

Beskrivning till

Bergkvalitetskartan för E20 Hova–Vårgårda



Stefan Persson, Ulf Bergström, Thomas Eliasson,
Christina Nysten, Gunnar Rauséus, Lena Lundqvist,
Cecilia Jelinek & Paula Lindgren

www.sgu.se

K 757

ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-89421-70-7

Författare: Stefan Persson, Ulf Bergström, Thomas Eliasson,
Christina Nysten, Gunnar Rauséus, Lena Lundqvist, Cecilia Jelinek
och Paula Lindgren

Granskad av: Mattias Göransson

Ansvarig enhetschef: Lena Yotis

Redaktör: Johan Sporrang

Omslagsbild: Bergtäkt utanför Hova. Utsikt över bergväggar med
brant stupande ljusa och mörka gnejser. Bilden visar på att här kan
det finnas flera olika bergarter inom ett och samma begränsade
område.

Fotograf: Paula Lindgren

Utgivningsår: 2025

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

Innehåll

Inledning	4
Bergkvalitetskartor	5
Metodik	6
Geologi	8
Geologisk översikt	8
Beskrivning av bergarter	10
Deformationszoner, sprickor och övriga strukturer	41
Tekniska analyser	43
Allmänna kriterier för bergkvalitet	43
Berggrundens strålningsegenskaper	48
Petrografisk analys	52
Petrografi av bergarter i projektområdet	52
Alkalisilikareaktivitet	56
Albitisering	56
Miljökritiska ämnen	57
Sammanställning av resultat och klassning	59
Klassning av ballast för väg	60
Klassning av ballast för järnväg	60
Klassning av ballast för betong	63
Bergkvalitetskartor	65
Referenser	69
Bilaga 1. Tekniska analyser	72
Bilaga 2. Strålning och andra geofysiska egenskaper	76
Bilaga 3. Modalanalyser	80
Bilaga 4. Miljöelement	83
Bilaga 5. Opaka mineral	88
Bilaga 6. Petrografisk information	91

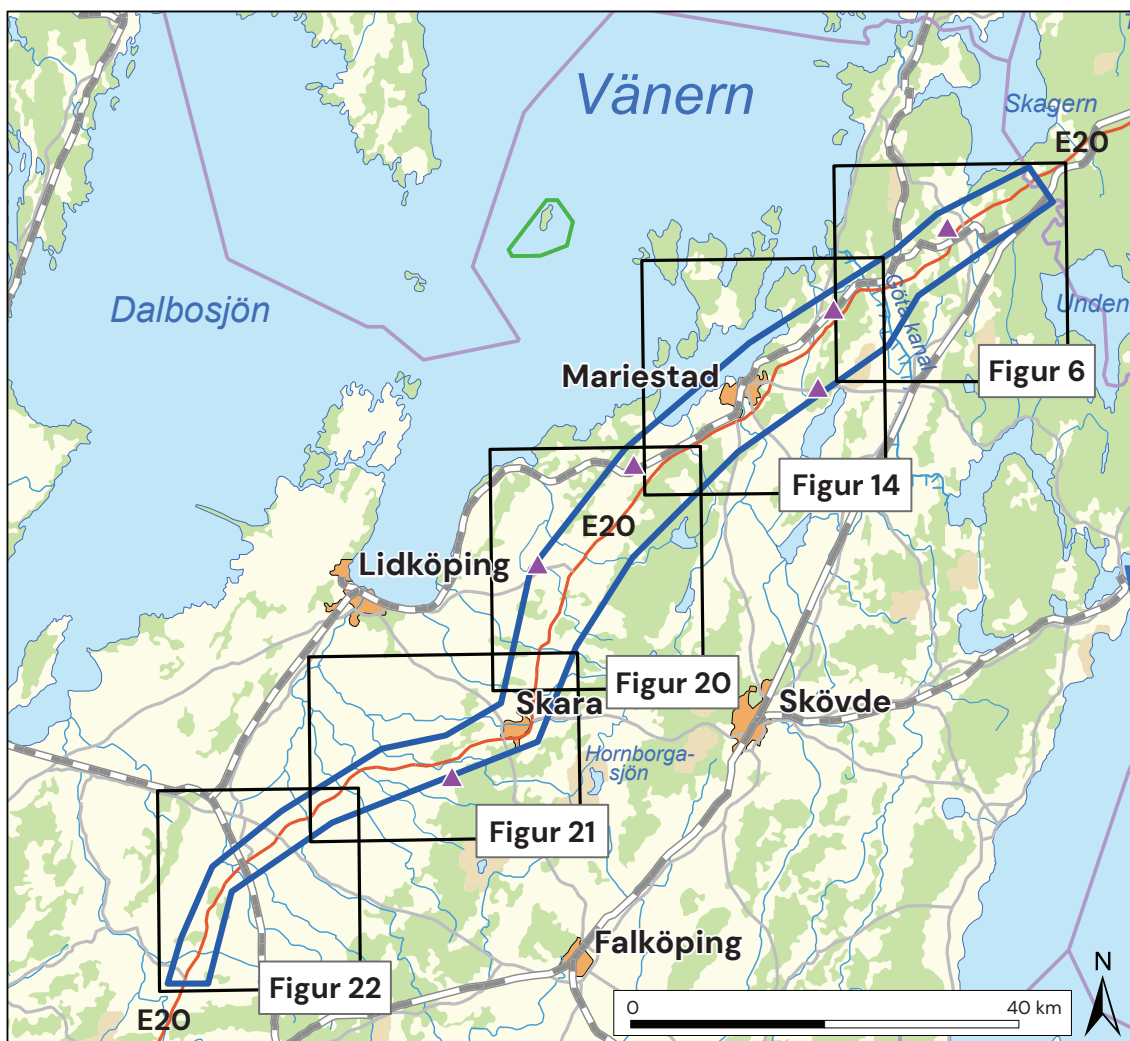
Inledning

Denna rapport är en beskrivning till bergkvalitetskartan för projektområdet E20 Hova–Vårgårda som är en infrastrukturkorridor längs med Europaväg 20 (E20) mellan Hova och Vårgårda på Vänerns östra sida i Västra Götalands län (fig. 1). En bergkvalitetskarta är en tematisk produkt som visar berggrundens lämplighet som ballast till ändamål för väg, järnväg och betong. Den kompletterar Sveriges geologiska undersöknings (SGU) berggrundskarta och tas fram i skala 1:50 000.

För att kunna göra en bergkvalitetskarta är en berggrundskarta i samma skala ett nödvändigt underlag. I stora delar av projektområdet saknades moderna berggrundskartor i rätt skala och befintligt kartmaterial baserades på kartläggning som i många fall är över hundra år gammal. Den nyare kartläggningen som fanns tillgänglig var översiktlig och hade stora behov av uppdatering. Därför genomfördes både mer grundläggande berggrundskartläggning och bergkvalitetsundersökningar inom projektet. Dessa undersökningar innefattade bland annat värdering av berggrundskartläggningen, provtagning av bergarter för analys av deras bergtekniska egenskaper samt strålningsmätning. Resultaten omfattar en berggrundskarta och tre olika bergkvalitetskartor för ballastanvändning till väg, järnväg och betong. Utöver själva bergkvalitetskartan har resultaten vidare använts till att uppgradera befintliga kartor och databaser över berggrund och geofysik på SGU.

Projektet startade 2018 och slutfördes under 2025. Projektområdet ligger inom en geologisk litotektonisk enhet som kallas Östra segmentet och karakteriseras av olika typer av ortognejser knutna till den svekonorvegiska bergskedjebildningen som ägde rum för cirka 1,07–0,90 miljarder år sedan (Bingen m.fl. 2021). Inom projektområdet finns det sex aktiva bergtäkter av varierande storlek (fig. 1). Rapportens omslagsbild kommer från Blombacka bergtäkt utanför Skara och visar en berggrund med flera olika bergarter inom ett och samma begränsade område.

Syftet med det här projektet är att ta fram underlag till grund för materialförsörjningsplanering i Västra Götalands län. Bristen på sådana underlag har uppmärksamrats i anslutning till pågående bygg- och anläggningsarbeten längs med E20. Sträckan här är hårt trafikerad med stor andel tunga fordon och har drabbats av flera olyckor. Vägen byggs nu därför om till mötesfri väg för att öka framkomligheten och trafiksäkerheten. Det berggrundsgeologiska underlaget i stora delar av området var av översiktlig karaktär, och tekniska analyser saknades tidigare helt i SGU:s databaser. Resultaten från berggrunds- och bergkvalitetsundersökningarna kommer därför inte bara att underlätta för Trafikverket och entreprenörer under ombyggnaden av E20, utan även finnas som framtida underlag för både tillståndsgivande myndigheter och branschen vid exempelvis nyetablering av bergtäkter. Dessutom är resultaten viktiga underlag för SGU i dialog med myndigheter och industri.



Figur 1. Översiktskarta som visar projektområdet för E20 Hova–Vårgårda (blå polygon). Hela området har delats in i fem olika sektioner för att underlätta redovisningen av berggrundsgeologin (se figurerna 6, 14, 20, 21 och 22). Bergtäkter inom området är markerade med lila trianglar.

Bergkvalitetskartor

Ballastmaterial som används för byggnation och anläggningsverksamhet är en samhällsstrategiskt viktig produktråvara och utgör i dag den råvara vi använder mest av i Sverige näst efter vatten. Produktionen av ballastmaterial i Sverige uppgick under 2023 till cirka 87 miljoner ton (Göransson & Norström 2024).

SGU:s bergkvalitetskartor är att betrakta som ett översiktligt underlag, eller en modell, för prospektering av bergmaterial och för planering av materialförsörjningen i en region. Med utgångspunkt från den geologiska kartan genomförs provtagning för att kunna klassa det geologiska materialet med avseende på teknisk kvalitet, naturlig bakgrundsstrålning, samt mineralogiska och geokemiska egenskaper. Bergkvalitetsinformationen ska underlätta en utvärdering av berggrundens bästa användningsområde för väg-, järnvägs- och betongballast. Med hjälp av den geologiska kartan kan bergmaterialets sammansättning och egenskaper extrapoleras ut från provtagningsplatserna till ett större område. Berget delas in i fyra olika kvalitetsklasser med avseende på användningsområde; 1) mycket god, 2) god, 3) mindre god och 4) dålig.

Eftersom kraven mellan de olika användningsområdena skiljer sig åt innebär det att alla bergarter inte nödvändigtvis är optimala för samtliga användningsområden. För ballast till vägändamål är det i första hand krav på bergets hållfasthetsegenskaper som är avgörande, till skillnad från ballast för betongändamål där främst bergmaterialets strålning och kemiska reaktivitet kravsätts. Grad av föroreningar, exempelvis tungmetaller, är en annan viktig parameter.

Bergkvalitetskartan är kopplad till databaser som även ger punktvisa uppgifter om berggrundens tekniska egenskaper och dess naturliga gammastrålning i form av radiumhalt (radiumindex) och aktivitetsindex. Alla uppgifter om bergkvalitet och analysvärden samlas i SGU:s bergkvalitetsdatabas. För information om bergarter, strukturer och deformationszoner hänvisas till SGU:s berggrunds-databas. Informationen är tillgänglig som databaser, samt visas i SGU:s kartvisare *Berggrund 1:50 000–1:250 000* (www.sgu.se).

Syftet med SGU:s bergkvalitetskartor och -information är förutom att stärka kunskapsunderlaget för prospekteringsverksamhet av ballast, att också fungera som ett geologiskt underlag till den kommunala och regionala översiktsplaneringen för en hållbar och effektiv framtida användning av bergmaterialet, till exempel genom att hitta rätt material till rätt ändamål, vilket kan förlänga livslängden på konstruktioner och infrastruktur. Bergkvalitetskartorna är även tänkta som hjälp för att underlätta övergången från naturgrusproduktion till krossbergsproduktion. Naturgrus betraktas i dag som en ändlig resurs, och naturgrusavlagringarna utgör samtidigt en viktig källa för vår dricksvattenförsörjning i dag och i framtiden. Av den anledningen strävar samhället mot en minskning av grusanvändningen (MB 9 kap. 6 §).

Geolagret (sgu.se)

Här kan du söka efter, beställa och i vissa fall ladda ned SGU:s produkter. Här finns våra kartor, rapporter, broschyrer med mera. Du hittar även information om våra databaser och länkar till våra karttjänster.

SGU:s kartvisare (sgu.se)

I tjänsten Kartvisaren kan du bland annat se vilka områden vi kartlagt, vilken typ av information vi har samlat in och få fram översiktliga bilder över berg, jord och grundvatten. Du kan också skriva ut egna kartor i pdf-format.

Metodik

Bergkvalitetskartan i projektet E20 Hova–Vårgårda omfattar en avlång sammanhängande yta på cirka 750 km² som sträcker sig längs en cirka 10 km bred och cirka 120 km lång infrastrukturkorridor utmed E20 mellan Hova och Vårgårda (fig. 1). De större orterna i området inkluderar Skara och Mariestad.

För att kunna framställa en bergkvalitetskarta fanns det behov av att först uppdatera den berggrundsgeologiska informationen i området. Därför gjordes både berggrunds- och bergkvalitetsundersökningar inom projektet. Det finns redan ett modernt berggrundsunderlag i skala 1:50 000 i den nordligaste delen av projektområdet, mellan Hova och Lyrestad (Wahlgren m.fl. 2005). Alldeles söder om projektområdet (i Alingsås–Vårgårda) finns också modern berggrundsinformation (SGU:s kartdatabas). Det finns vidare en modern jordartskarta (Engdahl 2002, 2018, Pässe & Pile 2016, Lindén 2010, 2011) inom hela området som har varit till stor nytta för att lokalisera berghällar. Hålltätheten inom delar av området är gles. Runt Skara är det ett cirka 150 km² stort område som praktiskt taget saknar håll, och kring Vara är det mycket gles mellan hållarna i ett område på cirka 30 km². En gles hålltäthet leder till att det blir svårare att kartlägga berggrunden. För att öka kunskapen i sådana områden kan det behövas kärnbörningar. Moderna bergkvalitetsunderlag med relevans för projektområdet

E20 Hova–Vårgårda omfattar Göransson och Shomali 2009 (Borås), Ahl och Kubler 2008 (Örebro), Göransson m.fl. 2007 (Alingsås).

