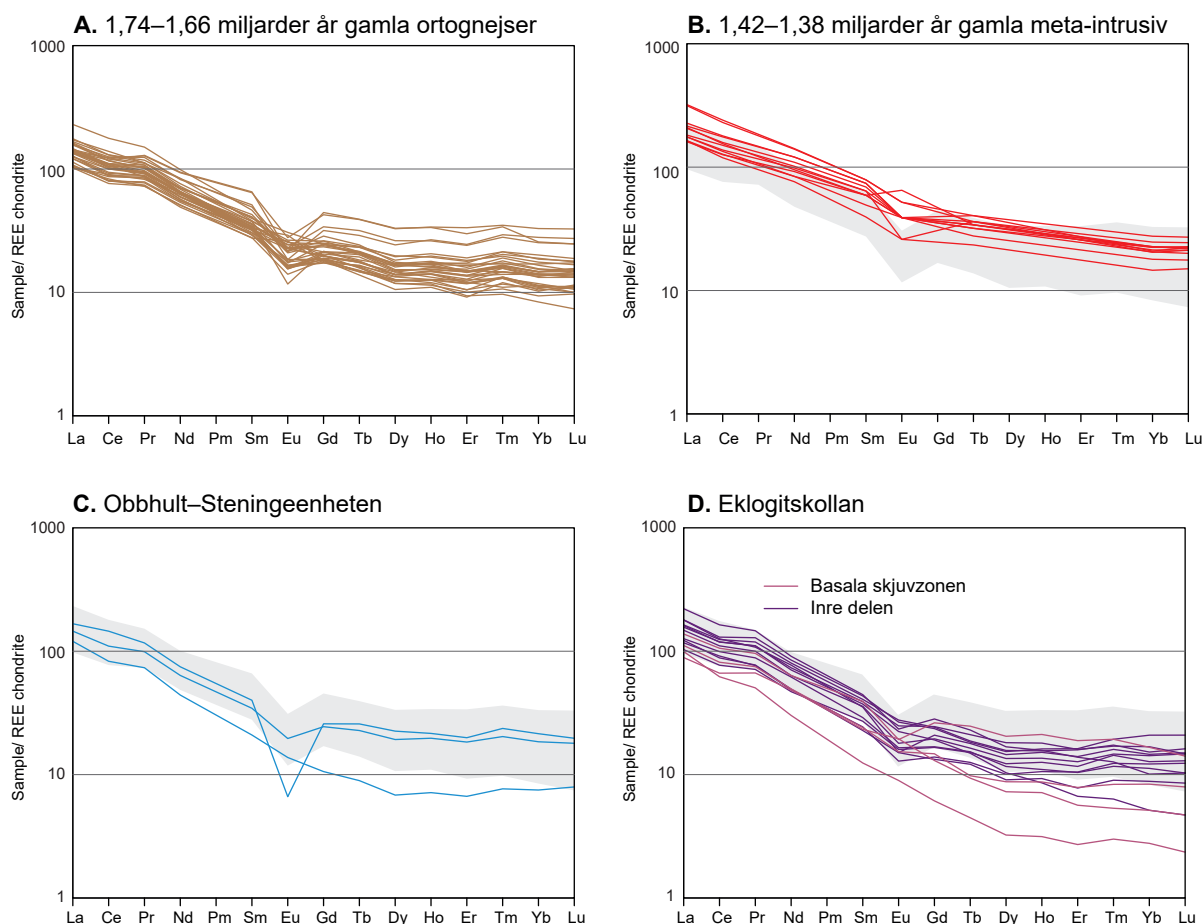
skillnader i oxidationsförhållanden vid fältspaternas kristallisation. I de undersökta bergarterna dominerar metamorfa mineral men relik t magmatisk fältspat kan förekomma i välbevarade grovkorniga led till exempel i de 1,42–1,38 miljarder år gamla kalifältspat porfyriska meta-intrusiven.

REE-mönstret för de mafiska bergarterna visar på relativt liten spridning och liknar mönstret för de intermediära och felsiska bergarterna förutom att de generellt saknar Eu-anomali (fig. 38). Större spridning framträder bland de mafiska bergarterna i Obbhult–Steningeenheten och i den basala skjuvzonen i eklogitskollan. De lagrade mafiska bergarterna i eklogitskollans basala skjuvzon har stor intern spridning i REE (fig. 38D). Ett prov från en större kompositionellt lagrad eklogitiserad kropp har distinkt utarmning av REE, medan en diskret ådrad granatamfibolit (som kan vara en kraftigt retrograderad eklogit) har förhöjda halter av REE.

Sammantaget visar spårelementmönstret samma trender som huvudelementen. Dessa trender syns i tektoniska diskrimineringsdiagram, till exempel Nb vs. Y och Ta vs. Yb (fig. 39). Detta innebär generellt överlappande signaturer bland de äldre (1,74–1,66 miljarder år gamla) ortognejserna, med en liten förskjutning av de eklogitförande gnejserna mot mindre kontinental signatur. De yngre (1,42–1,38 miljarder år gamla) ortognejserna har något förhöjda halter av alkalielement, immobila spårelement och REE. Obbhult–Steningeenheten har en relativt stor geokemisk spridning även mellan bergarter av samma typ.

Berggrundens mineralogiska och kemiska sammansättning: avvikelse från fältobservationer och bias vid provtagning

Den geokemiska klassificeringen av bergarter inom kartbladet har i vissa fall påvisat en diskrepans mot bedömningar gjorda i fält av bergartens sammansättning; de senare bygger på en uppskattning av de inbördes relativa halterna av kvarts, plagioklas och kalifältspat. Bergarter som geokemiskt klassificeras som intermediära har i fält

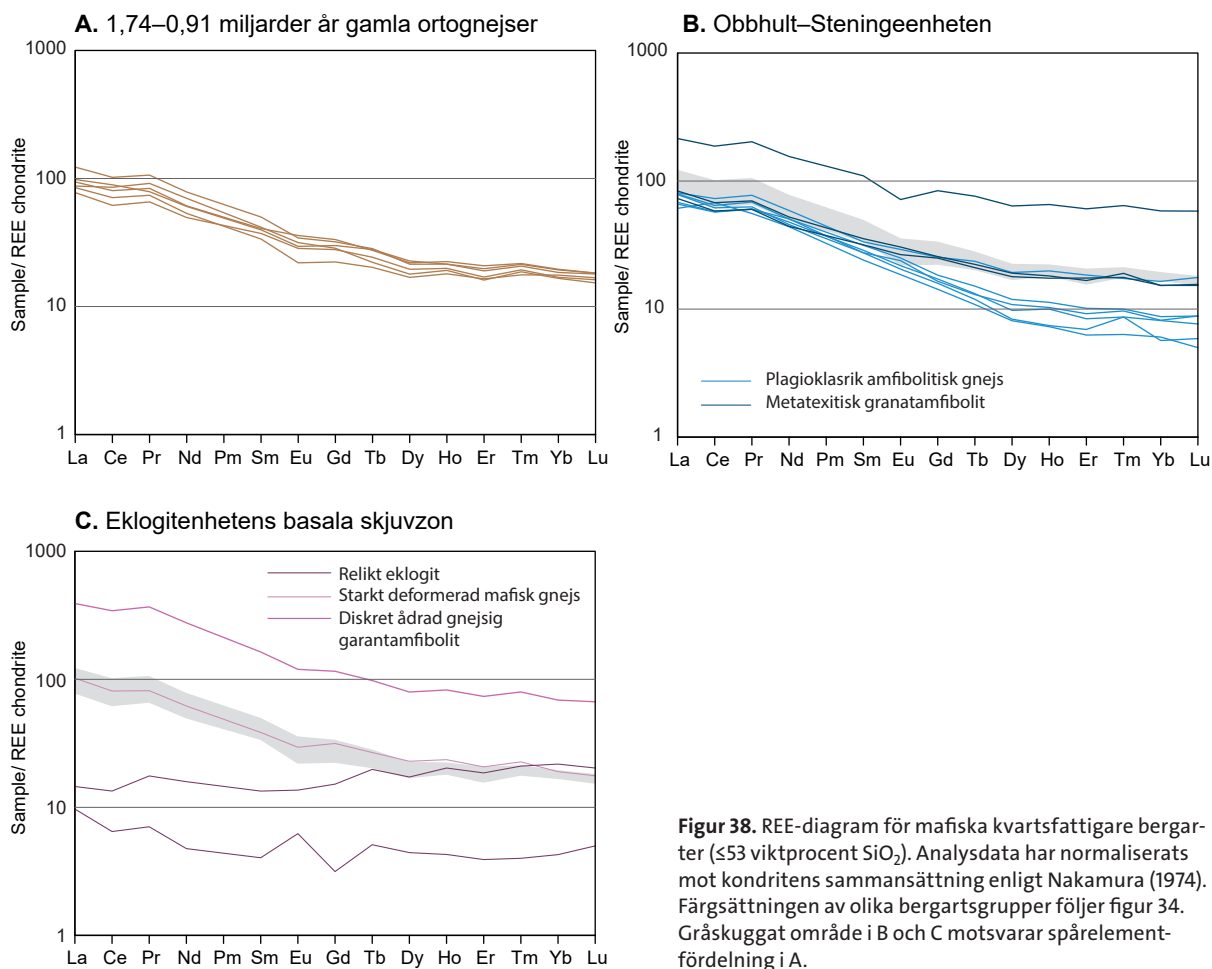


Figur 37. REE-diagram för felsiska och intermediära, kvartsrikare bergarter (>53 viktprocent SiO_2). Analysdata har normaliserats mot kondritens sammansättning enligt Nakamura (1974). Färgsättningen av olika bergartsgrupper följer figur 34. Gråskuggat område i B–D motsvarar spårelementfördelning i A.