I samband med kartläggning av berggrunden under perioden 2017–2023 valdes lämpliga platser ut för bergkvalitetsprovtagning av de olika bergarterna i området. Detta var ofta där berg loss hållits för att anlägga vägar eller på andra platser där det fanns friska blottningar av ovittrat berg. För de bergtekniska analyserna som utfördes på SGU:s berglaboratorium i Uppsala behövdes närmare 80 kg bergmaterial från varje provtagningspunkt. Provtagningen gjordes med hjälp av slägga och spett. Vid bergkvalitetsprovtagning är det viktigt att provmaterialet är representativt för bergmaterialet vid provlokalen. I projektet har totalt 76 bergprover samlats in för bergteknisk analys. Koordinater har mätts med GPS och anges enligt koordinatsystemet SWEREF99 TM. I de fall berggrunden är heterogen med avseende på mineralogi och kornstorlek, kan mer än ett prov ha tagits på någon provtagningsplats. Se vidare i avsnittet *Tekniska analyser*.

Utöver provtagning för bergteknisk kvalitet ingår provtagning för litogeokemi, petrofysik (densitet, specifik vikt och magnetiska egenskaper) och strålningsmätningar. Dessutom har polerade tunnslip framställts av provmaterialet från varje provplats. Petrografisk analys och modalanalys av mineralfördelningen har sedan utförts för varje tunnslip. Studier har gjorts av bland annat kornstorlek, kornstorleksvariation, korngränser och mikrosprickor. Specifik opakmikroskopiering har också utförts, framför allt för att dokumentera förekomsten av sulfidmineral. För att undersöka ballastens lämplighet som betong har det genom ytterligare mikroskopiering av tunnslipen gjorts en uppskattning av potentiell risk för alkalisilika-reaktivitet (ASR). Se vidare i avsnittet *Petrografisk analys*.

För ballast som ska användas till husbyggnadsbetong gäller dessutom att bergets innehåll av naturligt radioaktiva ämnen behöver kontrolleras. Detta innebär att strålning är av betydelse vid klassning av bergmaterial för betong. Ska betongen inte användas till husbyggnad eller andra ändamål som kan utsätta personer för exponering har strålningen mindre betydelse. För att identifiera områden med förhöjda halter av naturligt radioaktiva ämnen utförs gammastrålningsmätningar inte bara vid provlokalerna, utan även på lämpliga berghällar över hela projektområdet. Resultaten redovisas i form av halterna av kalium, uran och torium, samt aktivitetsindex och radiumindex, och dessa finns redovisade i SGU:s databaser samt i bilaga 2. Medelvärde för de olika bergartsgrupperna visas i tabell 3. Se vidare i avsnittet *Berggrundens strålningsegenskaper*.

Bergkvalitetskartan sammanställs slutligen med utgångspunkt i de berggrundsgeologiska fältobservationerna, de tekniska och petrografiska analyserna och strålningsmätningarna. SGU:s befintliga berggrundskartor och geofysiska kartor används också vid framtagandet av bergkvalitetskartan. SGU:s geofysiska kartor, som bland annat visar magnetfältet samt berggrundens elektriska ledningsförmåga (VLF), används tillsammans med Lantmäteriets nationella höjddatamodell (LiDAR) för att identifiera och tolka berggrundens strukturer och svaghetszoner i berget. Utifrån dessa underlag och de olika kriterier som kan ställas på bergarternas egenskaper görs sedan en ytmässig generalisering av bergkvaliteten med en tolkning av berggrundens lämplighet som ballast till ändamål för väg, järnväg och betong.

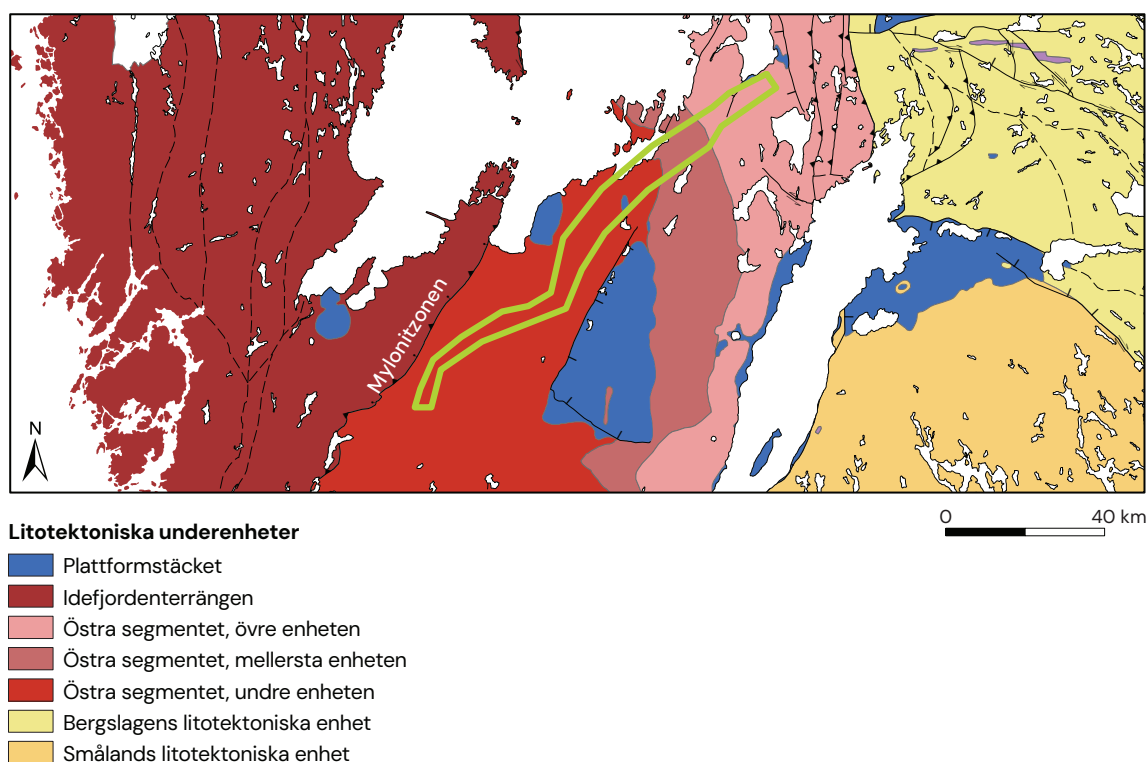
Tekniska analysvärden redovisas med medelvärden i tabell 2 samt i bilaga 1 och petrografiska data redovisas i bilaga 3. Övriga resultat finns i SGU:s databaser.

Geologi

Geologisk översikt

Projektområdet ligger inom en geologisk litotektonisk enhet som kallas Östra segmentet (fig. 2) och som karakteriseras av olika typer av ortognejser som deformerades och metamorfoserades under den svekonorvegiska orogenesen (bergskedjebildningen) som ägde rum för cirka 1,07–0,90 miljarder år sedan (Bingen m.fl. 2021). Protoliterna (ursprungsbergarterna) till dessa gnejser är i första hand magmatiska djupbergarter, med sammansättningar som motsvarar främst granit, granodiorit till granit och kvartsmonzodiorit, med underordnade mafiska och monzonitiska bergarter. Dessa olika bergartstyper återfinns i dag relativt metamorft opåverkade i det så kallade Transskandinaviska magmatiska bältet (TMB) som ligger längre åt öster, i den enhet som kallas Smålands litotektoniska enhet i figur 2. TMB-bergarterna bildades för 1,87–1,66 miljarder år sedan, varav de som utgör Östra segmentets protoliter domineras av bergarter i den yngsta gruppen som särskiljs under namnet TMB2 och som intruderade för cirka 1,74–1,66 miljarder år sedan (Stephens m.fl. 2020).

Östra segmentet definieras som de delar av TMB-berggrunden som blev deformerade och regionalmetamorft omvandlade under den svekonorvegiska orogenesen för cirka 1,0 miljarder år sedan. Beroende på till vilken grad eller intensitet som bergarterna blev metamorft omvandlade, delas Östra segmentet in i tre delar som kallas för den övre, mellersta och undre nivån (fig. 2), där den undre nivån omfattar de mest påverkade delarna. Den övre nivån har utsatts för lägst



Figur 2. Projektområdets (ljusgrön polygon) geografiska och tektoniska läge i sydöstra Sveriges berggrund. Projektområdet sträcker sig över Östra segmentets undre, mellersta och övre nivåer (enheter). Österut finns Smålands litotektoniska enhet som tillhör TMB, och i nordöst finns Bergslagens litotektoniska enhet. I väster gränsar Östra segmentet till Idefjordenterrängen, med Mylonitzonen som skiljelinje (källa: SGU:s databaser). För vidare information om litotektoniska enheter, se Stephens m.fl (2020).

grad av metamorf omvandling, grönskiffer- och epidot–amfibolitfacies, med huvudsakligen förskiffring och skjuvzoner som strukturella element. Gnejsighet, även veckning och mer genomgående plastiska deformationszoner, förekommer i Östra segmentets mellersta nivå. Relikta primära magmatiska texturer och mineral kan förekomma, men omkristallisation och tillväxt av metamorfa mineral är vanligt. Högst grad av metamorf omvandling finns i den undre nivån, som består av ådrade gnejser där ursprunget kan vara svårt att urskilja, och där bevarade texturer och mineral är mycket sällsynta. I undre nivån finns också pegmatitiska–granitiska intrusioner som bildats i samband med den höga metamorfosen.

Även om uppdelningen av Östra segmentet i princip följer en kontinuerlig regional-metamorf zonerings, har gränsdragningen mellan de olika nivåerna kopplats till urskiljbara diskontinuiteter. Gränsen mellan övre och mellersta nivå följer en deformationszon längs gränsen mellan TMB1 (som består av bergarter som är cirka 1,8 miljarder år) och TMB2 (som är 1,7 miljarder år). Gränsen mellan undre och mellersta nivå är svårare att urskilja eftersom samma bergarter förekommer i bägge nivåerna. Gränsen följer en tydlig gradient i den karta som visar variationen i magnetfältet (fig. 35), där plastiska deformationszoner observerats nära Mariestad. I den mellersta nivån öster om gränsen uppträder mafiska bergarter med delvis bevarad mineralogi, något som inte förekommer i den undre nivån på andra sidan gränsen åt sydväst.

Området Östra segmentet kan i en regional mening delas i större detalj i olika zoner beroende på metamorf utveckling vilket kan ha stor betydelse för bergarternas egenskaper inklusive parametrar viktiga för bergkvalitet (Möller & Andersson 2018, Urueña 2023). Den svekonorvegiska orogenesen är sannolikt ett resultat av en kollision mellan två kontinentala plattor där Östra segmentet utgjorde den plattan som trycktes ner under en annan kontinent; där den andra, västra kontinenten motsvaras av det som kallas Idefjordenterrängen. Östra segmentet och Idefjordenterrängen är separerade av Mylonitzonen som är en storskalig deformationszon (fig. 2). Det finns olika tolkningar av hur den svekonorvegiska orogenesen gick till; för vidare läsning om detta, se exempelvis Stephens och Wahlgren (2020).

I den berggrund som blev deformerad under den svekonorvegiska orogenesen finns det spår av en äldre, stor tektonisk händelse, den Hallandiska orogenesen, som tidsmässigt lagts vid cirka 1,4 miljarder år sedan. Detta leder till att bergarterna kan ha mer komplexa strukturer och att det kan vara svårt att särskilja strukturer som bildats under olika orogeneser (Stephens & Wahlgren 2020). I området för projekt E20, där det saknas åldersdateringar, finns inga bevis för Hallandisk deformation och metamorfos, men det finns ingen anledning att tro att den saknas.

Utöver metamorfa kristallina bergarter finns det även yngre sedimentär berggrund i området. Efter den svekonorvegiska orogenesen blev kontinenten så småningom mer tektoniskt stabil och efter en mycket lång tid av vittring och erosion bildades ett peneplan (en flack erosionsyta). Peneplanet blev sedan ett underlag för sedimentär avsättning vid transgression (höjning av havsnivån) under tidsperioderna kambrium–ordovicium–silur (541–419 miljoner år sedan). De sedimentära bergarterna som bildades under den här tiden utgörs bland annat av olika kalkstenar, skifferar och sandstenar (Ahlberg m.fl. 2013). Dessa bergarter finns exponerade vid Kinnekulle och Billingen, samt vid Lugnåsberget som ligger inom projektområdet. Lugnåsberget är det minsta av de så kallade platåbergen i Västergötland. Platåbergen är platta cirka 150–200 m höga berg som består av lager av de kambrosiluriska sedimentära bergarterna där de flesta har ett täcke av diabas överst. Magman som bildade diabasen trängde upp för cirka 282 miljoner år sedan och har skyddat de yngre mjukare sedimentära bergarterna från erosion. Lugnåsberget har dock ingen bevarad diabas kvar på toppen.

Beskrivning av bergarter

De olika bergarterna inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda varierar i metamorfosgrad från hög metamorf grad i sydväst till låg metamorfosgrad i nordost. Denna gradient avspeglas i uppdelningen den undre (i sydväst), den mellersta och den övre nivån (i nordost) inom den litotektoniska enheten Östra segmentet (fig. 2). Bergarterna i undre och mellersta nivån tillhör dock samma litostratigrafiska enhet (liknande bergarter med samma bildningsålder), som i detta fall är den enhet som kallas TMB2. Detta gör att beskrivningen av bergarterna i detta avsnitt blir ganska lika för de två olika nivåerna. I den övre nivån uppträder två äldre litostratigrafiska enheter tillhörande TMB, TMB1 och TMB0. Dessa bergarter visar likheter men det finns också en del egenheter hos dessa bergarter jämfört med TMB2-bergarterna längre åt väster. I Tabell 1 finns en sammanfattning av de olika bergartstyperna inom projektområdet.

Tabell 1. Bergartstyper i projektområdet. Bergarterna är grupperade i olika grupper med unika berg-koder som baseras på bergartens tektoniska position, stratigrafiska läge och bergartstyp.

Tektonisk position	Stratigrafisk position / Ålder	Bergart	Berg-kod	Antal prov
Plattformstäck				
	(Paleozoikum)			
	Ordovicium	Ortocerkalksten	5	2
	Kambrium	Sandsten, Mickwitzia och Lingulid	8	4
	Kambrium	Alunskiffer	7	
Östra Segmentet, övre nivån				
	Cirka 1,9 miljarder år (Svekofennium)	Metagråvacka, grå, finkornig, gnejsig	11	1
	Cirka 1,8 miljarder år (TMB1)	Granit, gråröd, fint medelkornig till medelkornig, jämnkornig–ojämnkornig, gnejsig	13	3
	Cirka 1,8 miljarder år (TMB1)	Granit–syenitoid, röd–grå, ojämnkornig, gnejsig	14	2
	Cirka 1,8 miljarder år (TMB1)	Kvartsmonzonit–kvartsmonzodiorit, mörkt grå, gnejsig	15	1
	Cirka 1,85 miljarder år (TMB0)	Granit, gråröd, finkornig–fint medelkornig, jämnkornig, gnejsig	16	
	Cirka 1,85 miljarder år (TMB0)	Tonalit–granodiorit, grå, jämnkornig, gnejsig	17	
	Cirka 1,85 miljarder år (TMB0)	Ögongranit (Askersundstyp) porfyrisk, gnejsig	18	3
	Cirka 1,8 miljarder år (TMB1)	Gabbro (Lyrestadsgabbro)	19	1
	Cirka 1,85 miljarder år (TMB0)	Gabbro	20	1
Östra Segmentet, mellersta nivån				
	Cirka 1,55 miljarder år ("Hyperit")	Amfibolit	21	3
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Granit, leukokratisk, gnejsig	22	1
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Granit, gnejsig	23	8
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Granodiorit–granit, gnejsig	27	2
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Kvartsmonzodiorit, gnejsig	28	1

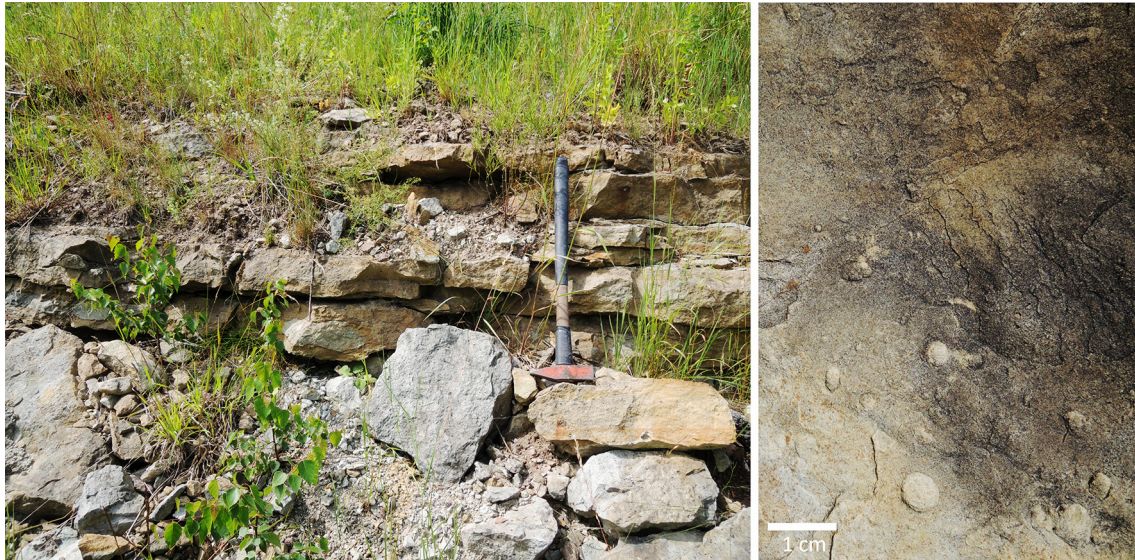
Tabell 1, forts.

Tektonisk position	Stratigrafisk position / Ålder	Bergart	Bergkod	Antal prov
Östra Segmentet, undre nivån				
	Cirka 1,55 miljarder år ("Hyperit")	Amfibolit, fint medelkornig, gnejsig och något ådrad, mörkt grå	31	4
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Ortognejs, leukogranitisk	32	4
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Ortognejs, granitisk	33	9
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Ortognejs, Na-omvandlad	35	2
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Ortognejs, kvartsmonzonitisk	36	2
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Ortognejs, granodioritisk-granitisk. Relativt mörkt grå	37	12
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Ortognejs, kvartsmonzo-dioritisk ortognejs	38	8
	Cirka 1,7 miljarder år (TMB2)	Amfibolit, linser och inneslutningar i likåldrig ortognejs	39	2

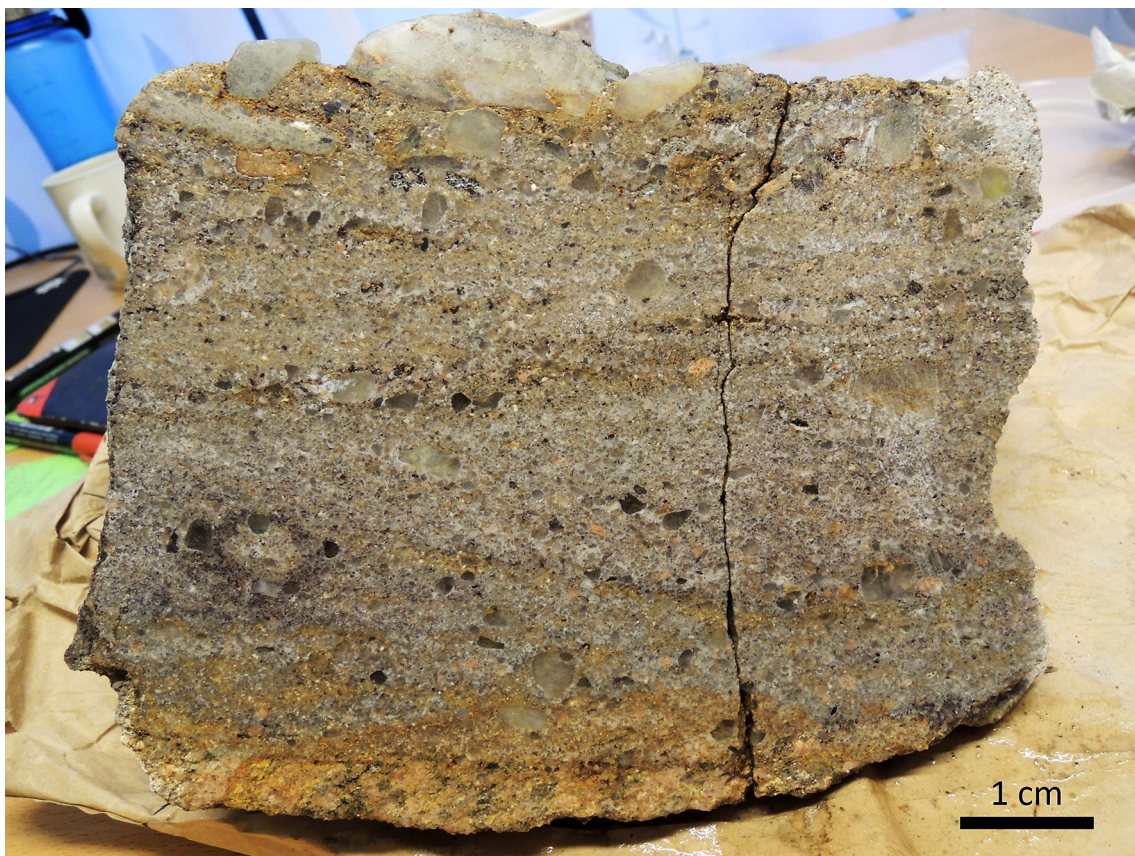
Sedimentära bergarter

De yngre sedimentära bergarterna inom projektområdet består av skiffer, kalksten och sandsten. I projektområdet är de exponerade vid Lugnåsberget. I projektet har bergkvalitetsprover tagits av bland annat kambrisk Lingulidsandsten från Hällekis (fig. 3) och kambrisk Mickwitziasandsten från Lugnåsberget (fig. 4). Projektet har också analyserat en grå och en röd kalksten från Kinnekulle som ligger utanför själva projektområdet. Vid Lugnåsberget finns gamla kvarnstensgruvor där gränsen mellan det prekambrisk kristallina urberget och de kambriska sedimentära bergarterna är exponerade. Den understa delen av Mickwitziasandstenen är ett bottenkonglomerat som vilar direkt på den prekambrisk urbergsytan (fig. 4). Kvarnstenarna på platsen tillverkades av den översta delen av det prekambrisk urberget som här har mjuknat på grund av kaolinvitrering. Mickwitziasandstenen är en bioturberad (Skolithos) och korsskiktad kvartsarenit, lokalt med klaster av lersten och omarbetade urbergsklaster (Ahlberg m.fl. 2013). Lingulidsandstenen innehåller fossil och grävspår av brachiopoden Lingula. Bergkvalitetsanalyser visar att sandstenarna har som förväntat höga kulkvarns- och LA-värden (Lingulidsandstenen TEN190017 kulkvarn: 34,4 % och LA-värde: 47,9 %, och Mickwitziasandstenen TEN190062 kulkvarn: 29,3 % och LA-värde: 37,7 %). De är därmed inte något bra bergmaterial att använda som ballast till väg eller järnväg, men har i stället använts genom historien som byggnadssten.

Historiskt sett har byggnadssten i området främst tagits från kalkstenar, men även sandsten och kristallint urberg har använts i byggnader (Riksantikvarieämbetet 1996). Den kambriska Lingulidsandstenen är den dominerande byggnadsstenen av sandsten i byggnader från slutet av 1800-talet och början av 1900-talet. Skara domkyrka är byggd på 1300-talet och ombyggd till nuvarande utseende på 1890-talet. Dess murar är byggda av den lokala Lingulidsandstenen med fönsteromfattningar av ordovicisk kalksten från Kinnekulle (fig. 5).



Figur 3. Ljusbruna lager av kambrisk Lingulidsandsten, Hälleklis. Hällobervation TEN190017; koordinater: SWEREF TM 6500345 N / 409212 E. På bilden till höger syns grävspår av brachiopoden *Lingula* som runda strukturer i sandstenen. Foto: Stefan Persson, SGU.



Figur 4. Kambrisk Mickwitziasandsten från Lugnåsberget: Bottenkonglomerat med gräns till vittrad prekambrisk gnejs (orange ton, längst ner i bilden). Hällobervation TEN190062; koordinater: SWEREF TM 6498438 N / 426762 E. Foto: Stefan Persson, SGU.

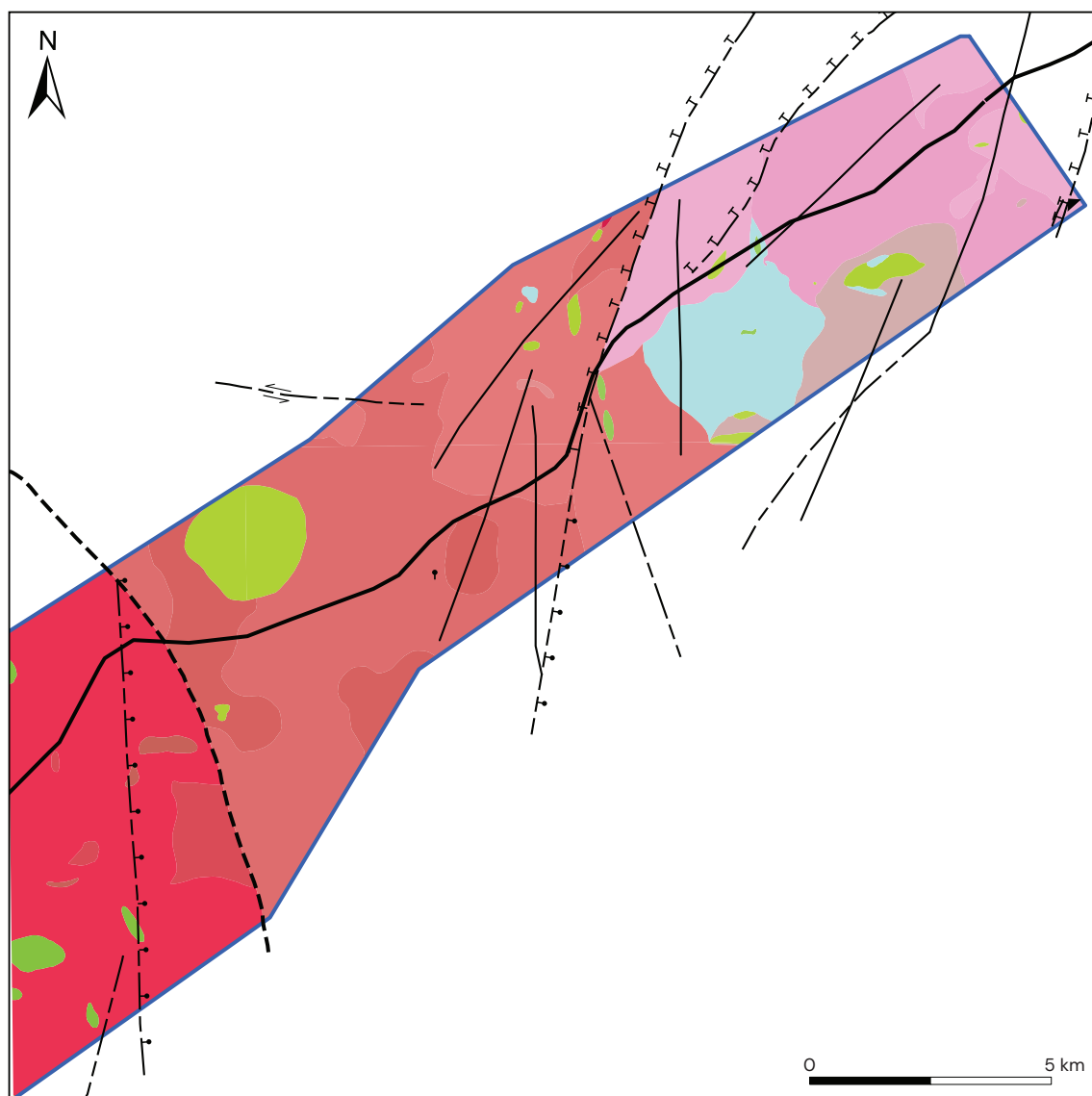


Figur 5. A. Skara domkyrka med närbild på murar av kambrisk Lingulidsandsten. Foto: Paula Lindgren, SGU.
B. Skara domkyrka i solnedgång. Foto: Christina Nysten, SGU.