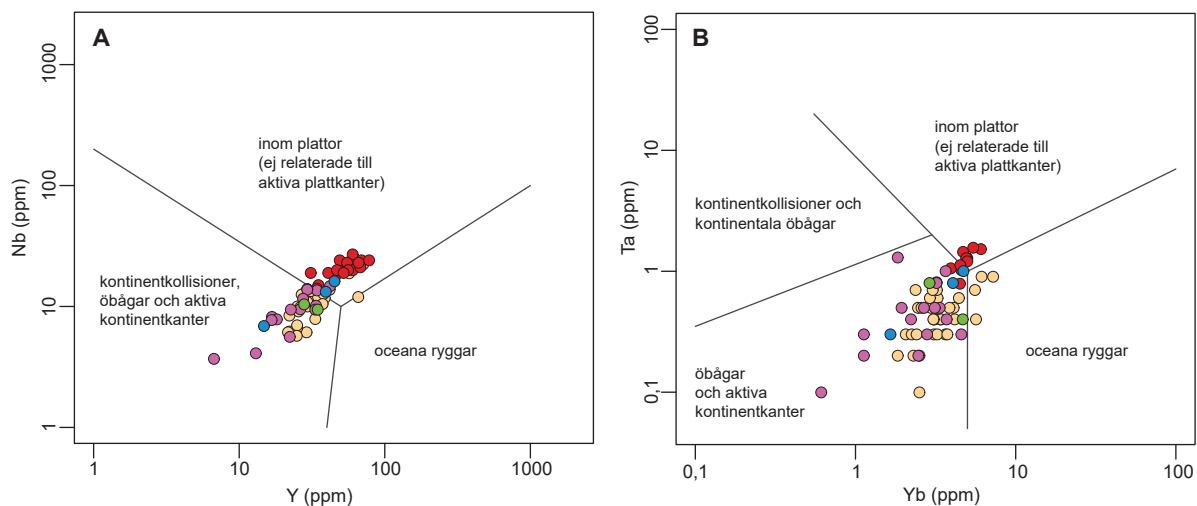
ställvis bedömts ha en kvartsrikare sammansättning och klassats som granodioritiska till granitiska bergarter. Detta kan bero på att dessa bergarter har en noterbart hög halt kalifältspat trots en låg kvartshalt, medan det i andra delar av Sverige är vanligare att högre halter av kalifältspat också associerar med högre halter kvarts. Det motsatta förhållandet, en underskattning av mängden kvarts och kalifältspat, förekommer i fältbedömningen av högtemperaturmetamorfa gnejser sammansättning (granulitiska gnejser). Gnejser med en bevarad högtemperaturmineralogi har pertitisk kalifältspat, ofta grå till mörkt lila och mycket mörk kvarts (se till exempel kvarts i fig. 27A). Ställvis har hela bergarten antagit en grön nyans (charnockitisering) vilket försvårar fältbedömningen av bergartens sammansättning (fig. 9C).

I urvalet av bergartsprov för geokemisk analys är intermediära sammansättningar något överrepresenterade, eftersom dessa bergarter uppvisar större variation i sin kemiska sammansättning och ger mer information om sammansättningstrender än strikt granitiska, kvartsrika bergarter (Rollinson 1993). Detta innebär att andelen granitiska sammansättningar är underrepresenterad i de geokemiska diagrammen i relation till deras förekomst i fält.

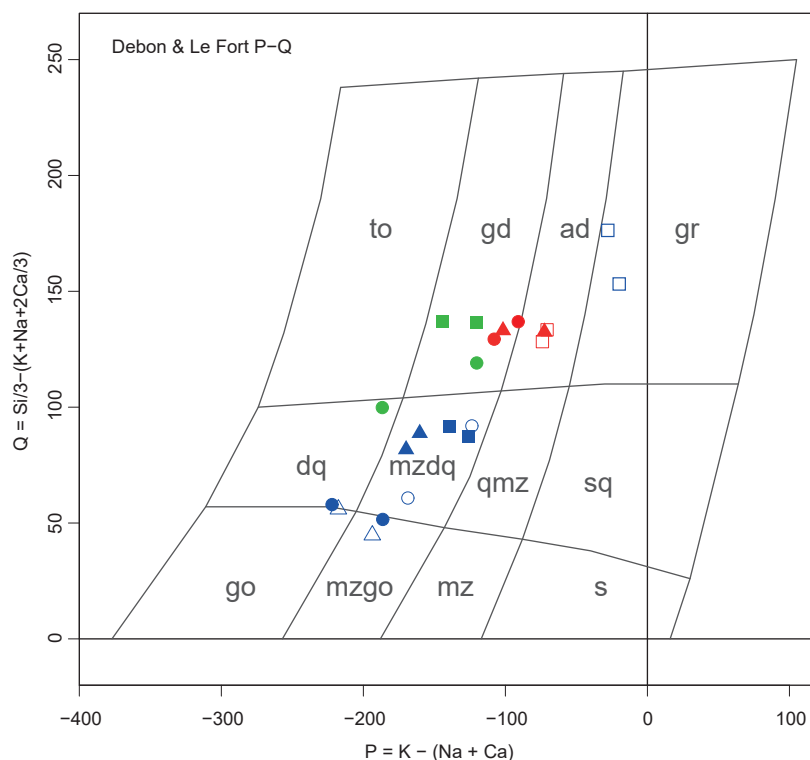
Berggrunden i projektområdet är högtmetamorf och bergarterna är därför generellt inte lämpade för modal klassificering i QAP-diagram (Streckeisen 1976), varför ingen punkträkning har genomförts. Metamorfosen har resulterat i komplexa avblandningar och sammanväxningar mellan olika mineral, till exempel pertitisk och anti-pertitisk fältspat, samt smältsegregation och elementmobilitet i olika skalor (häll- och stuffskala och tunnslip, jämför fig. 40). En ställvis bevarad grovkornig och porfyrisk textur hos vissa bergarter bidrar till heterogenitet i tunnslipskala varför geokemisk klassificering lämpar sig bäst.



Figur 38. REE-diagram för mafiska kvartsfattigare bergarter (≤ 53 viktprocent SiO_2). Analysdata har normaliserats mot kondritens sammansättning enligt Nakamura (1974). Färgsättningen av olika bergartsgrupper följer figur 34. Gråskuggat område i B och C motsvarar spårelementfördelning i A.



Figur 39. Tektoniska diskrimineringsdiagram efter (A) Shand (1943) och (B) Maniar och Piccoli (1989). Färgsättningen av olika bergartsgrupper följer figur 34.



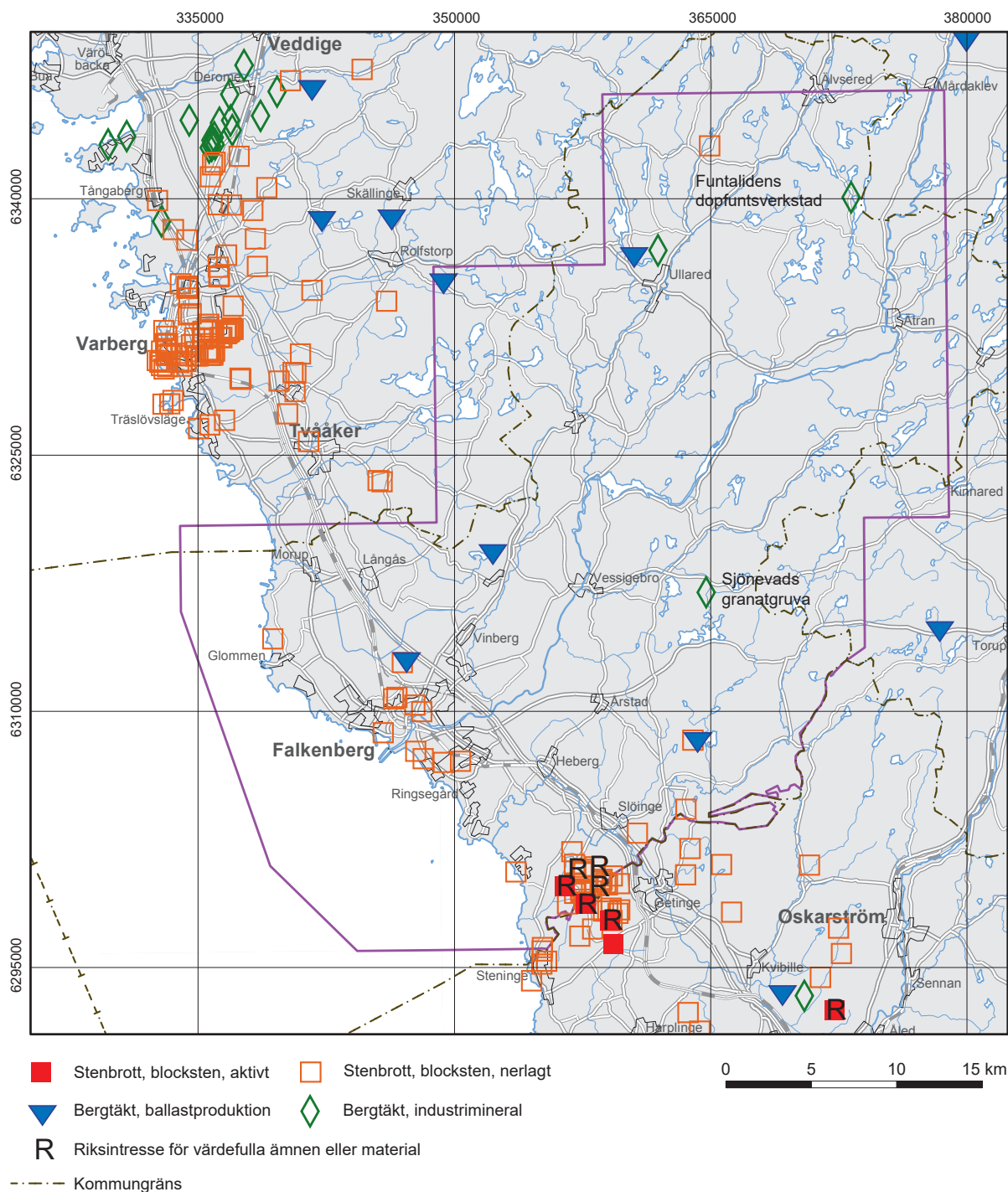
Figur 40. Bergartsklassificering enligt Debon och Lefort (1983) som åskådliggör reproducerbarheten för geokemisk analys av bergartsprov från samma bergart tagna på samma lokal (dubletter visas med samma symbol). Färgen följer petrografisk domänindelning från figur 11; rött=Hallandiangnejs, grönt=stromatisk migmatitisk gnejs från den inre delen av eklogitskollan, blått=pyroxenförande diskret ådrade till oådrade gnejser från Varbergsdomänen.

BERGGRUNDEN SOM NATURRESURS

Det finns belägg för att berggrunden i kartområdet har använts som en naturresurs åtminstone sedan sen järnålder (Mannerstrand & Lundqvist 2003). Den äldsta verksamheten rörde utvinning av granat från de granatrika sydvästsvenska amfiboliterna under forntiden då granaten var en viktig skandinavisk handelsvara (Callmer & Lundqvist 1994, Sarén-Lundahl 2011, se avsnittet *Industriella mineral* nedan). Användning av berggrunden som råvara för byggnation och tillverkning av stengods har också en lång historia, till exempel skedde det i området en betydande tillverkning av dopfuntar under 1200–1300-talet (Gunnäs 1918, Nilsson 2005, se avsnittet *Industriella bergarter* nedan). Under senare delen av 1800-talet och fram till mitten av 1900-talet hade naturstensindustrin en framträdande roll (Carlsson 2007). Gatsten och kantsten, byggnadssten, ornamentsten och gravstenar producerades framförallt i kustbygden där sjöfarten möjliggjorde transport och export (Hedström 1908, Asklund 1947, Caldenius m.fl. 1966). I de kustnära områdena pågår även i dag utvinning av natursten; i kartområdets sydvästra hörn (Svenstorp) finns ett aktivt naturstensbrott med tekniskt och estetiskt högkvalitativ Hallandiangnejs som utpekats som riksintresse för värdefulla ämnen eller material (fastighet Eftra 3:1, riksintresse 1382_2, entreprenör 2015 Hallinden Granit AB). Detta är den enda naturstensstakten i kartområdet som fortfarande är i drift. I samband med bergkvalitetsundersökningar som utförts i anslutning till karteringsprojektet (se avsnittet *Ballastproduktion* nedan) gjordes en utredning och sammanställning av Hallandiangnejsen som värdefull naturstensprodukt (Schouenborg m.fl. 2015). Resultaten från denna studie presenteras kortfattat nedan under avsnittet *Natursten*.

Undantaget naturstensbrottet vid Svenstorp (Eftra 3:1) omfattar dagens bergmaterialindustri i kartområdet fem aktiva täkter som tillverkar ballast av bergkross (fig. 41). I anslutning till kartläggningen genomfördes ett forsknings- och utvecklingsprojekt för att utreda berggrundens lämplighet för tillverkning av vägballast och betongballast. Resultaten från dessa undersökningar sammanfattas kortfattat nedan i avsnittet *Ballastproduktion*, och presenteras i sin helhet i en separat SGU-rapport (Andersson m.fl. under sammanställning). Delar av resultaten från tester av berggrundens lämplighet för vägballastproduktion presenteras av Lundgren (2012).

Berggrunden i kartområdet omfattar inga kända fyndigheter av mineral och bergarter som har kunnat utvinnas för sin metallhalt eller sitt bränslevärde. Detta beror på att berggrundens bildnings- och utvecklingshistoria inte främjat den typ av malmbildande processer som hittills har varit intressant för samhället för utvinning av



Figur 41. Kartområdet med omgivning med markeringar för lokaliseringen av aktiva och nedlagda naturstensbrott, och bergtäkter för ballastproduktion (endast aktiva) och industrimineralproduktion (alla i dag inaktiva).

metaller i större skala. Berggrunden innehåller en del enheter som skiljer sig från den typiska gnejsberggrunden i Sydvästsverige, till exempel Obbhult–Steningeenhetens bergarter. Dessa kan komma att vara av intresse för det framtida samhällets behov av mineral och bergarter med speciella tekniska egenskaper eller med speciell element-sammansättning (till exempel magnetiska egenskaper, sammansättningen av sällsynta jordartsmetaller (REE), näringsämnen för växtlighet, etc.).

Industriella mineral

Industriella mineral är mineral som saknar metall- och bränslevärde, men som utvinns för annan industriell produktion. Berggrunden i kartläggningsområdet är granatrik och granat är det enda industriella mineral som hittills haft någon större betydelse för utvinning. Särskilt omfattande är förekomsten av granat i eklogitskollans undre del (den basala skjuvzonen), och i migmatitiska granatamfiboliter som förutom granat i grundmassan även stråkvis har decimeterstora granatkristaller, i folkmun kallade granatrosor (fig. 16E och 42C och D). Granat från Sydvästsverige, och specifikt från karteringsområdet, har använts som handelsvara för utsmyckning i sakrala och regala sammanhang under sen järnålder (Callmer & Lundqvist 1994, Mannerstrand & Lundqvist 2003, Sarén Lundahl 2011). I Häståsaberget vid Sjönevad, knappt två mil öster om Falkenberg, finns Sveriges enda granatgruva (fig. 42A). Granatamfibolit med exceptionellt stora granater (>5 cm) förekommer även på andra ställen i området, och mindre skärpningar finns till exempel längs norra stranden av Björkasjö (fig. 42D, Lustorp, 6330580/354541).

Fyndigheten i Sjönevad klassades på 1940-talet som Sveriges största granattillgång och för att vara av internationellt stort värde, i paritet med världsberömda stora nordamerikanska fyndigheter (Gore Mountain, New York; Bergström 1943). Granat användes fram till 1940-talet för tillverkning av slipmedel. Under vintern 1936–37, då den spanska produktionen av granat låg nere på grund av spanska inbördeskriget, stod gruvan i Sjönevad för en stor del av världsproduktionen av granat (Bergström 1943, Andreasson 1974). Utvinning från Sjönevad pågick åren 1926–1938 (Klotz & Wennstedt Edvinger 2009). Produktionen lades ner på grund av andra världskrigets utbrott och den tekniska utvecklingen som tillät konstgjorda material i slipmedeltillverkning.

I Sydvästsverige förekommer större pegmatitiska gångar som brutits för utvinning av kvarts och fältspat. Brytningen av pegmatitgångar har varit ganska omfattande i områden strax norr om det kartlagda området, särskilt i områden i och omkring Mylonitzonen (fig. 41, till exempel Sundius 1952, Lundqvist & Wik 1998). Under kartläggningen i Falkenbergsområdet har inga större pegmatitgångar påträffats. Brytning av kvarts och fältspat har endast registrerats på en plats inom det kartlagda området där en mindre pegmatitgång bröts omkring sekelskiftet 1800–1900 (Ammås, cirka 2 km norr om Ullared, fig. 41, Lundqvist & Wik 1998). Ett försök till brytning av kvarts och fältspat under 40-talet finns kvar som en mindre skärpning längs landsvägen mellan Gunnarp och Älvsered vid avfarten till Lunnagård (6336974/361915, fig. 41). I angränsande områden i öster uppträder ställvis meterbredda rena kvartsgångar som varit av intresse för prospektering av tekniskt ren kvarts för elektronikindustrin (Shaikh m.fl. 1986, Wik m.fl. 2002). Inte heller denna typ av fyndigheter har observerats under kartläggningen av Falkenbergsområdet, möjligen delvis till följd av täta granskogsplanteringar.