Östra segmentet, övre nivån

I den östligaste delen av projektområdet E20 Hova–Vårgårda ingår de bergarter som definierats som det Östra segmentets övre nivå (fig. 6). Här består bergarterna av äldre enheter inom TMB (Transskandinaviska magmatiska bältet; generationerna TMB1 och TMB0), som överpräglats till mindre del av deformation och metamorfos under den svekonorvegiska orogenen.

Den dominerande, yngre TMB1-berggrunden förekommer i den västliga delen av projektområdets övre nivå (fig. 6) och utgörs av varierande, ofta kvartsfattiga, bergartstyper med en ålder på cirka 1,8 miljarder år. I de östligare delarna av projektområdet finns bergarter som tillhör den äldsta TMB0-generationen (fig. 6). TMB1-terrängen förekommer i ett regionalt perspektiv som ett parallellt bälte med den yngre TMB2-enheten i Smålands litotektoniska enhet, medan TMB0-bergarterna förekommer på ett mer oregelbundet vis där TMB1/TMB2 möter Bergslagens litotektoniska enhet (fig. 2), där också TMB0 kan förekomma som separata massiv. Inom projektområdet domineras TMB0 av en grovporfyrisk granit som kallas Askersundsgranit, daterad till cirka 1,85 miljarder år och inom terrängen finns också megaxenoliter av äldre vulkanisk och sedimentär berggrund, som tolkas vara delar av en svekofennisk berggrund, liknande de bergarter som förekommer i Bergslagen. De olika litostratigrafiska enheterna är till stor del separerade av olika tektoniska lineament och deformationszoner, men primära kontakter mellan bergarterna kan förekomma. Deformation och metamorfos minskar gradvis i övergången från mellersta till övre nivå, men gnejsiga bergarter förekommer även i övre nivån. Det är dock oklart om den deformation som finns i TMB0 är av samma svekonorvegiska händelse som i övriga bergarter inom projektområdet.



Övre nivå

- Granodiorit (TMBO)
- Askersundsgranit, porfyrisk (TMBO)
- Granit (TMBO)
- Metagråvacka
- Granit (TMB1)
- Granit - syenitoid (TMB1)
- Kvartsmonzonit - kvartsmonzodiorit (TMB1)
- Gabbro - diorit

Mellersta nivå

- Gnejsig leukogranit
- Gnejsig granit
- Gnejsig granodiorit - granit
- Gnejsig gabbro - diorit (hyperit)
- Spröd deformationszon
- Formlinje
- Spröd deformationszon
- Spröd deformationszon
- E20

Figur 6. Geologisk karta över den nordligaste delen av projektområdet E20 Hova-Vårgårda och den del som täcker Östra segmentets övre nivå. Gränsen mellan övre och mellersta nivå definieras som övergången från bergarter inom TMB2 i mellersta nivå med en bildningsålder på cirka 1,7 miljarder år och bergarter från TMB1 och TMBO med en ålder på cirka 1,8 och 1,85 miljarder år i övre nivå. Överpräglningen av deformation och metamorfos definieras som lägre i den övre nivå. Området till kartan visas i figur 1.

Granit (TMB1)

Granit av TMB1-typ förekommer i ett område i de centrala delarna av övre nivån inom projektområdet. Bergarten varierar en del i utseende, men är generellt en fint medelkornig till medelkornig, jämnkornig till ojämnkornig, gråröd-rödgrå granit (fig. 7). Den är normalt gnejsig och ofta uppsprucken. Den åtföljs av gångar med finkornig röd granit.

Mineralogiskt är graniten relativt rik på kalifältspat i förhållande till halten av plagioklas, jämfört med andra bergarter i TMB1. Den har också normalt en kvartshalt på över 20 volym-% och saknar den monzonitiska sammansättningen som annars finns i många av bergarterna i TMB1. Medelhalten av glimmermineral är cirka 5 %. Graniten är generellt låg på uran och torium och har ett aktivitetsindex under 1. Den magnetiska signaturen är låg och dess densitet har ett medelvärde på 2 640 kg/m³.



Figur 7. Granit (TMB1). Rödgrå, gnejsig granit från det bergmassiv vid Hova där berggrunden visar egenskaper för ett bra ballastmaterial. Observation SPN180157, SWEREF TM 6524008 N / 452879 E. Foto: Stefan Persson, SGU.

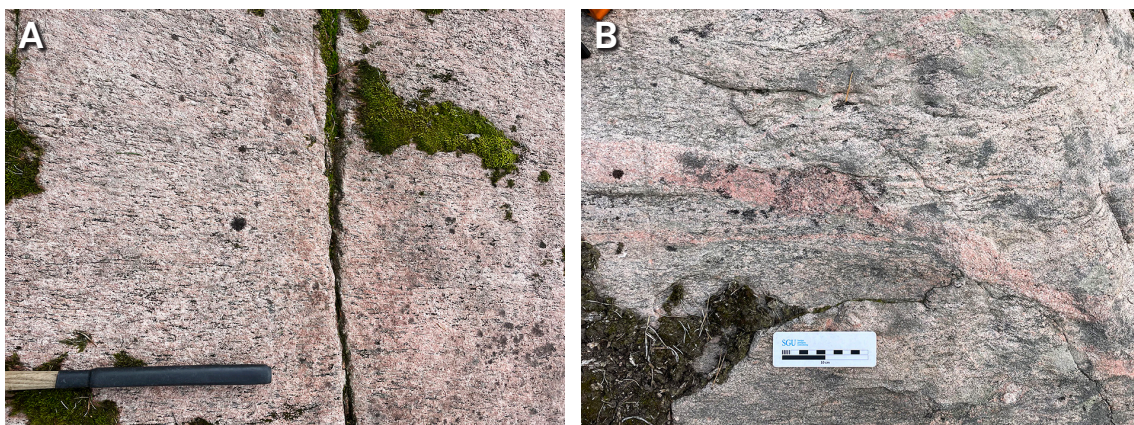
Syenitoid–granit (TMB1)

De västra delarna av Östra segmentets övre nivå i projektområdet domineras av röd-rödgrå graniter tillhörande TMB1, där sammansättningen i många fall avviker mot en mer kvartsfattig, syenit till monzonit. Texturen kan variera och porfyrisk till ojämnkorniga varianter är relativt vanliga. Kornstorleken varierar också från fint till grovt medelkornig (fig. 8 & 9).

Mineralogiskt visar denna bergartsgrupp en stor variation från typiska granitsammansättningar med kvartshalter över 20 volym-%, till prov med mycket låga kvartshalter. Glimmerhalterna varierar också med en tendens för mer glimmer i de kvartsfattiga typerna. Typiska



Figur 8. Ojämnkornig kvartsmonzonit inom bergartsgruppen syenitoid–granit. Bergarten är nästan helt massformig. Biotitnehållet är 14,6 volym-% och kvartshalten är endast 2,4 volym-%. Observation SPN180147, SWEREF 99 TM 6517917 N / 447478 E. Foto: Stefan Persson, SGU.



Figur 9. Syenitoid–granit (TMB1). Variationer i sammansättning och texturer. **A.** Rödaktig finkornig gnejsig granit med låg glimmerhalt. Observation GRS230247, SWEREF 99 TM 6518884 N, 446228 E. **B.** Rödgrå fint medelkornig granit–kvartsmonzonit med ådror av finkornig röd granit som ligger diskordant mot gnejsigheten i huvudbergarten. Observation GRS230383, SWEREF 99 TM 6516552 N, 445688 E. Foton: Gunnar Rauséus, SGU.

accessoriska mineral är titanit och epidot, vilket är vanligt i TMB1-bergarter regionalt sett. Strålningsmässigt är denna bergartsgrupp normalt lågstrålande med ett aktivitetsindex under 1. Densiteten varierar, men ett medianvärde för bergartsgruppen runt 2,70 kg/dm³ är sannolikt.

Kvartsmonzodiorit–kvartsmonzonit (TMB1)

Inom bergartsgruppen syenitoid–granit förekommer en mörk, kvartsfattig bergart som har en kvartsmonzodioritisk sammansättning. Massiv av dessa kvartsmonzodioriter ligger som inneslutningar och verkar åldersmässigt vara bildade före syenitoid–graniterna, även om alla bergarter tillhör samma generation. I ett regionalt perspektiv är denna bergartstyp vanlig i TMB1 och i många fall finns indikationer på att de har bildats genom blandningar av basiska och granitiska magmor.

Mineralogiskt är detta bergartsled plagioklasdominerat och med lägre kvartshalter. Glimmerhalten är över 20 volym-% och hornblände är ett vanligt förekommande mineral. Texturen är porfyrisk med områden som innehåller centimeterstora, euhedra mikroklinmegakrister, och strukturen är massformig till gnejsig (fig. 10). De kan också innehålla opakmineral i form av synlig magnetit i grundmassan. Oftast har kvartsmonzodioriterna en lägre magnetisk signatur än omgivande granitiska bergarter. Strålningsmässigt är nivåerna också lägre jämfört med omgivande graniter. Densiteten ligger sannolikt nära 2,8 kg/dm³.



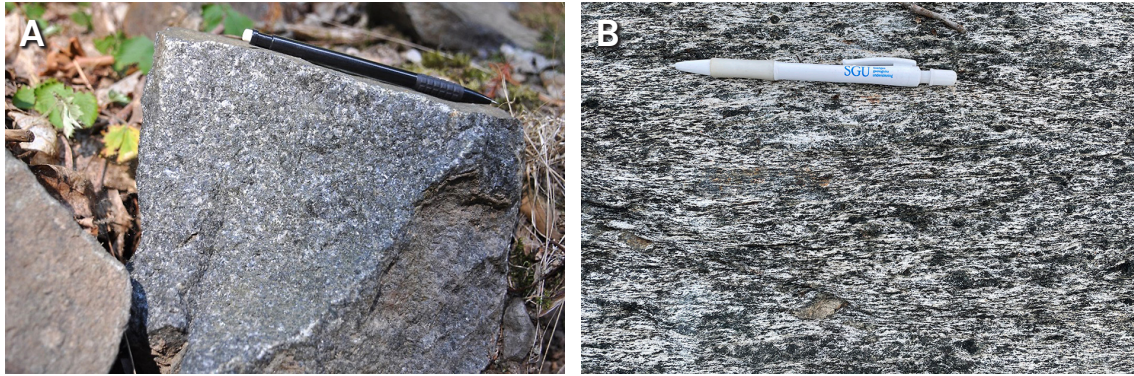
Figur 10. Kvartsmonzodioritisk bergart rik på mörka mineral som biotit och hornblände, och med grå-röda kalifältspatsporfyroblaster. **A.** Vittrad yta. **B.** Färsk yta. Observation GRS230228, SWEREF 99 TM 6516010N/446497E. Foton: Gunnar Rauséus (SGU).

Gabbro (TMB1)

Inom området förekommer ett närmast cirkelrunt massiv med mafisk sammansättning, den så kallade Lyrestadsgabbbron. Massivet är cirka 5 km² stort. De inre delarna uppvisar massformig, grovt medelkornig gabbro medan ytterområdena och gränzonen mot omgivande berggrund ofta är deformerad och omvandlad (fig. 11). Gabbbron är tolkad att vara av samma ålder som omgivande granitiska bergarter och tillhör TMB1.

Gabbbron består av plagioklas och hornblände med ungefär lika proportioner av glimmer och opaka mineral, 5–8 volym-%. Innerkärnan är kraftigt magnetisk beroende på den höga nivån av det opaka mineralet magnetit. Ytterzonen är ganska lågmagnetisk och indikerar att magnetit blivit omvandlad.

Ett flertal, något mindre gabbromassiv förekommer längre österut. Dessa har en oklar åldersställning, men tolkas preliminärt vara knutna åldersmässigt till den äldre TMB0-berggrunden (Ripa m.fl. 1996).



Figur 11. A. Medelkornig gabbro med främst hornblände och plagioklas från Lyrestadsmassivet. Observation SPN180153, SWEREF 99 TM 6520683 N / 446548 E. Foto: Stefan Persson, SGU.
B. Deformerad gabbro med kraftig foliation i gränsszon mot omgivande berggrund. Observation GRS230245 SWEREF 99 TM 6518971 N 446234 E. Foto: Gunnar Rauséus, SGU.

Porfyrisk granodiorit-granit (TMB0)

En dominant bergart inom TMB0-berggrunden är den grovporfyriska Askersundsgraniten. Den har mikroklinströkorn med en storlek upp till 7 cm i en granodioritisk–granitisk grundmassa (fig. 12). Graniten visar ofta en distinkt gnejsighet och de ursprungliga mikroklinströkornen visar omkristallisation. Förhållandet mellan kalifältspat och plagioklas kan variera vilket är naturligt om bergarten har varierande mängd kalifältspatströkorn. Färre strökorn gör att bergarten får en mer plagioklasrik granodioritisk sammansättning. I övrigt kännetecknas bergarten mineralogiskt av höga glimmerhalter, normalt runt 20 volym-%. Muskovit utgör en liten del av glimmerinnehållet, men biotit dominerar. Bergarten har generellt låga strålningsnivåer med ett aktivitetsindex långt under 1. Den magnetiska susceptibiliteten kan variera med varierande magnetitinhåll.



Figur 12. Porfyrisk granit TMB0 (Askersundsgranit). Ögon av kalifältspat som visar tecken på att ha växt postmagmatiskt. Observation SPN180149, SWEREF 99 TM 6527293 N / 459248 E. Foto: Stefan Persson, SGU.