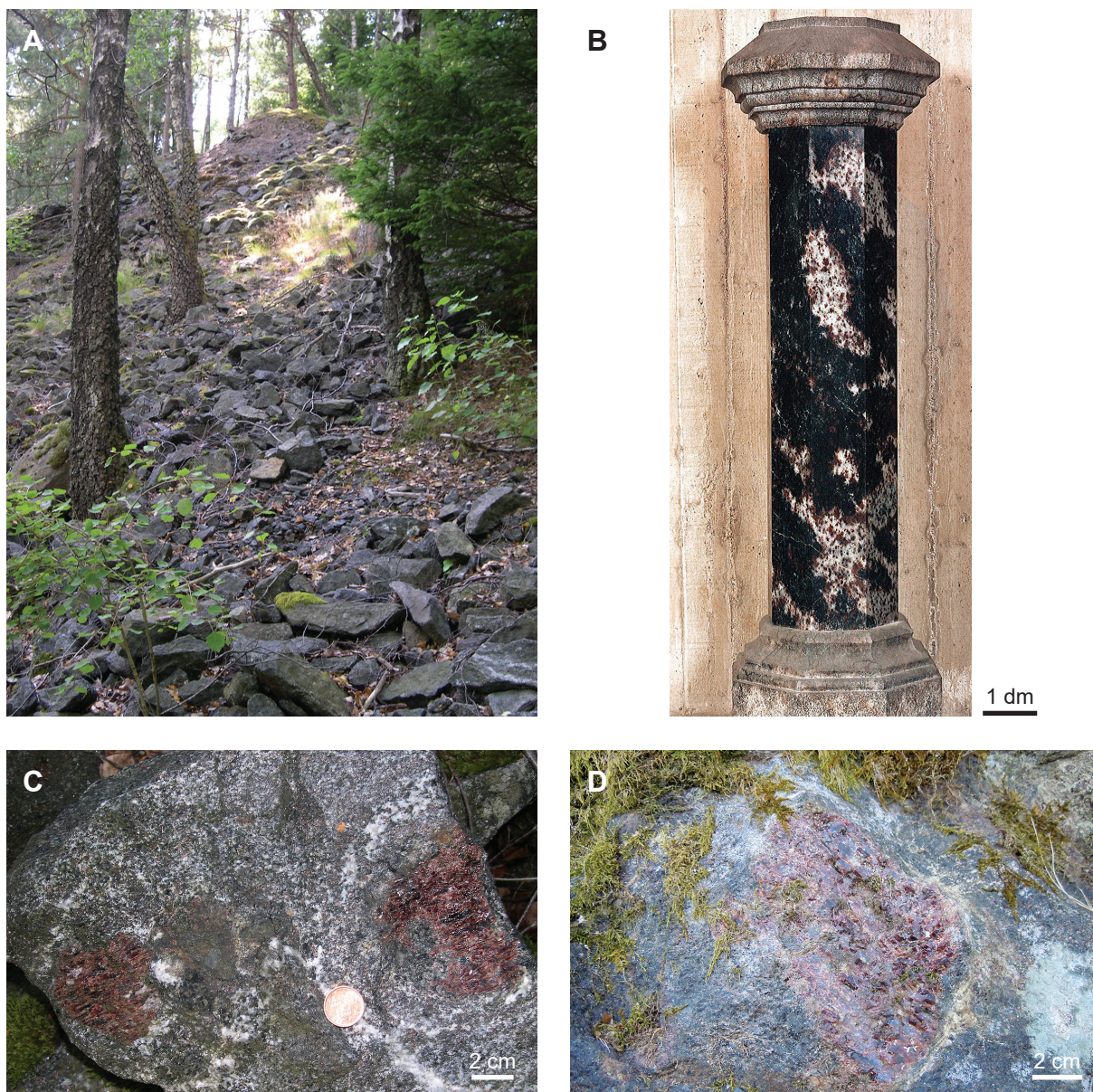
Industriella bergarter

En industriell bergart är en bergart som inte bryts för sin metallhalt eller för sitt bränslevärde. Inom kartläggningsområdet har de 1,74–1,66 miljarder år gamla gnejserna brutits för att få material till byggnader och andra anläggningar (kajer, perronger med mera), infrastruktur samt för utsmyckning (fig. 41). De utvinns antingen i stenbrott som natursten (byggnadssten och ornamentsten) eller i bergtäkter för produktion av väg- och betongballast.

Natursten

Kartläggningsområdet har en lång historia av utnyttjande av berggrunden som byggnadsråvara. Det äldsta naturstensbrottet i kartläggningsområdet är ett medeltida stenbrott från 1200-talet vid Funtaliden, en knapp kilometer nordöst om Fagereds kyrka (fig. 41, Gunnäs 1918, Nilsson 2005). Här bröts de kraftigt amfibolitiserade mafiska bergarterna i eklogitskollans inre del (granatfria medelkorniga amfiboliter, fig. 17) för tillverkning av dopfuntar (fig. 43A). Denna kraftigt amfibolitiserade, granatfria bergart är annars ovanlig i kartområdet där mafiska bergarter i regel är granatrika och ofta även innehåller pyroxen (se avsnittet *Amfiboliter och mafiska granuliter* ovan). Amfiboliten vid Fagered var mer svårarbetad än kalksten (vanlig byggnadssten under medeltiden), men mjukare och segare än omgivande berg som utgörs av sprödare eller hårdare gnejser och metamafiter. Dopfuntar från Funtaliden återfinns i ett flertal kyrkor inom cirka 20 km omkrets från Fageredsbrottet, bland annat i kyrkorna i Svartrå, Fagered, Köinge, Karl Gustav och Vapnö (Gunnäs 1918).

Den mest omfattande produktionen av natursten från kartläggningsområdet ägde rum mellan åren 1880–1930 (Carlsson 2007). Det är också den epok då den svenska bergmaterialindustrin utvecklades och stod på topp, huvudsakligen som ett resultat av industrialiseringen och urbaniseringen. Samhället hade behov av byggnads-



Figur 42. Exempel på industriell användning av metatexitiska granatamfiboliter. **A.** Varphögarna vid granatgruvan i Sjönevad (6317065/364799, CHM092009). Foto: C. Möller. **B.** Piedestal tillverkad av Hertings stensliperi och utställd vid Allmänna konst- och industriutställningen i Stockholm 1897. Fotografiet taget vid nuvarande uppställningsplats på SGUs huvudkontor i Uppsala. **C.** Jättegranater med koronor av leukosom i fast klyft vid granatgruvan i Sjönevad (samma lokal som i A). **D.** Jättegranat i anslutning till äldre skärpning vid Björkasjö (Lustorp, 6330580/354541, IML100208).

material till kanaler, hamnar, husgrunder och broar samt slitstarka material för vägbanor. För det senare ändamålet var de hårdare och mer slitstarka sydvästsvenska gnejserna konkurrenskraftiga i jämförelse med kontinentens huvudsakligen sedimentära och betydligt mjukare bergarter. I kartläggningsområdet har naturstensproduktionen till största delen omfattat brytning av olika typer av granitiska till granodioritiska gnejser, medan mörkare grå intermediära sammansättningar har brutits i mindre skala (Lundqvist & Wik 1998). De mörkare grå och ställvis charnockitiska gnejserna kunde bland annat användas som markörer i vägbanor vid gatstenssättning (Asklund 1947). Undantaget från dominansen av gnejs är brytning av metatexitisk granatamfibolit i Falkberget, norr om Ätran i Falkenbergs tätort. Bergarten karaktäriseras av plagioklas- och granatrika, decimeterstora oregelbundna segregationer (leukosom) i en mörk hornbländerik grundmassa. De tekniska och estetiska egenskaperna tillät tillverkning av större slipade och polerade föremål, till exempel urnor, piedestaler och gravvårdar, som utfördes på plats av Hertings stensliperi (Lundbohm 1891, Svedmark 1893). På Sveriges geologiska undersöknings huvudkontor



Figur 43. A. Påbörjad medeltida så kallad dopfuntscuppa i amfibolit utställd i ett friluftsmuseum vid det gamla stenbrottet i Funtaliden, Fagered (6343035/364967, FHM101076). Foto: F. Hellström. **B.** Linsågade väggar i Hallandagnejs i naturstensbrottet i Svenstorp. Produktion av råblock (Eftra 3:1, Hallinden granit). Foto: Linda Lundgren. **C.** Krossbergstäkt i Stavsjö, nordost om Falkenberg, som i dag är den största producenten av ballastmaterial i kartområdet. Produktionen omfattar både väg- och betongballast. Täkten drivs av Släryd Grus och Entreprenad AB.

i Uppsala står två piedestaler tillverkade av just denna metatexitiska granatamfibolit och av Hertings stensliperi (fig. 42 och 43). Piedestalerna var bland annat utställda vid den Allmänna konst- och industriutställningen 1897 (Stockholmsutställningen) som hade som syfte att visa upp det bästa av svensk industriproduktion (Erdman 1897).