Tonalit–granodiorit (TMB0)

Gnejsig tonalit–granodiorit förekommer i söder av den del av projektområdet som domineras av TMB0-bergarter. Den kallas historiskt för Skaga kapell-typ eller Undengnejs (Ripa m.fl. 1996, Wik m.fl. 2002). Längre trodde man att den kunde jämföras med motsvarande bergarter i Bergslagen, som har en ålder på cirka 1,9 miljarder år, men åldersdateringar visade att den var jämnåldrig med Askersundsgranit (Wikström 1996). Mer granitiska sammansättningar förekommer tillsammans med tonaliterna–granodioriterna. Bergarten är grå, jämnkornig och medelkornig, och ofta med en tydlig gnejsighet. Inneslutningar av olika bergarter är vanliga.

Granit (TMB0)

Ljusa, röda granitiska bergarter utgör den tredje viktiga komponenten i TMB0-berggrunden. Dessa graniter finns som separata massiv i den nordöstligaste delen av projektområdet. Mineralogiskt är dessa graniter så kallade leukograniter med höga kvarts- och fältspathalter och lågt innehåll av glimmer.

Metagråvacka

Vid Hova finns ett större område med metagråvacka (fig. 13). Dess uppträdande antyder att man kan se det som ett större brottstycke av en äldre svekofennisk berggrund, som har blivit intruderad och separerad av de yngre TMB0- och TMB1-intrusionerna. Metagråvackan har generellt en högre grad av deformation och metamorfos än de omgivande TMB-bergarterna. Den tolkas ha en ålder på cirka 1,9 miljarder år.



Figur 13. Metagråvacka. Glimmerrik metagråvacka med urskiljbara band av olika sand- och lerrika lager. Spektrometers längd (det orangea mätinstrumentet) är cirka 20 cm. Observation SPN180155, SWEREF 99 TM 6523215 N / 456846 E. Foto. Stefan Persson, SGU.

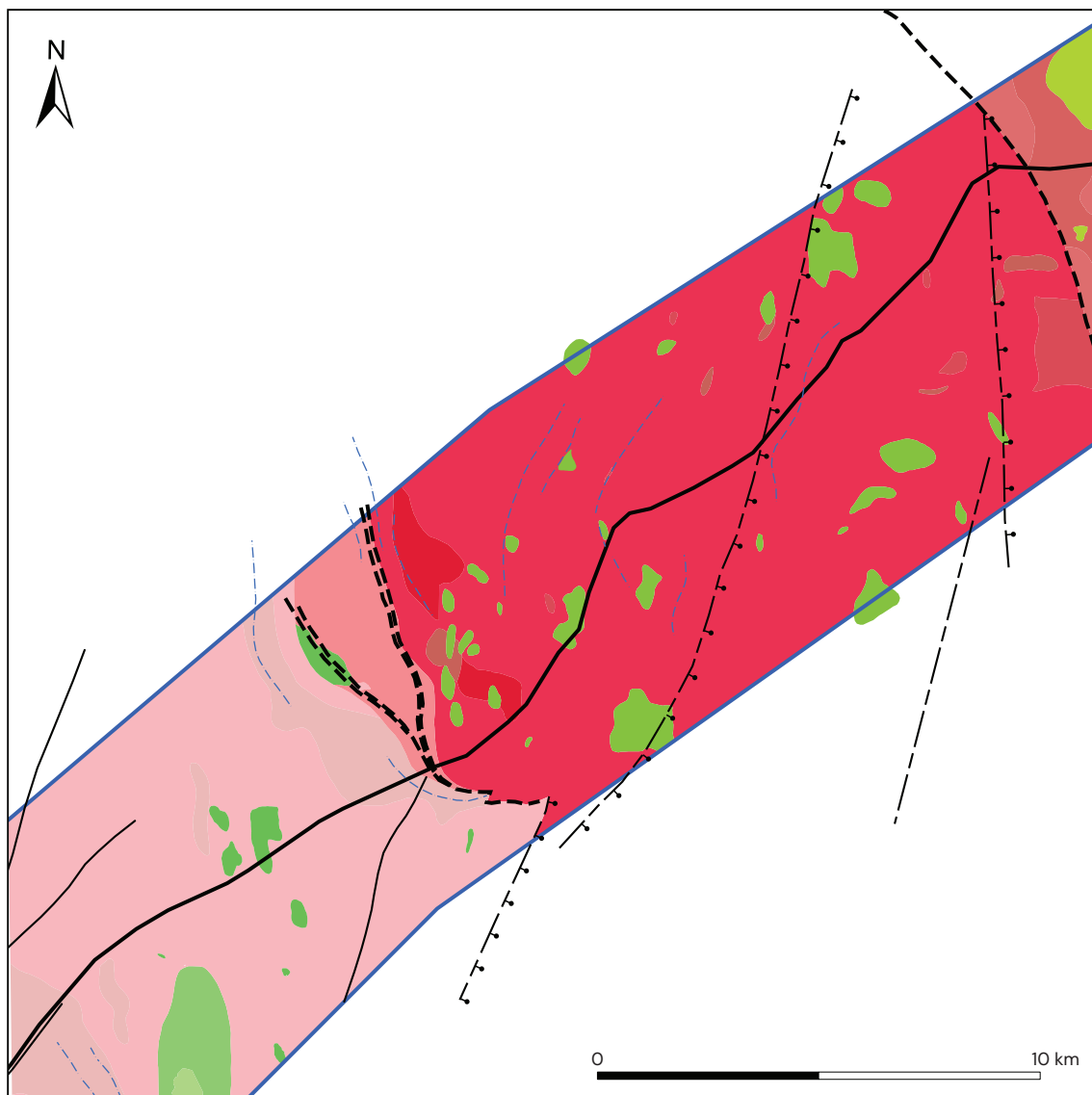
Metagråvackan är grå och finkornig och har en bandning som antyder en primär sedimentär lagring. Mineralogiskt domineras bergarten av kvarts, plagioklas och glimmer (> 30 volym-%), varav muskovit utgör cirka 10 %. Den höga glimmerhalten visar att metagråvackans ursprung är ett djupmarint bottenslam rikt på lera då den bildades på havsbotten. Den närmast obefintliga halten av kalifältpat i denna typ av bergart är karakteristiskt. Den har också en låg halt av opaka mineral.

Metagråvackan är normalt lågstrålande med ett aktivitetsindex runt 0,8, men kan innehålla ådror och gångar av ett mer högstrålande, ofta pegmatitiskt material. Densiteten är cirka 2,77 kg/dm³ och den uppvisar ofta mycket låga nivåer av magnetisering.

Östra segmentet, mellersta nivån

Gränsen mellan översta och mellersta nivån kännetecknas av övergången från bergarter inom TMB1 till bergarter tillhörande TMB2. Övergången mellan de två enheterna sker sannolikt längs en deformationszon i nordvästlig–sydöstlig riktning (fig. 14). Bergarterna i enheten TMB2 domineras av granitiska bergarter med en ålder på cirka 1,7 miljarder år. Andra bergartsgrupper inom TMB2 i mellersta nivån är mycket underordnade och bergarter med monzonitisk sammansättning liknande de i TMB1 saknas nästan helt här. Däremot finns i mellersta nivån ett betydande inslag av intrusiva basiska bergarter. Denna generation basiska bergarter med en ålder på cirka 1,57 miljarder år kallas hyperiter och bildar ett kontinuerligt nord–sydligt bälte från norra Värmland till Skåne (Wik m.fl. 2002).

Graden av deformation och metamorfos, som generellt kopplas till den svekonorvegiska kontinentkollisionen för cirka 1 miljard år sedan, och i den mellersta nivån är graden något högre jämfört med i den övre nivån, och bergarterna kan kännetecknas som gnejsiga men inte som gnejser. Omkristallisation och metamorf mineralogi domineras. Ådring är däremot sällsynt och primära magmatiska texturer kan identifieras. Magmatisk textur är mest notabelt i de inre delarna av hyperitintrusionerna.



Mellersta nivå

- Gnejsig leukogranit
- Gnejsig granit
- Gnejsig granodiorit - granit
- Gnejsig gabbro - diorit (hyperit)
- Spröd deformationszon
- Formlinje
- - - Spröd deformationszon
- Spröd deformationszon
- E20

Undre nivå

- Alunskiffer
- Amphibolit
- Granitisk gnejs
- Granodioritisk-granitisk gnejs
- Leukogranitisk gnejs
- Kvartsmonzodioritisk gnejs
- Gnejsig kvartsmonzodiorit

Figur 14. Geologisk karta över den del av projektområdet E20 Hova–Vårgårda som täcker mellersta nivån och övergången åt söder mot undre nivån. Gränssonen kännetecknas strukturellt av plastisk deformation vid Mariestad. Området till kartan visas i figur 1.

Amfibolit (hyperit)

Den yngsta bergarten inom den mellersta nivån som uppträder inom projektområdet är ett större antal bergartskroppar med mafisk sammansättning. De har ofta en area på 0,5 km² och vanligen en något rundad form. De flesta visar ett mönster där de har en kärna med mer välbevarad mineralogi och textur, men där ytter- och begränsningszoner är mer deformerade och omvandlade. Vid flera lokaler kan man också se hur en varierande deformation uppträder i massiven. Denna mafiska bergartsgrupp tillhör en regionalt mycket viktig generation av intrusioner som traditionellt kallas ”hyperiter” (Wik m.fl. 2002). De varierar texturellt mellan att kallas diabaser (om de är mer finkorniga) och gabbro. Hela intrusionssviten kan sägas ha ett gångliknande uppträdande och förekommer genomgående i TMB2-terrängen i Östra segmentets mellersta och undre nivåer. Bergartsgruppens ålder är cirka 1,56–1,57 miljarder år (Stephens & Wahlgren 2020). Det finns också en yngre generation som har en ålder på cirka 1,15–1,2 miljarder år, men den generationen finns sannolikt inte närvarande i det aktuella projektområdet. Bergarterna är mörkt grå till svarta. I sina mer bevarade varianter kännetecknas de av magnetitpudrad plagioklas och förekomst av pyroxenen hypersten. Inom projektområdets mellersta nivå är de olika massivens innerkärnor mer bevarade och har kvar sin primära magnetit och visar därmed mycket högre grad av magnetisering än mer omvandlade amfiboliter. Primär pyroxen finns bevarad i en innerkärna från ett av projektets tre prover (SPN180154A) (fig. 15). Dominanta mineral är plagioklas och hornblände. Granat förekommer i delar av de mafiska kropparna.



Figur 15. Sågad yta av amfibolit från mellersta nivån. Välbevarad inre kärna från ett hyperitmassiv med begynnande hornbländetillväxt. Hög susceptibilitet antyder ett bevarat magnetit innehåll. Bergarten innehåller över 20 volym-% pyroxen, som sannolikt motsvarar en primär magmatisk komponent i bergarten. Observation SPN190154, SWEREF 99 TM 6511685 N / 442241 E. Foto: Stefan Persson, SGU.

Bergarten uppvisar låga strålningsnivåer med ett aktivitetsindex under 0,2. Densiteten är generellt mycket hög, över $3,0 \text{ kg/dm}^3$. I den medel- till grovkorniga gabbbron finns hornbländekristaller som omges av plagioklas och ställvis förekommer rikligt med granat i mellanmassan, se figur 16.



Figur 16. Amphibolit från den mellersta nivån. Normalt är dessa bergarter dominerade av en metamorf mineralogi och textur av hornblände och plagioklas med varierande innehåll av granat.

A. Granatrik fas av amphibolit med mineral i cm-storlek. Observation CJN230093, SWEREF 99 TM 6509985 N / 435166 E.

Foto: Christina Nysten, SGU.

B. Hornbländedominerad fas av amphibolit med granater i mindre storlek. Detta är ett mer normalt uppträdande i denna bergartstyp. Observation GRS230368, SWEREF 99 TM 6517600 N / 441164 E.

Foto: Gunnar Rauséus, SGU.

Leukogranit, gnejsig

Gnejsig leukogranit kan noteras på några ställen inom området för Östra segmentets mellersta nivå (fig. 17). De har ofta samma utprägnad som i undre nivån där de förekommer som gångar och andra mindre intrusioner. I området för mellersta nivån har leukogranit också noterats i ett större separat massiv i den sydöstra delen. Leukogranit är kvarts- och fältspatrik där kalifältspat dominerar över plagioklas, och glimmerhalter under 2,0 volym-%. Andelen opaka mineral kan vara runt 1,0 volym-% vilket ofta ger bergarten en lite högre grad av magnetisering.

Bergartstypen kan liksom sin motsvarighet i undre nivån ha en svag förhöjning av de radiogena komponenterna K och Th gentemot de ordinära gnejsiga graniterna och visar ett medelvärde på aktivitetsindex över 1. Men variationerna är mycket små och inte statistiskt säkerställda. Uranhalten är normalt låg, cirka 5 ppm. Densiteten är låg, strax över 2 600 kg/m³ och som nämnts ovan är magnetiseringsgraden för leukograniterna ofta lite högre än för omgivande gnejsiga graniter och granodioriter–graniter.



Figur 17. Leukogranit, gnejsig. Observation SPN190171A. SWEREF 99 TM 6513541 N / 443018 E.
Foto: Stefan Persson, SGU.

Granit, gnejsig

Den bergartstyp som dominerar berggrunden i mellersta nivån är en huvudsakligen röd–grå, jämnkornig, medelkornig, och gnejsig granit (fig. 18). Den kännetecknas ofta av biotit som visar gnejsigheten i bergarten (”biotitstrimmig granit”). Den är normalt omkristalliserad och kan lokalt uppvisa ett massivt utprägnad. Metamorf ådring är ovanligt och förekommer bara längst i väster i mellersta nivån i övergången till den undre nivån. Pegmatitiska

och aplitiska ådror associerade till bergarten kan förekomma liksom mafiska enklaver men generellt är de ovanliga. Den "biotitstrimmiga" granitens genomsnittliga mineralsammansättning är i genomsnitt: kvarts (cirka 27 volym-%), kalifältspat (cirka 35 volym-%) och plagioklas (cirka 30 volym-%) med en glimmerhalt på cirka 5 volym-% och 1 volym-% opaka mineral. Hornblände och titanit förekommer. Bergarten har en densitet på cirka 2 650 kg/m³ och en magnetisk susceptibilitet på cirka 700×10^{-6} SI-enheter, vilket är ganska lågt. Aktivitetsindex har ett medelvärde på 0,96 för våra mätningar, men variationerna är ganska stora.



Figur 18. Granit, gnejsig från mellersta nivån. Bergarten som är mycket dominant i den mellersta nivån, kännetecknas av att biotit ofta förekommer i strimmor. Observation SPN180146, SWREF 99 TM 6510989 N / 437621 E. Foto: Stefan Persson, SGU.

Granodiorit–granit, gnejsig

Bergartsgruppen med granodioritisk–granitisk sammansättning har en liten utbredning i den mellersta nivån jämfört med den undre nivån. I mellersta nivån finner man bara mindre massiv, antingen relaterade till andra massiv med mer kvartsmonzodioritisk sammansättning eller som små separata massiv i graniterna. Bergartstypen skiljs ut genom att den har en gråare färg vilket beror på att bergarten har ett högre innehåll av plagioklas och en lite högre glimmerhalt jämfört med de gnejsiga graniterna. Variationerna är dock små och knappast urskiljbara med ögat. Eftersom denna bergart ofta har en mer granitisk prägel skulle den kunna hänföras till de gnejsiga graniterna. Densitet är cirka 2 670 kg/m³, det vill säga något högre än de gnejsiga graniterna. Den magnetiska susceptibiliteten är ungefär densamma som för de gnejsiga graniterna.

Kvartsmonzodiorit, gnejsig

Mindre bergartsmassiv med kvartsmonzodioritisk sammansättning förekommer i den gnejsiga graniten, framför allt i den västligaste delen av det som ligger inom mellersta nivån, mot gränsen till den undre nivån. I de västliga massiven förekommer delar som är mer granodioritiska–granitiska, vilket antyder ett släktskap mellan dessa bergartsgrupper när de bildades. Kvartsmonzodioriterna är grå till mörkt grå, finkorniga till medelkorniga, och oftast glimmerrika och glimmerstrimmiga (fig. 19). Glimmerinnehållet kan ge ett närmast bandat utseende. Även körtlar med grovkornig rödgrå pegmatit förekommer. Bergarten domineras av plagioklas vilket ofta ger en ljus fältspat på vittrad hållöveryta. Grundmassan har även en del hornblände. Ställvis finns det stråk eller körtlar med grovkristallin hornblände. Kvartshalten är vanligen runt 10–15 volym-% och epidot är ett vanligt förekommande mineral.

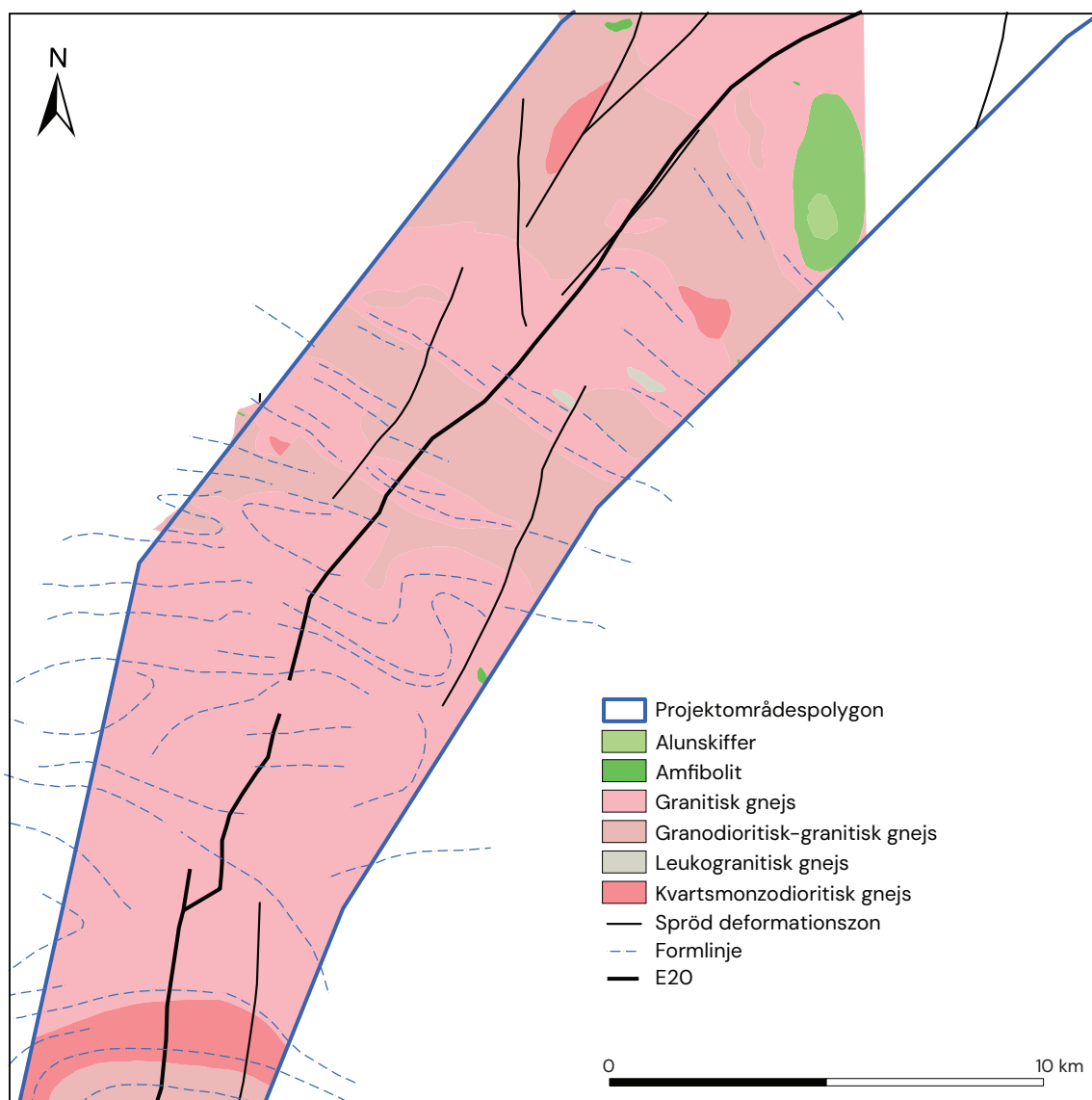
Aktivitetsindex för bergartsgruppen är normalt runt 0,5 men kan variera en del. Aktivitetsindex beror mest på kaliumhalten som ofta ligger på 2,7–2,9 % i spektromettermätningarna. U- och Th-halterna är låga. Magnetiseringen är ofta låg beroende på att halten opakmineral är låg. Densiteten är normalt cirka 2 800 kg/m³.



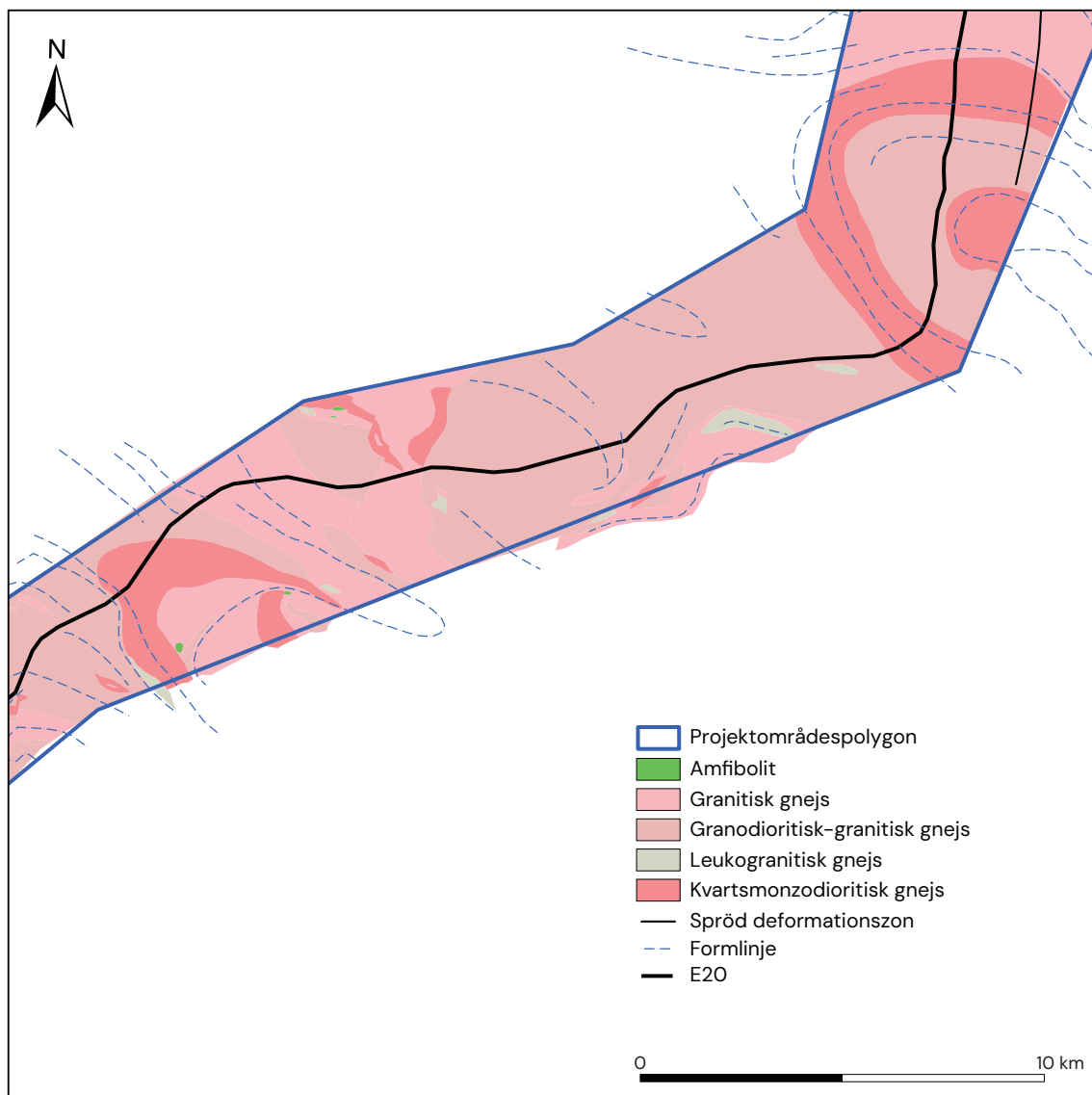
Figur 19. Gnejsig granodiorit–kvartsmonzodiorit från hållobservation: GRS230330. (SWEREF 99 TM 6506719 N, 430408 E). Foto: Gunnar Rauséus, SGU.

Östra segmentet, undre nivå

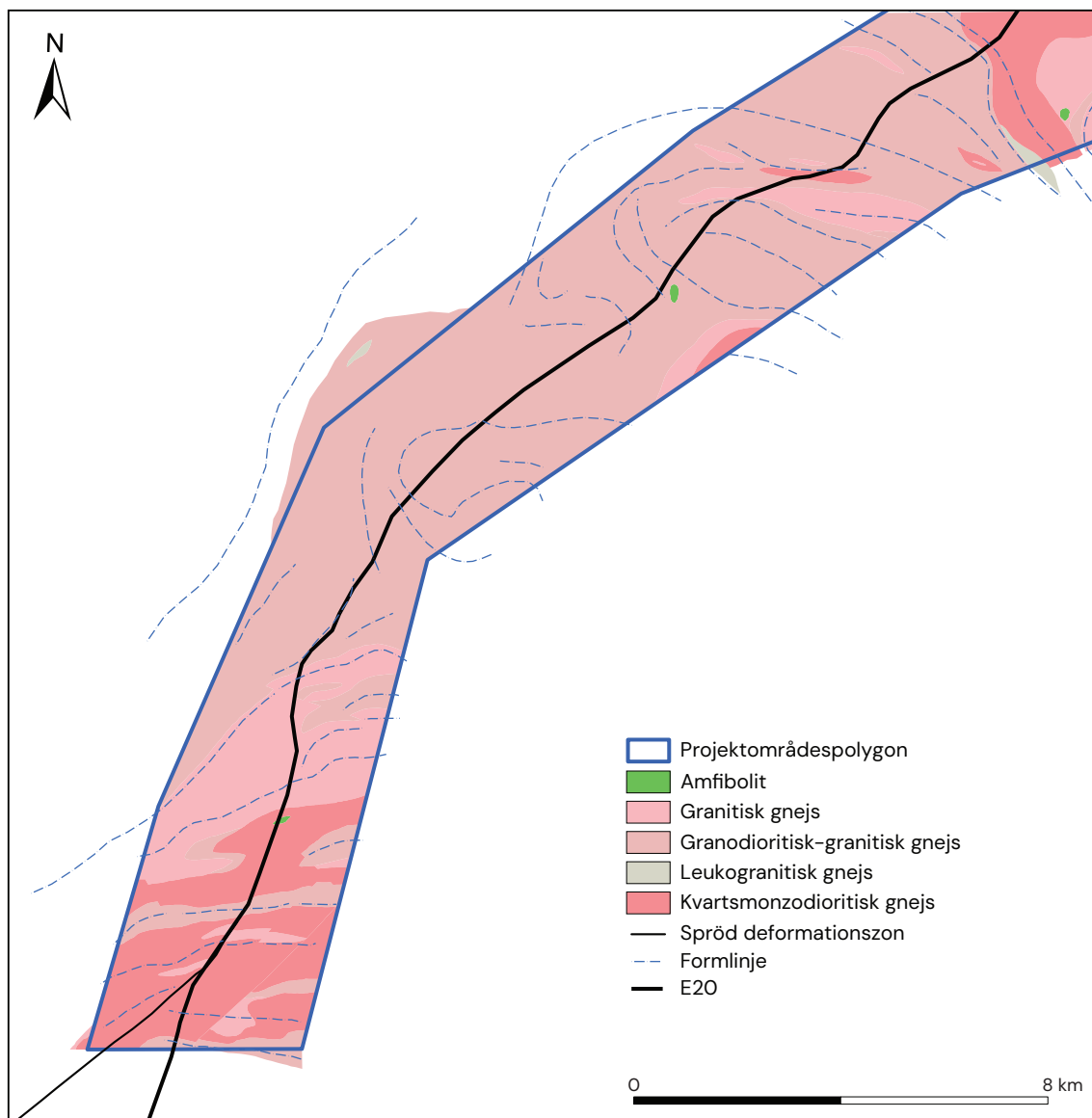
Östra segmentets undre nivå förekommer i projektområdets sydliga delar och upptar cirka två tredjedelar av projektområdet (fig. 20–22). Gränsområdet mellan mellersta nivån och undre nivån är beläget nära Mariestad (fig. 14) och kännetecknas av förekomsten av flera plastiska deformationszoner med nordvästlig–sydöstlig strykning. Söder om denna zon saknas bergarter med primär magmatisk mineralogi och textur. Undre nivån domineras av gnejser med granitisk, granodioritisk och kvartsmonzodioritisk sammansättning, som i varierande grad uppvisar bandning, ådror och kraftig omkristallisation. Ursprunget till bergarterna i undre nivån tolkas som detsamma som för mellersta nivån, det vill säga att det för båda enheterna rör sig om TMB2-bergarter med en ålder på cirka 1,7 miljarder år. Liksom i mellersta nivån finns också intrusioner tillhörande hyperitgenerationer, framför allt nära gränsen till mellersta nivån i Mariestadstrakten.