Inom kartområdet skedde den mesta produktionen av natursten i ett område mellan Falkenberg i norr och Steninge i söder, med centrum i trakten av Skrea och i Vastadalens bergsryggar mellan Slöinge och Steninge (fig. 41, Hedström 1908, Caldenius m.fl., 1966). Produktionen var till en början exportinriktad och omfattade huvudsakligen gatsten, men även betydande mängder blocksten, ballast, byggnadssten, gravsten och monumentsten (Andersson 1911). Stenindustrin spelade en viktig roll för försörjningen i kustkommunerna under slutet av 1800-talet. Den anses ha bidragit till industrialiseringen av Halland och till att utvandringen hejdades (Carlsson 2007). Under kartläggningen av de kustnära delarna av projektområdet kan det konstateras att nästan alla större blottingar av berggrunden bär spår av någon form av stenbrytning. Detta indikerar att småskalig verksamhet, som kan ha omfattat en eller ett par stenhuggare, måste ha varit mycket omfattande. I de sydvästligaste delarna av kartområdet var täktverksamheten mycket utbredd, framförallt i Vastaddalen (se sidan 41 i Caldenius m.fl. 1966). Spåren efter verksamheten är tydlig både i form av märken efter brytning i fast klyft och i de stora mängder restmaterial som lämnats kvar i anslutning till stenbrotten. Efterfrågan på gatsten minskade i takt med att nya bygg- och anläggningsmaterial som asfalt och betong började användas. Efter en viss uppgång i produktionen i slutet av 1920-talet var stenindustrin under nedläggning under 1930-talets svåra ekonomiska förutsättningar (Carlsson 2007). Viss aktivitet pågick fram till 1950-talet.

Under 1970- och 80-talen nyöppnades ett antal stenbrott i kartområdets södra delar och områden söderut i Halmstads kommun. Produktionen är i dag nästan helt mekaniserad med få anställda och minimala sprängningsarbeten; uttag av råblocken sker med linsågning och det är uteslutande ljust rödgrå till gråröd (granitisk till granodioritisk) Hallandagnejs som bryts (se Schouenborg m.fl. 2015). I kartområdet är i dag bara ett naturstensbrott i drift. Det ligger nära kommungränsen i sydväst och producerar råblock för vidare förädling på annan ort.

Den årliga produktionen är omkring 8000 ton. Produkten säljs i förädlad form som byggnadssten under namnet Hallandia (Svenstorp) och används för tillverkning av fasader, golv, bänkskivor, markbeläggning och gravvårdar.

Ballastproduktion

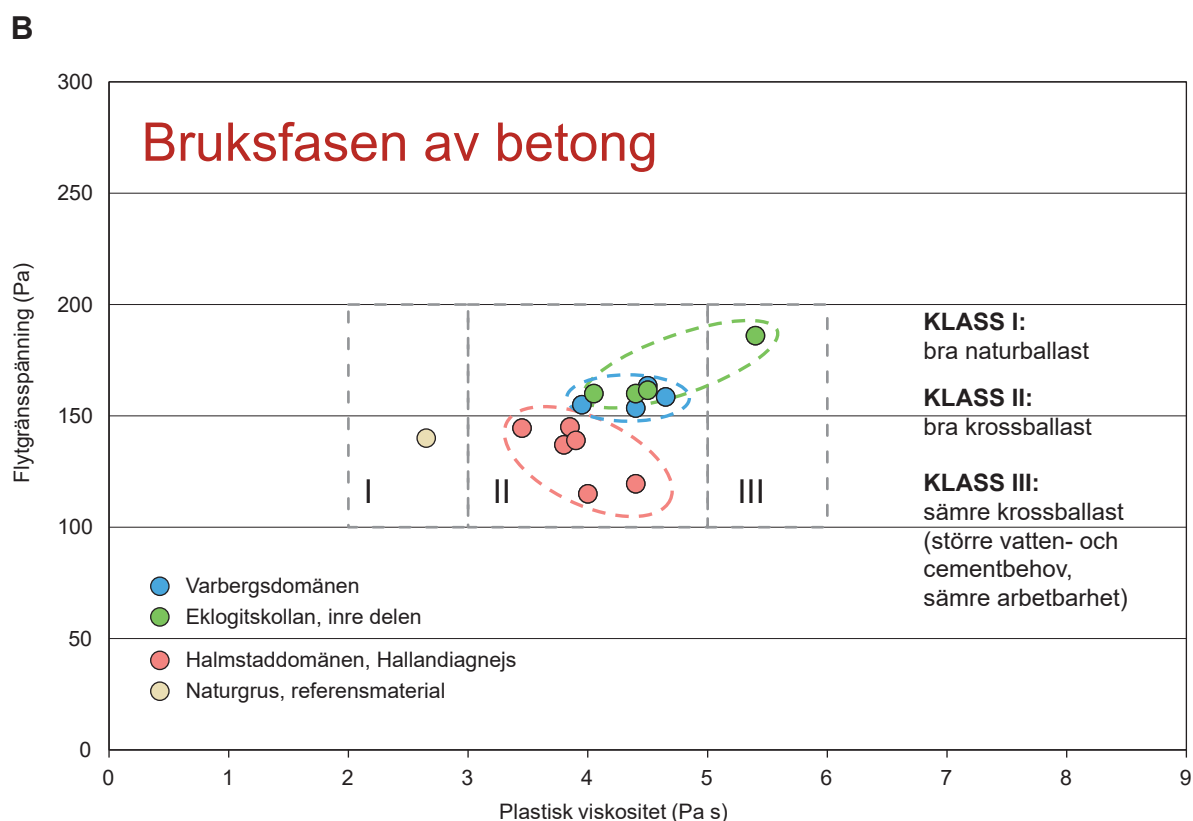
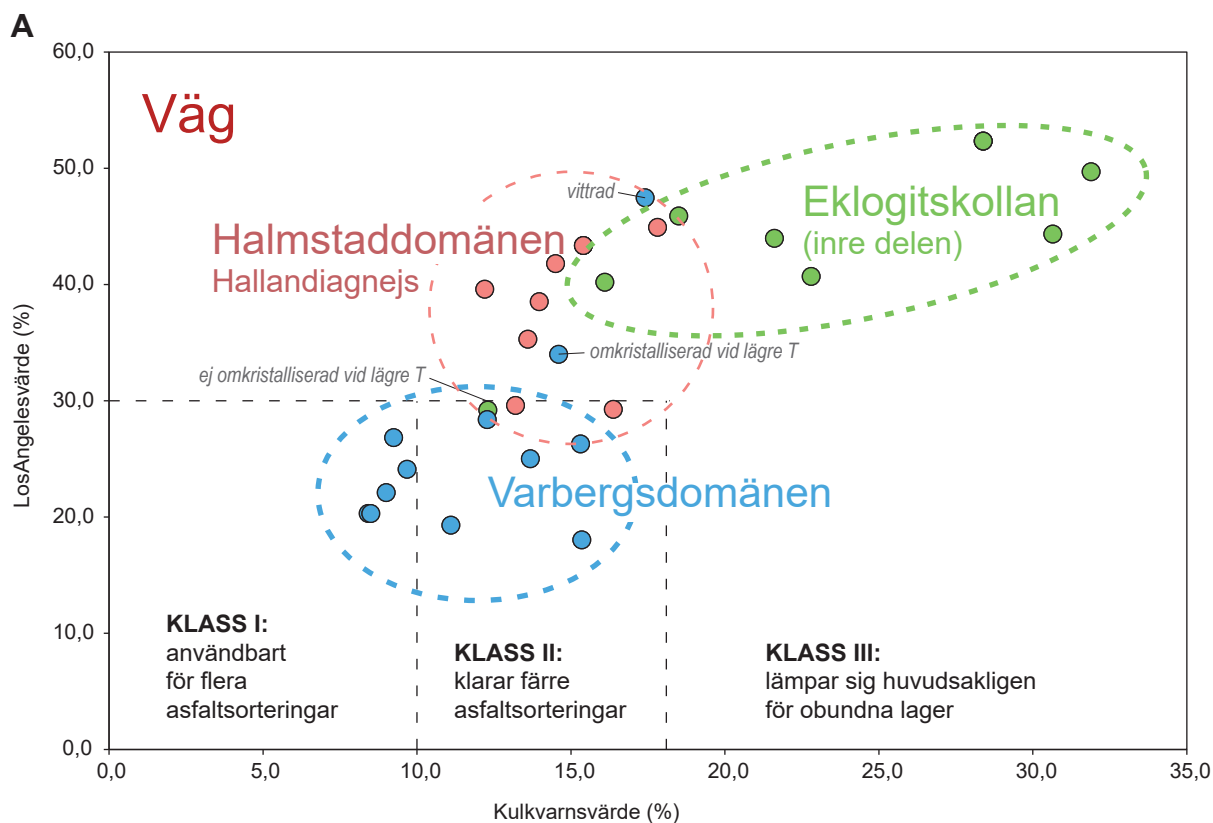
Bergmaterialindustrin i området domineras i dag helt av ballastproduktion genom krossning av fast berg (fig. 41). Produktionsutvecklingen drivs framförallt av behovet att ersätta användningen av naturgrus (se Göransson 2011). Krossbergsballast produceras i dag i fem täkter inom kartområdet och omfattar mestadels tillverkning av vägballast, en mindre del används som betongballast. I dag är det huvudsakligen olika varieteter av 1,74–1,66 miljarder år gamla felsiska gnejser av granitisk till kvartsmonzodioritisk sammansättning som bryts. Undantaget är bergtäkten i Obbhult (fastighet Mute 4:1 och Stenaljung 1:10, entreprenör 2015 Släryd grus & entreprenad AB) där man bryter en litologiskt heterogen, bandad bergartssekvens som består av 1,42–1,38 miljarder år gamla amfibolitiska gnejser med inslag av grovkornig anortosit och norit (lager och boudiner), samt kvartsfältspatgnejs och mindre förekomster av leukokratisk granit (Steninge–Obbhultenhetens bergarter).