Figur 20. Geologisk karta över de centrala delarna av projektområdet E20 Hova–Vårgårda som ungefär motsvarar de norra delarna av undre nivån i projektområdet. Området till kartan visas i figur 1.



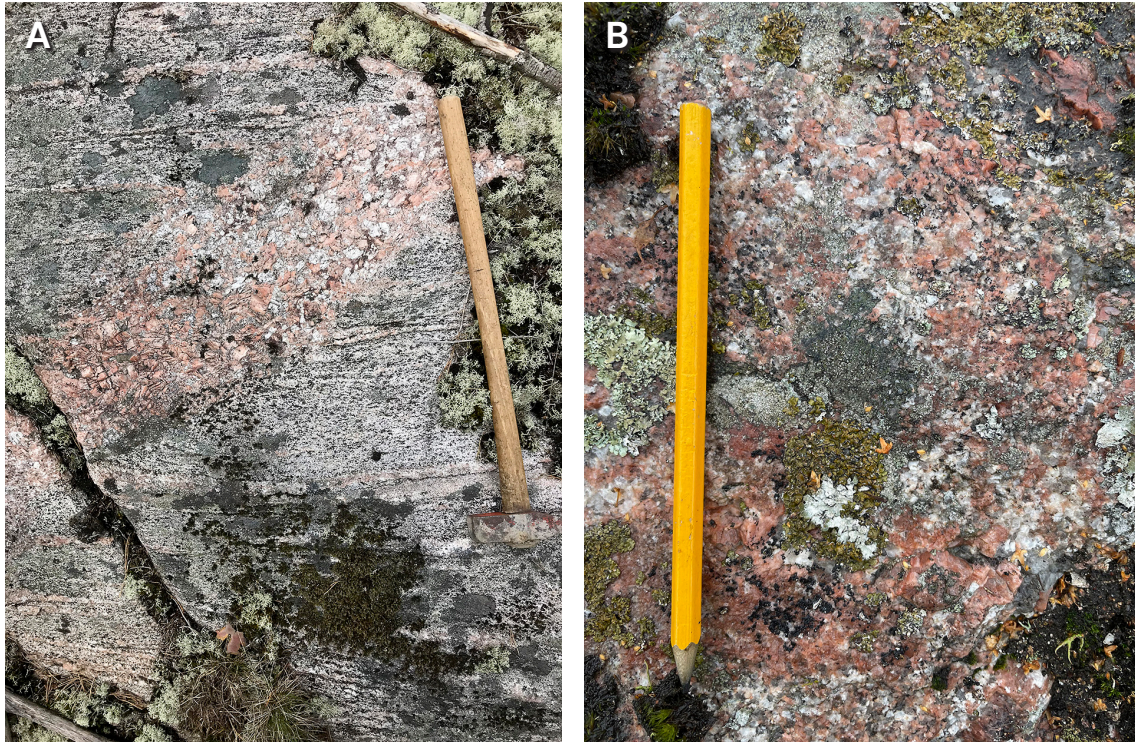
Figur 21. Geologisk karta över de centrala delarna av undre nivån inom projektmrådet E20 Hova–Vårgårda. Området till kartan visas i figur 1.



Figur 22. Geologisk karta över den sydligaste delen av projektområdet E20 Hova–Vårgårda, som motsvarar de södra delarna av undre nivån. Området till kartan visas i figur 1.

Pegmatit–granit

De yngsta bergarterna i urberget inom projektområdet uppträder som gångar och oregelbundna massiv med granitisk sammansättning. Även om fin- till medelkorniga, jämn- till ojämnkorniga graniter förekommer, är dessa intrusioner mestadels grovkornigt pegmatitiska. Men bergarternas textur är ofta tämligen kaotisk och kornstorleken kan variera kraftigt. Bergarten saknar strukturell överpräglning och är entydigt massformig. Vid en relation till andra bergarter är pegmatit–granit alltid tydligt klippande alla bergarter och strukturer. Oftast förekommer bergartstypen som pegmatitiska gångar med upp till två meters bredd (fig. 23A), men på många ställen förekommer linsformade kroppar med betydligt större dimensioner och då ökar inslaget av mer finkorniga, ojämnkorniga graniter (fig. 23B). Bergarten är normalt röd och vit, beroende på inslaget av dominant fältspat. Glimmerinnehållet är lågt, men utgörs av både biotit och muskovit. Magnetit kan förekomma som porfyroblaster. Det finns generellt ett magnetitinnehåll i bergarten vilket leder till relativt höga susceptibilitetsvärden.



Figur 23. Pegmatit. Yngsta bergart i urberget. **A.** Gångar av pegmatit med varierande bredd (0,1–2 m) som klipper alla strukturer. Observation UJB211017, SWEREF 99 TM 6452577 N / 374583 E. **B.** Linsformade (storlek > 10 m) intrusioner av granit–pegmatit med varierande kornstorlek. Observation UJB230108, SWEREF TM 6446380 N / 372442 E. Foton: Ulf Bergström, SGU.

Amfibolit

Mindre bergartskroppar med mafisk sammansättning förekommer sporadiskt inom hela undre nivån. De flesta har en mycket begränsad storlek (< 100 m²) och uppträder i linsform. I några fall kan man urskilja ett gångformat uppträdande i omgivande gnejser, eller som kvadratmeterstora inneslutningar av amfibolit. På grund av den höga deformationen och metamorfosen har amfibolitkropparna ofta dragits ut till band och det är svårt att klargöra den ursprungliga bildningsprocessen.

Amfiboliterna är mörkt grå till svarta, oftast fint medelkorniga och jämnkorniga (fig. 24). De uppvisar normalt en tydlig gnejsighet. De är tydligt omkristalliserade och bevarade primära magmatiska texturer är sällsynta. Amfiboliterna har en genomgripande metamorf mineralogisk paragenes med metamorft hornblände och plagioklas. Halten glimmermineral, främst biotit, är oftast under 5 %. Opaka mineral förekommer ganska sparsamt, runt 1 % eller lägre och består av både oxidmineral och sulfidmineral. Både kvarts och kalifältspat förekommer i låga halter. Ett vanligt accessoriskt mineral är titanit.

Inom amfiboliterna finns två huvudgrupper som sannolikt har två olika ursprung. Det finns dels en yngre generation som uppträder delvis gångformat och som intruderat de olika ortognejserna, dels en äldre generation som är jämnåldrig med gnejserna och som upplevt samma strukturgeologiska historia. Den yngre generationen tolkas tillhöra de så kallade hyperiterna (fig. 24). De två typerna är närmast omöjliga att skilja åt utseendemässigt vid fältbesiktning, men kan separeras med geokemi. Den yngre generationen uppvisar vid en litogeokemisk analys högre värden av Fe, Ti och V. Mineralogiskt tenderar den yngre generationen att innehålla mer kvarts, kalifältspat och opakmineral. Den högre halten av opakmineral är naturlig med tanke



Figur 24. Amfibolit tillhörande hyperitgenerationen. **A.** Kontakt mellan amfibolit och granitisk gnejs. Det finns en blekning i gnejsen som antyder hydrotermal aktivitet i kontakten när amfiboliten intruderat och tillfört värme till gnejsen. Observation UJB191045, SWEREF 99 TM 6495148 N / 415457 E. **B.** Kraftigt skjuvdeformerad amfibolit, sannolikt har detta skett under den svekonorvegiska orogenesen. Observation UJB230136, SWEREF 99 TM 6499759 N / 428045 E. Foton: Ulf Bergström, SGU.

på de högre Fe-Ti-halterna, men bevarad primär magnetit har inte noterats och susceptibilitetsvärdena är normalt ganska låga. Utifrån provmaterialet är sannolikt den största delen av de gångliknande amfiboliter som finns i undre nivån av den yngre typen. Detta uppträdande skiljer sig från den mellersta nivån där den yngre generationen bildar mindre massiv.

Petrofysiska egenskaper är ganska olika för de två olika typerna av amfibolit. Uppmätt densitet ligger runt $3\,000\text{ kg/m}^3$ och den magnetiska susceptibiliteten är normalt cirka 100×10^{-6} SI-enheter för den yngre gruppen av hyperitamfiboliter. För den äldre mer förgnejsade gruppen är densiteten normalt $2\,800\text{--}2\,900\text{ kg/m}^3$ och susceptibiliteten varierar mellan 200 och $1\,300 \times 10^{-6}$. Den radiometrisk strålningen är låg för alla typer av amfibolit, med aktivitetsindex under 0,5 och uranhalter under 2 ppm. I den yngre typen är ofta uranhalten under 1 ppm.

Leukogranitisk gnejs

Glimmerfattiga, ofta finkorniga, granitiska gnejser förekommer sporadiskt i den undre nivån (fig. 25). I några fall samlas de till lite större linsformade kroppar ($> 100\text{ m}^2$), men oftast uppträder de som aplitiska gångar i de vanliga granitiska gnejserna. De leukogranitiska gnejserna är ljus gråröda, jämnkorniga och mestadels fin- till fint medelkorniga. Normalt syns ingen kraftig gnejsighet i leukograniten. De mineral som vanligen visar den är glimmer, och glimmerhalten är mycket låg i leukograniten ($< 2\%$). Den omkristalliserade texturen gör också att gnejsigheten blir otydlig. Den naturligaste genetiska förklaringen är att de är yngre, fraktionerade delar av de vanliga granitiska gnejserna. De kan också förekomma som gångar i granodioritisk-granitisk och kvartsmonzodioritisk gnejs (fig. 26).



Figur 25. Provtäkt med leukogranitisk gnejs. Bergarten är tydligt röd och förhållandevis ren på inneslutningar och gångar (pegmatitiska ådror och körtlar kan förekomma). Hällobobservation PLI210001 (SWEREF 99 TM 6470288 N, 405199 E). Foto: Paula Lindgren, SGU.



Figur 26. Leukogranitisk gnejs. **A.** Fint medelkornig–medelkornig, glimmerfattig röd gnejs. Hällobobservation UJB221010 (SWEREF 99 TM 6493195 N, 421791 E). **B.** Gångar av leukogranitisk gnejs i granodioritisk–granitisk gnejs. Observation UJB221031 (SWEREF 99 TM 6494125 N, 423553 E). Foton: Ulf Bergström, SGU.

Mineralogiskt domineras de leukogranitiska gnejserna av kvarts och kalifältspat (cirka 35 % av varje) och en plagioklashalt på 25 %. Glimmerhalten är oftast under 2 % och mängden opaka mineral varierar mellan en halv och en procent. Halten av andra accessoriska mineral är mycket låg. De leukogranitiska gnejserna kännetecknas kemiskt av höga SiO_2 - och K_2O -halter och att de är mycket låga på Fe och Mg. Den höga oxidationsgraden hos bergarterna har lett till den låga glimmerhalten eftersom Fe-innehållet till stor del har använts till bildning av magnetit.

Petrofysiskt är de leukogranitiska gnejserna ganska homogena med en densitet som varierar mellan 2 610 och 2 630 kg/m^3 . Susceptibiliteten är ofta ganska hög och varierar runt $10\,000 \times 10^{-6}$. De radiometriska egenskaperna visar normalt på ett aktivitetsindex runt 1,0, men den uppmätta variationen är relativt stor för en annars så homogen bergartstyp, på mellan 0,76 och 1,23.

Granitisk gnejs

Gnejser med granitisk sammansättning är den vanligaste bergartstypen inom den del av TMB2 som motsvarar Östra segmentets undre nivå (fig. 27) inom projektområdet. I vissa delar är dominansen för denna bergartstyp närmast total och även i andra delar är den nästan alltid närvarande som gångar eller små linsformade intrusioner. Sannolikt är TMB2-berggrunden uppbyggd av hundratals mindre intrusioner som har granitisk sammansättning och med lite varierande texturella egenskaper och varierande relationer med andra bergartstyper.

De granitiska gnejserna är normalt röda–gråröda–rödgrå. Kornstorleken är fint medelkornig–medelkornig och texturen är jämnkornig. De visar ibland en kraftig gnejsighet, men oftast förekommer en omkristallisation som ger bergarten ett mer massivt intryck än vad som skulle förväntas av en så högt deformerad och metamorf bergart. I några fall uppträder metamorfa strukturer (deformerade och omkristalliserade ögon) som skulle kunna antyda en ursprunglig porfyrisk eller ojämnkornig textur. Ådror av pegmatitisk kvarts och fältspat är vanliga. Olika typer av inneslutningar är relativt vanliga. Oftast förekommer volymmässigt begränsade amfiboliter som kan vara sönderslitna yngre gångar, men det kan också vara enkla ver som är jämnåldriga med den granitiska gnejsen. En annan vanlig typ av inneslutning är band och linser av granodioritiska–granitiska och kvartsmonzodioritiska gnejser.

Den mineralogiska sammansättningen domineras av kalifältspat och plagioklas i ungefär lika stora halter ($> 30\%$) med kvartshalter runt 25 %. Glimmerhalten ligger i allmänhet runt 6–7 % och domineras av biotit. Muskovit har nästan inte observerats alls. Opaka mineral utgör normalt cirka en halv procent av mineralinnehållet, men kan ibland stiga och uppvisa makroskopiskt synliga magnetitaggregat. I dessa gnejser med sekundära, större magnetitkristaller stiger också den magnetiska susceptibiliteten. Titanit, hornblände och apatit är vanliga accessoriska mineral.