De stora mineralogiska och texturella variationerna mellan olika berggrundsdomäner inom undersökningsområdet (se beskrivningen av petrografiska domäner i avsnittet *Metamorfos* ovan) återspeglas tydligt i berggrundens lämplighet för ballasttillverkning (Lundgren 2012, Andersson m.fl. under sammanställning). Resultaten från petrografiska och tekniska undersökningar av berggrunden i kartområdet sammanfattas kortfattat nedan och åskådliggörs översiktligt i figur 44.

Berggrunden i kartområdets nordvästra delar (Varbergsdomänen) domineras av endast diskret ådrade gnejser med en förhållandevis låg halt hydrerade mineral som biotit och amfibol. Texturen är generellt ojämnkornig, korngränserna relativt ojämna, och fältspaterna ofta sammanväxta. Dessa egenskaper gör att materialet har hög nötningsbeständighet och ett gott fragmenteringsmotstånd. Bergkrossmaterialet har goda egenskaper för tillverkning av vägballast som enligt SGUs klassning av bergmaterial motsvarar klass 1 till 2 med värden på nötningsbeständighet (kulkvarnsvärden) mellan 8 och 17 procent och fragmenteringsmotstånd (Los Angelesvärde) mellan 17 och 30 procent. Som tydlig kontrast har samtliga prov av de kraftigt migmatitiska gnejserna i de interna delarna av eklogitskollan låg motståndskraft mot fragmentering (Los Angelesvärden över 40 procent) och sex av åtta prover har mycket låg nötningsbeständighet med kulkvarnsvärden över 22 procent (fig. 44). De kraftigt uppsmälta gnejserna har relativt hög andel hydrerade mineral och innehåller bitvis en hel del biotit samt lite muskovit. De kännetecknas vidare av rakare korngränser (mer polygonala texturer), är mer jämnkorniga och saknar generellt sammanväxta fältspater. De senare har i stället välutvecklad gallerstruktur (tvillingbildning), typisk för mikroklin. Samtliga prov från den inre delen av eklogitskollan hamnar i klass 3 enligt SGUs klassning av bergmaterial, vilket omfattar de bergarter som är sämst lämpade för ballasttillverkning (se Göransson 2011). Inom ramen för bergkvalitetsundersökningarna gjordes även tester av berggrundens lämplighet som ballastmaterial för tillverkning av bruksfasen av betong. Med undantag för en biotitrik, migmatitisk gnejs från den inre delen av eklogitskollan hamnar alla testade prover från kartområdet i Cement- och betonginstitutets klass 2, vilket motsvarar ett bra krossballastmaterial (fig. 44). De bästa resultaten från bruksreologitesterna erhöles av prov från olika typer av Hallandagnejs. Detta kan bero på att Hallandagnejsen har lägre biotithalt än de migmatitiska gnejserna i eklogitskollans inre delar, och en lägre flisighet och kantighet hos partiklarna i finfraktionen än de biotitfattiga gnejserna i Varbergsområdet med sammanväxt fältspat.

Mellan åren 2009 och 2015 har även betydande mängder så kallat entreprenadberg använts för ballasttillverkning i samband med byggande av nya parkeringsanläggningar vid Gekås köpcenter i Ullared. Två huvudtyper av bergarter dominerar i den nya parkeringsanläggningen:

1. Metatexitisk granatamfibolit, ställvis mycket granatrik samt lokalt med höga halter grön klinopyroxen. Lokalt förekommer även ortopyroxenförande leukosom.
2. Leukokratisk granitisk gnejs. Sidoberget till amfibolit och leukogranitisk gnejs utgörs av kraftigt deformerad, distinkt litologiskt bandad, ställvis mylonitisk gnejs av granitisk till granodioritisk sammansättning, med underordnade inslag av mörkare, kvartsfattigare sammansättningar.



Figur 44. Resultat från bergtekniska undersökningar i Falkenbergsområdet. Analysdata presenteras i Andersson m.fl. (under sammanställning). Läge och symbol för provpunkter följer kartan i figur 36. **A.** Fragmenteringsmotstånd (Los Angelesvärde, %) och nöttningsbeständighet (Kulkvarnsvärde, %). Indelning i kvalitetsklasser följer SGUs standard för vägballast enligt Göransson (2011). **B.** Resultat från bruksreologiska tester av ballast för bruksfasen av betong utförda av CBI. Flytgränsspänning (Pa) mot Plastisk viskositet (Pa s). Indelning i kvalitetsklasser följer Lagerblad m.fl. (2011).

REFERENSER

- Ahl, M., Bergman, S., Bergström, U., Eliasson, T., Ripa, M. & Weihed, P., 2001: Geochemical classification of plutonic rocks in central and northern Sweden. *Rapporter och meddelanden 106*. Sveriges geologiska undersökning, 82 s.
- Andersson, T., 1911: *Sveriges granitindustri*. Gustaf Lidströms boktryckeri, Stockholm, 229 s.
- Andersson, J., 1996: Sveconorwegian influence on the ca. 1.36 Ga old Tjärnesjö granite, and associated pyroxene bearing quartz-monzonites in southwestern Sweden. *Magisteruppsats, Lunds universitet nr 67*, 26 s.
- Andersson, J., Söderlund, U., Johansson, L. & Möller, C., 1999: Sveconorwegian (-Grenvillian) deformation, metamorphism and leucosome formation in SW Sweden, SW Baltic Shield: constraints from a Mesoproterozoic granite intrusion. *Precambrian Research 98*, 151–171.
- Andersson, J., Möller, C. & Johansson, L., 2002: Zircon chronology of migmatite gneisses along the Mylonite Zone (S. Sweden): a major Sveconorwegian terrane boundary in the Baltic Shield. *Precambrian Research 114*, 121–147.
- Andreasson, G., 1974: *Sveriges enda gruva på granat*. Hallandsbygd 15. Mellersta Hallands hembygds-krets, 41–45.
- Andreasson P.-G. & Rodhe, A., 1992: The Protogine zone. Geology and mobility during the last 1.5 Ga. *TR 92-21*, Svensk kärnbränslehantering AB.
- Andreasson P.-G. & Rodhe, A., 1990: Geology of the Protogine Zone south of Lake Vättern, southern Sweden: a reinterpretation. *Vol. 112:2*, Geologiska föreningens i Stockholms förhandlingar, 107–125.
- Bergerat, F., Angelier, J. & Andreasson, P. G., 2007: Evolution of paleostress fields and brittle deformation of the Tornquist Zone in Scania (Sweden) during Permo-Mesozoic and Cenozoic times. *Tectonophysics, 444(1)*, 93–110.
- Bergman, S., Stephens, M.B., Andersson, J., Kathol, B. & Bergman, T., 2012: Bedrock map of Sweden, scale 1:1 million. *Sveriges geologiska undersökning K423*.
- Bergström, G., 1943: Ett försök att utnyttja svensk granat som slipmedel. Teknisk tidskrift. Bergvetenskap. *Häfte 6, årgång 73*, B45–B52.
- BFS, 1990: Nybyggnadsregler ändringar. Boverkets författningssamling. *BFS 1990:28, Nr. 2*. Stockholm, 41 s. ISBN 91-38-12510-2.
- Caldenius, C., Larsson, W., Mohrén, E., Linnman, G. & Tullström, H., 1966: Beskrivning till kartbladet Halmstad. *Sveriges geologiska undersökning Aa 198*, 138 s.
- Callmer J. & Lundqvist, L., 1994: Slöingeprojektet 1993. Fortsatt undersökning på en fyndplats med guldgubbar. *Fornvännen 89*, 257–263.
- Carlsson, G., 2007: Stenindustri. / B. Spade och G. Carlsson (red.): *Avtryck från en epok. Industriminnen i Halland*. Länsstyrelsen i Halland, 344 s. ISBN 978-91-976699-0-0.
- Cawood, P.A., Nemchin, A.A., Strachan, R., Prave, T. & Krabbendam, M., 2007: Sedimentary basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia. *Journal of the Geological Society of London 164*, 257–275.
- Christoffel, C., Connelly, J.N. & Åhäll, K.-I., 1999: Timing and characterization of recurrent pre-Sveconorwegian metamorphism and deformation in the Varberg-Halmstad region of SW Sweden. *Precambrian Research 98*, 173–195.
- Ekdahl, M., 2001: En studie av Källsjögranitens deformationsmönster och kinematiska indikatorer inom Ullaredszonen. *Magisteruppsats, Lund universitet nr 132*, 38 s.
- Eklöv-Pettersson, A., 2013: Monazit i Obbhultkomplexet: en pilotstudie. *Kandidatuppsats nr 350, Lunds universitet*, 16 s.
- Eliasson, T., Lundqvist, I. & Persson, P.-O., 2007a: Sm–Nd analysis of a post-kinematic metadolerite in the Getinge area in the Eastern Segment of the Sveconorwegian Province, south-west Sweden. In F. Hellström & J. Andersson (eds.): Results from radiometric datings and other isotope analyses 1. *SGU-rapport 2007:28*. Sveriges geologiska undersökning, 31–32.
- Eliasson, T., Lundqvist, I. & Persson, P.-O., 2007b: Sm–Nd analysis of a post-kinematic metadolerite in the Halmstad area in the Eastern Segment of the Sveconorwegian Province, south-west Sweden. In F. Hellström & J. Andersson (eds.): Results from radiometric datings and other isotope analyses 1. *SGU-rapport 2007:28*. Sveriges geologiska undersökning, 29–30.
- Eneroth, E. & Johansson, L., 2008: Determination of magnetic properties of rocks by analysis of demagnetization curves: Hematite-ilmenite bearing rocks from SW Sweden. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth 113*. B02101, doi:10.1029/2007JB004736.

- Erdmann, E., 1897: Sveriges geologiska undersöknings utställning vid allmänna konst- och industriutställningen i Stockholm 1897. *Sveriges geologiska undersökning C 174*, 55 s.
- Fredrich, B., 2014: Metadolerites as quantitative P-T markers for Sveconorwegian meta-morphism, SW Sweden. *Magisteruppsats nr 415. Lunds universitet*, 62 s.
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. & Frost, C. D., 2001: A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11), 2033–2048.
- Gunnäs, S.P., 1918: En medeltida dopfuntsverkstad. *Fornvännen* 13, 97–104.
- Göransson, M., 2011: Ersättningsmaterial för naturgrus – kunskapssammanställning och rekommendationer för användningen av naturgrus. *SGU-rapport 2011:10. Sveriges geologiska undersökning*, 32 s.
- Hansen, E., Johansson, L., Andersson, J., LaBarge, L., Harlov, D., Möller, C. & Vincent, S., 2015: Partial melting in amphibolites in a deep section of the Sveconorwegian Orogen, SW Sweden. *Lithos*, 236, 27–45.
- Harlov, D., van der Kerkhof, A. & Johansson, L., 2013: The Varberg-Torpa charnockite-granite association, SW Sweden: mineralogy, petrology, and fluid inclusion chemistry. *Journal of Petrology* 54:1, 3–40.
- Harlov, D., van der Kerkhof, A. & Johansson, L., 2014: Localized, solid-state dehydration associated with the Varberg charnockite intrusion, SW Sweden. *Precambrian Research* 253, 50–62.
- Hedström, H., 1908: Om Sveriges naturliga byggnads- och ornamentsstenar jämte förteckning öfver de viktigaste svenska stenindustriidkande firmorna. *Sveriges geologiska undersökning C 209*, 64 s.
- Hubbard, F.D., 1975: The Precambrian crystalline complex of south-western Sweden. The geology and petrogenetic development of the Varberg Region. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 97, 223–236.
- Hubbard, F. H., 1978: Geochemistry of the Varberg granite gneisses. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100:1, 31–38.
- Jakobsson, M., Björck, S., O'Regan, M., Flodén, T., Greenwood, S.L., Swärd, H., Lif, A., Ampel, L., Koyi, H. & Skelton, A., 2014: Major earthquake at the Pleistocene-Holocene transition in Lake Vättern, southern Sweden. *Geology* 42(5), 379–382.
- Johansson, L., Lindh, A. & Möller, C., 1991: Late Sveconorwegian (Grenville) high-pressure granulite facies metamorphism in southwest Sweden. *Journal of Metamorphic Geology* 9, 283–292.
- Johansson, L., Möller, C., & Söderlund, U., 2001: Geochronology of eclogite facies meta-morphism in SW Sweden. *Precambrian Research* 106, 261–275.
- Johansson, L., Möller, C., Lundqvist, I. & Sukotjo, S., 2006: Late Sveconorwegian syntectonic migmatite formation along the eastern margin of the Eastern Segment. Southwest Sweden. Abstrakt. Bulletin of the Geological Society of Finland, Special Issue I. *Det 27e Nordiska geologiska vintermötets abstraktsvolym*, 61 s.
- Klotz, E. & Wennstedt Edvinger, B. 2009: Arkeologisk utredning och KMKB inför en planerad vindpark vid Hjuleberg, Vessige och Abilds socknar, Halland, Falkenbergs kommun, Hallands län. Arkeologisk utredning och KMKB. *Rapport från Arkeologisentrum 2009:05*. ISSN 1654-7896.
- Koistinen, T., Stephens, M. B., Bogatchev, V., Nordgulen, Ø., Wennerström, M., & Korhonen, J., (sammanställande) 2001: *Fennoskandiskasköldenkartan, skala 1:2 000 000*. Espo, Finland. Finlands geologiska undersökning, Espo; Norges geologiska undersökning, Trondheim; Sveriges geologiska undersökning, Uppsala; Ministeriet för ryska naturresurser, Moskva.
- Krehel, A.W., Johansson, L. & Hansen, E.C., 2012: The growth of epidote and titanite during upper amphibolite to lower granulite facies metamorphism in Stensjöstrand, southwestern Sweden. Geological Society of America annual meeting, 4–7 november, Charlotte, North Carolina USA, Abstracts with Programs. *Volym 44:7*, 544 s.
- Lagerblad, B., Westerholm, M. & Gram, H.E., 2011: Bergkrossmaterial som ballast i Betong. *Rapport 2011. Cement och Betonginstitutet*.
- Laroche, A., Stark, M., Johansson, L., Rhede, D. & Hansen, E.C. & Bornhorst, T.J., 2014: Hydrothermal formation of epidote in felsic compositions: examples from Sweden and northern Michigan. Geological Society of America annual meeting in Vancouver, British Columbia, Canada. Abstract volume.
- Lundberg, E. & Juhlin, C., 2011: High resolution reflection seismic imaging of the Ullared Deformation Zone, southern Sweden. *Precambrian Research* 190, 25–34.
- Lundbohm, H., 1891: *Några upplysningar om Sveriges stenindustri*. Till Sveriges geologiska undersöknings utställning i Göteborg 1891. Sveriges geologiska undersökning, Stockholm 1891, 31 s.
- Lundgren, L., 2012: Variation in rock quality between metamorphic domains in the lower levels of the Eastern Segment, Sveconorwegian Province. *Magisteruppsats nr 324, Lunds universitet*, 58 s.

- Lundqvist, I., 2008: Berggrundskartan 5B Varberg NO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning K105*.
- Lundqvist, I. & Wik, N.-G., 1998: Industriella mineral och bergarter i Hallands län. *Rapporter och Meddelanden* 96. Sveriges geologiska undersökning, 126 s.
- Lundqvist, I. & Carlsäter Ekdahl, M. 2014: Beskrivning till berggrundskartorna Halmstad–Laholm. *Sveriges geologiska undersökning K455*, 21 s.
- Maniar, P. D. & Piccoli, P. M., 1989: Tectonic discrimination of granitoids. *Geological society of America bulletin*, 101(5), 635–643.
- Mannerstrand, M. & Lundqvist, L., 2003: Garnet chemistry from the Slöinge Excavation, Halland and additional Swedish and Danish excavations—comparisons with garnet occurring in a rock context. *Journal of archaeological science*, 30:2, 169–183.
- McEnroe, S.A., Harrison, R.J., Robinson, P., Goila, U. & Jercinovic, M.J., 2001: Effect of fine-scale microstructures in titanohematite on acquisition and stability of natural remanent magnetization in granulite facies metamorphic rocks, southwest Sweden: implications for crustal magnetism. *Journal of Geophysical Research* 106, 30523–30546.
- McEnroe, S. A., Harrison, R. J., Robinson, P. & Langenhorst, F., 2002: Nanoscale haematite–ilmenite lamellae in massive ilmenite rock: an example of ‘lamellar magnetism’ with implications for planetary magnetic anomalies. *Geophysical Journal International*, 151:3, 890–912.
- Michalchuk, S.P., 2013: The Säm fold structure: characterization of folding and metamorphism in a part of the eclogite – granulite region, Sveconorwegian orogen. *Magisteruppsats nr 367, Lunds universitet*, 50 s.
- Middlemost, E. A. K., 1985: *Magma and magmatic rocks. An Introduction to Igneous petrology*. Longman Group, Storbritannien, 280 s.
- Mohammadi, S., 2014: Processing and Modeling of Gravity, Magnetic and Electromagnetic Data in the Falkenberg Area, Sweden. *Kandidatuppsats, Uppsala universitet nr 296*, 40 s.
- Möller, C., 1998: Decompressed eclogites in the Sveconorwegian (Grenvillian) orogen of SW Sweden: petrology and tectonic implications. *Journal of Metamorphic Geology* 16, 641–656.
- Möller, C., 1999: Sapphirine in SW Sweden: a record of Sveconorwegian (-Grenvillian) late-orogenic tectonic exhumation. *Journal of Metamorphic Geology* 17, 127–141.
- Möller, C., 2010: *Sten och människor – Den Halländska gnejsen*. Makadam förlag, Halmstad, 200 s.
- Möller, C. & Söderlund, U., 1997: Age constraints on the regional deformation within the eastern segment, S. Sweden: Late sveconorwegian granite dyke intrusion and metamorphic-deformational relations. *GFF*, 119:1, 1–12.
- Möller, C. & Andersson, J., 2018: Metamorphic zoning and behaviour of an underthrusting continental plate. *Journal of Metamorphic Geology*.
- Möller, C., Andersson, J., Söderlund, U. & Johansson, L., 1997: A Sveconorwegian deformation zone (system?) within the Eastern Segment, Sveconorwegian Orogen of SW Sweden – a first report. *GFF* 119, 73–78.
- Möller, C., Andersson, J. & Claeson, D., 2005: Ion probe dating of complex zircon in high-grade gneisses, southeast Sveconorwegian Province: constraints for metamorphism and deformation. *SGU-rapport 2005:35*. Sveriges geologiska undersökning, 59 s.
- Möller, C., Andersson, J., Lundquist, I. & Hellström, F., 2007: Linking deformation migmatite formation and U–Pb geochronology in polymetamorphic orthogneisses, Sveconorwegian province, Sweden. *Journal of Metamorphic Geology* 25, 727–750.
- Möller, C., Andersson, J., Dyck, B. & Lundin, I. A., 2015a: Exhumation of an eclogite terrane as a hot migmatitic nappe, Sveconorwegian orogen. *Lithos*, 226, 147–168.
- Möller, C., Andersson, J. & Rebay, G., 2015b: Very-high temperature metamorphism and deformation in the footwall of an eclogite-bearing nappe, Sveconorwegian orogen: meta-leuconoritic and sapphirine-bearing rocks of the Obbhult complex, SW Sweden. *Abstract T14A-070*, AGU Joint Assembly, Montreal, 3–7 maj 2015.
- Mozafari Amiri, N., 2013: Field relations, petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. *Magisteruppsats nr 329, Lunds universitet*, 55 s.
- Nakamura, N., 1974: Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38:5, 757–775.
- Nilsson, I.-M., 2005: Funtaliden och Fageredsfuntarna. / P. Nicklasson (red.): Medeltid i Ätrådalen – en resa i fyra etapper. *Lund studies in medieval archaeology* 37, 39–63.

- Pearce, J.A., 1983: *Role of the subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins*. / C.J. Hawkesworth och M.J. Norry, (red.): Continental basalts and mantle xenoliths. Nantwich, Cheshire: Shiva Publications, 230–249.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983.
- Petersson, A., Scherstén, A., Andersson, J., Möller, C., 2015: Zircon U–Pb and Hf-isotopes from the eastern part of the Sveconorwegian Orogen, SW Sweden: implications for the growth of Fennoscandia. *Geological Society, London, Special Publications* 389:1, 281–303.
- Piñán Llamas, A., Andersson, J., Möller, C., Johansson, L., Hansen, E., 2015: Polyphasal foreland-vergent deformation in a deep section of the 1 Ga Sveconorwegian orogen. *Precambrian Research* 266, 121–149.
- Richter, B., 2009: *Basische Einheiten im Östlichen Segment der Sveconorwegischen Provinz (Schweden)*. Diplomkartierung. Universitetet i Potsdam. Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, 55 s.
- Rimša, A., Johansson, L. & Whitehouse, M.J., 2007a: Constraints on incipient charnockite formation from zircon geochronology and rare earth element characteristics. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 154:3, 357–369.
- Rimša, A., Whitehouse, M. J., Johansson, L., & Piazzolo, S., 2007b: Brittle fracturing and fracture healing of zircon: An integrated cathodoluminescence, EBSD, U-Th-Pb, and REE study. *American Mineralogist*, 92(7), 1213–1224.
- Rollinson, H., 1993: *Using geochemical data*. Longman Group Ltd, 352 s.
- Sarén Lundahl, J., 2011: *Röd Glöd – Granaternas betydelse under yngre järnålder med fokus på Gamla Uppsala*. Studentuppsats, Uppsala universitet, 45 s.
- Sawyer, E.W., 2008: Atlas of Migmatites. *The Canadian Mineralogist Special Publication* 9. National Research Press, Ottawa, Canada, 371 s.
- Shaikh, N. A., Samuelsson, L., Sundberg, A. & Wik, N.-G., 1986: Malmer, industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län. *Rapporter och meddelanden* 45, Sveriges geologiska undersökning, 191 s.
- Schouenborg, B., Andersson, J., Göransson, M. & Lundqvist, I., 2015: The Hallandia gneiss, a Swedish heritage stone resource. *Geological Society of London, Special Publications*, 407:1, 35–48.
- Seitz, S., 2009: *Sveconorwegisches Orogen – Östliches Segment, Südwest Schweden*. Diplomkartierung. Universitetet i Potsdam. Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, 39 s.
- Shand, S. J., 1943: *Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-deposits, with a Chapter on Meteorites*. New York, John Wiley & Sons, 444 s.
- Stephens, M. B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning* Ba 58, 259 s.
- Streckeisen, A., 1976: To each plutonic rock its proper name. *Earth-science reviews* 12:1, 1–33.
- Sundius, N., 1952: Kvarts, fältspat och glimmer samt förekomster därav i Sverige. *Sveriges geologiska undersökning* C 520, 231 s.
- Svedmark, E., 1893: Beskrifning till kartbladet Varberg. *Sveriges geologiska undersökning* Ab 13, 82 s.
- Söderlund, U., Jarl, L.G., Persson, P.O., Stephens, M.B. & Wahlgren, C.-H., 1999: Protolith ages and timing of deformation in the eastern, marginal part of the Sveconorwegian orogen, southwestern Sweden. *Precambrian Research* 94, 29–48.
- Söderlund, U., Möller, C., Andersson, J., Johansson, L. & Whitehouse, M., 2002: Zircon geochronology in polymetamorphic gneisses in the Sveconorwegian orogen, SW Sweden: ion microprobe evidence for 1.46–1.42 and 0.98–0.96 Ga reworking. *Precambrian Research* 113, 193–225.
- Söderlund, U., Isachsen, C.A., Bylund, G., Heaman, L., Patchett, P.J., Vervoort, J.D. & Andersson, U.B., 2005: U–Pb baddeleyite ages and Hf–Nd isotope chemistry constraining repeated mafic magmatism in the Fennoscandian Shield from 1.6 to 0.9 Ga. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150, 174–194.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M., 1985: *The continental crust. Its composition and evolution*. Blackwell Science Publication, Oxford, 312 s.
- Tual, L. 2016: *P–T evolution and high-temperature deformation of Precambrian eclogite, Sveconorwegian orogen*. Doktorsavhandling, Lunds universitet.
- Tual, L., Piñán-Llamas, A. & Möller, C., 2015: High-Temperature Deformation in the Basal Shear Zone of an Eclogite-Bearing Fold Nappe, Sveconorwegian Orogen, Sweden. *Precambrian Research* 265, 104–120.
- Tual, L., Pitra, P. & Möller, C., 2017: P–T evolution of Precambrian eclogite in the Sveconorwegian orogen, SW Sweden. *Journal of Metamorphic Geology*, 35(5), 493–515.

- Tual, L., Möller, C. & Whitehouse, M. J., 2018: Tracking the prograde P–T path of Precambrian eclogite using Ti-in-quartz and Zr-in-rutile geothermobarometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 173(7), 56.
- Ulmus, J., Andersson, J. & Möller, C., 2015: Hallandian 1.45 Ga high-temperature meta-morphism in Baltica: P–T evolution and SIMS U–Pb zircon ages of aluminous gneisses, SW Sweden. *Precambrian Research* 265, 10–39.
- Wahlgren, C.-H., Curtis, P., Hermanson, J., Forssberg, O., Öhman, J., Fox, A., La Pointe, P., Drake, H., Triumf, C.-A., Mattsson, H., Thunehed, H. & Juhlin, C., 2008: Geology Laxemar. Site descriptive modeling SDM-Site Laxemar. R-08-54, Svensk Kärnbränslehantering AB, 410 s.
- Whitney, D. L. & Evans, B. W., 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95:1, 185–187.
- Wikman, H., 1998: Beskrivning till berggrundskartorna Växjö SV och SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 188 och 200*, 90 s.
- Wikman, H., 2000: Beskrivning till berggrundskartorna 5E Växjö NO och NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 201 och 216*, 108 s.
- Wik, N.-G., Lundqvist, I., Selinus, O., Sivhed, U., Sundberg, A. & Wikström, A., 2002: Malmer, industriella mineral och bergarter i Västra Götalands län, inklusive kommunerna Habo och Mullsjö. *Rapporter och meddelanden 108*, Sveriges geologiska undersökning, 231 s.
- Wik, N.-G., Andersson, J., Bergström, U., Claeson, C., Juhujuntti, N., Kero, L., Lundqvist, L., Möller, C., Sukotjo, S. & Wikman, H., 2006: Beskrivning till regional berggrundskartan över Jönköpings län. *Sveriges geologiska undersökning K 61*, 60 s.
- Wik, N.-G., Claeson, C., Bergström, U., Hellström, H., Jelinek, C., Juhujuntti, N., Jönberger, J., Kero, L., Lundqvist, L., Sukotjo, S. & Wikman, H. 2009: Beskrivning till regional berggrundskarta över Kronobergs län. *Sveriges geologiska undersökning K 142*, 60 s.
- Åhäll, K.-I. & Connelly, J.N., 2008: Long-term convergence along SW Fennoscandia: 330 m.y. of Proterozoic crustal growth. *Precambrian Research* 161, 452–472.
- Åhäll, K.-I., Samuelsson, L. & Persson, P.-O., 1997: Geochronology and structural setting of the 1.38 Ga Torpa granite; implications for charnockite formation in SW Sweden. *GFF* 119, 37–43.