Densiteten i de granitiska gnejserna brukar variera i intervallet 2 610–2 680 kg/dm^3 med en mediannivå på cirka 2 650 kg/m^3 . Susceptibiliteten ligger ofta på låga halter, under 100×10^{-6} , men stiger ibland kraftigt till över 1 000, då man kan se sekundära magnetitkristaller. Den radiometriska strålningen är ofta låg och bergarten har ett medelaktivitetsindex på 0,85. Det är betydligt lägre än för den leukogranitiska gnejsen, men detta värde kan variera.



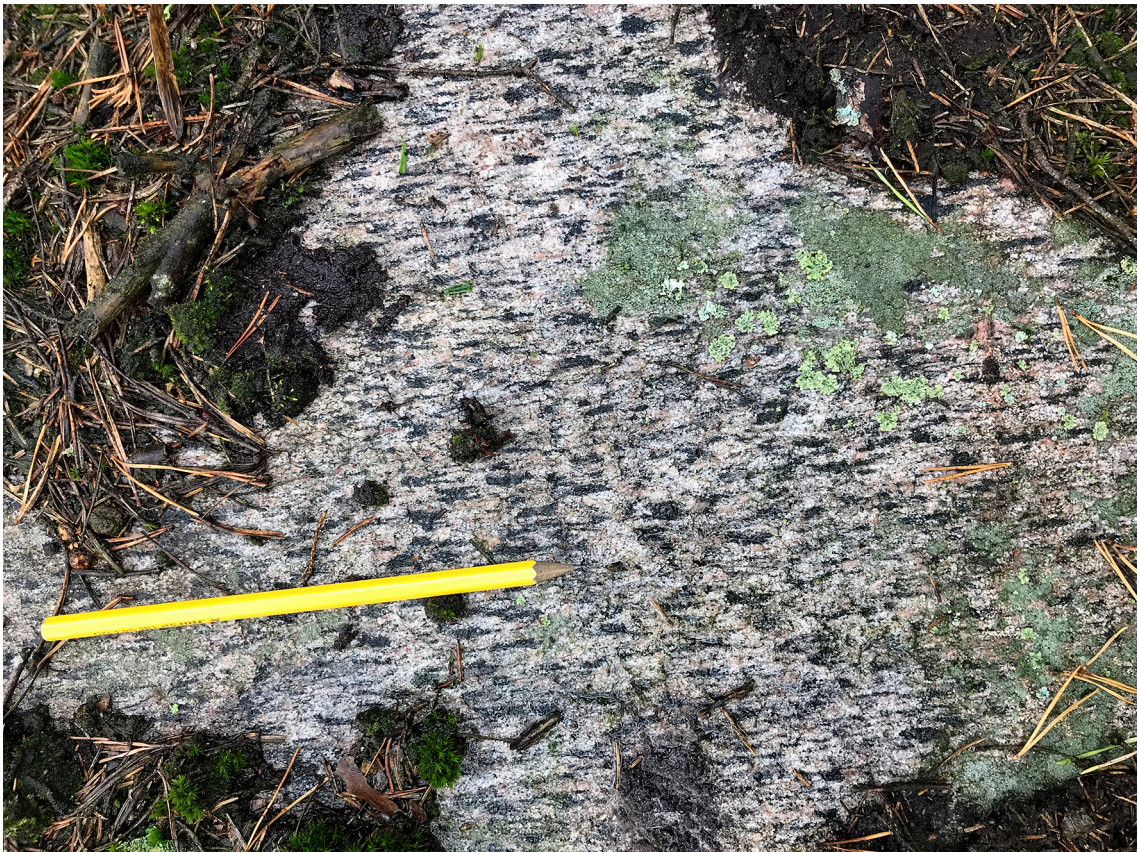
Figur 27. Granitisk gnejs med jämnkornig omkristalliserad textur med cirka 5 volym-% glimmermineral. Hällobservation UJB221011 (SWEREF TM 6493698 N / 421838 E). Foto: Ulf Bergström, SGU.

Granodioritisk–granitisk gnejs

Granodioritisk–granitisk gnejs är den vanligaste bergarten i Östra segmentets undre nivå efter den granitiska gnejsen. De bildar tillsammans med de granitiska gnejserna det bandade och veckade strukturmönster som är så typiskt för Östra segmentet, men bergartstypen kan också dominera vissa områden helt. Till skillnad från de granitiska gnejserna kan de granodioritiska–granitiska gnejserna uppvisa en varierande palett av utseenden och uppträdanden. De granodioritiska–granitiska gnejserna är oftast grå till rödgrå, medelkorniga och jämn- till ojämnkorniga. De är normalt ådrade och har en distinkt gnejsighet. Ådring är vanligare i denna bergart än i de granitiska gnejserna, ådrorna är ofta veckade och deformerade. Spår av en äldre ojämnkornig porfyrisk textur kan ibland anas genom förekomsten av aggregat av kalifältpat (fig. 28 & 29).

Mineralogiskt förekommer plagioklas i betydligt högre grad i de granodioritiska–granitiska gnejserna jämfört med de granitiska gnejserna. Kvartshalten är normalt runt 20 %. Glimmerhalterna varierar vanligen mellan 5 och 10 %, men högre halter förekommer. En ganska distinkt undergrupp till granodioritisk–granitisk gnejs har en mer kvartsmonzonitisk sammansättning med lägre kvartshalter (15 % och under). Hornblände är vanligt och förekommer oftast med halter på runt fem volym-%. Opakmineral, främst magnetit, är ovanligare än i de granitiska gnejserna.

De granodioritiska–granitiska gnejserna är petrofysiskt ganska varierande, vilket är naturligt beroende på det stora sammansättningsintervallet. Densiteten är inom intervallet



Figur 28. Granodioritisk–granitisk gnejs. Rödgå, medelkornig och ojämnkornig gnejs med aggregat av kalifältpat som skulle kunna indikera en ursprunglig porfyrisk textur. Observation UJB191031 (SWEREF 99 TM 6495230 N, 416946 E). Foto: Ulf Bergström, SGU.



Figur 29. Granodioritisk–granitisk gnejs. Rödgrå, medelkornig, och ojämnkornig gnejs med pegmatitisk ådring. Tillplattade aggregat av kalifältspat visar på släktskap med bergarten i figur 28, men deformationsgraden är högre. Hornblände finns i bergarten. Observation UJB230104 (SWEREF 99 TM 6446148 N, 376411 E. Foto: Ulf Bergström, SGU.

2 640–2 750 kg/m³ med ett medelvärde på 2 680 kg/m³. Susceptibiliteten varierar från 200 till $25\,000 \times 10^{-6}$ med ett medelvärde på $3\,500 \times 10^{-6}$. Liksom i de granitiska gnejserna blommar ibland en sekundär magnetit upp även i de granodioritiska–granitiska gnejserna vilket ökar magnetiseringen. Aktivitetsindex för de granodioritiska–granitiska gnejserna är i undantagsfall över 1 och ett medelvärde ligger på 0,70. De lägre nivåerna beror främst på de lägre K-halterna.

Kvartsmonzonitisk gnejs

På några ställen i undre nivån uppträder gnejser med utseende som påminner om granodioritisk–granitisk gnejs men med en mer kvartsfattig sammansättning (fig. 30).

Mineralogiskt är denna bergart mer kvartsfattig men mer kalifältspatrik jämfört med de granodioritiska–granitiska gnejserna. Glimmerhalten varierar och cirka 0,8 volym-% utgörs av opaka mineral, vilket är högre än det normala för de granodioritiska–granitiska gnejserna. Den kvartsmonzonitiska gnejsen har karaktäristiskt ett distinkt högre innehåll av titanit jämfört med de granodioritiska–granitiska gnejserna.

Aktivitetsindex är ungefär 0,7 och densiteten cirka 2 680 kg/m³. Magnetiseringen, från vårt mycket begränsade statistiska underlag, antyder en magnetisering som är högre än omgivande granitiska och granodioritiska–granitiska gnejser.



Figur 30. Sågad yta av kvartsmonzonitisk gnejs med ojämnkornig textur. Observation SPN210163, SWEREF 99 TM 6462121 N / 388177 E. Foto: Stefan Persson, SGU.

Kvartsmonzodioritisk gnejs

Ådrade gnejser med en huvudsakligen kvartsmonzodioritisk sammansättning är en vanlig komponent i det bandade gnejsmönstret i Östra segmentets undre nivå (fig. 31 & 32). Dessa bergarter kan bilda större massiv, till exempel i projektområdets sydligaste del, men det är mer normalt med inlagringar som har mer begränsade dimensioner. I många fall kan man ana en flytande övergång mot de granodioritiska–granitiska gnejserna. Ofta förekommer amfibolitiska inneslutningar och troligen har bergarten till viss del bildats genom magmablandning och hybridisering mellan de mer granitiska gnejserna och en jämnåldrig amfibolit. De processerna är annars svåra att se i högmetamorfa bergarter som dessa. De kvartsmonzodioritiska gnejserna är mörkt grå, primärt medelkorniga och jämnkorniga. Ådror är vanliga och förekommer i flera olika generationer. De yngre ådrorna är pegmatitiska och sannolikt likåldriga med pegmatiterna som beskrivs ovan.

Kvartsmonzodioritisk gnejs domineras mineralogiskt av plagioklas med ett innehåll på cirka 5–10 volym-% för både kvarts och kalifältpat. Glimmerinnehållet är normalt strax under 10 %, medan hornblände är vanligare och ofta förekommer med en halt på över 20 %. Opakmineral förekommer i låga halter.

De kvartsmonzodioritiska gnejserna har en medeldensitet på 2 800 kg/m³. Susceptibiliteten varierar en del, men medelvärde är cirka $5\,150 \times 10^{-6}$. Det höga värdet på susceptibilitet är svårförklarat med tanke på de relativt låga halterna av magnetit modalt och att områden med kvartsmonzodioritisk gnejs ofta är lågmagnetiska ytor i kartan som visar magnetfältets variation. Den kvartsmonzodioritiska gnejsen har låga strålningsnivåer med ett aktivitetsindex (medelvärde) på cirka 0,5.



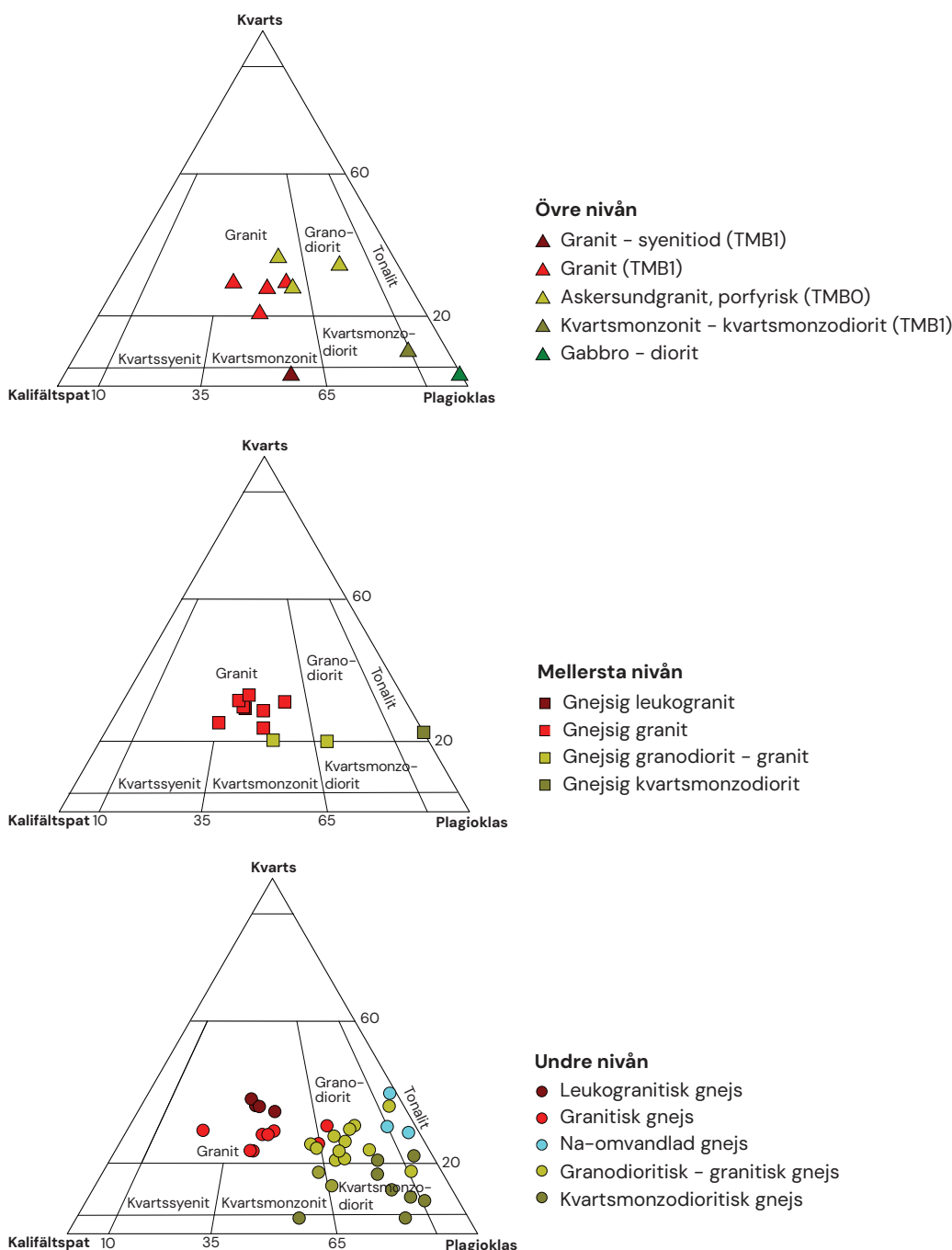
Figur 31. Kvartsmonzodioritisk gnejs. Bergarten är grå-mörkt grå, plagioklasdominerad med vanligt förekommande hornblände. Observation UJB221035. SWEREF 99 TM 6461919 N / 387112 E.
Foto: Ulf Bergström, SGU.



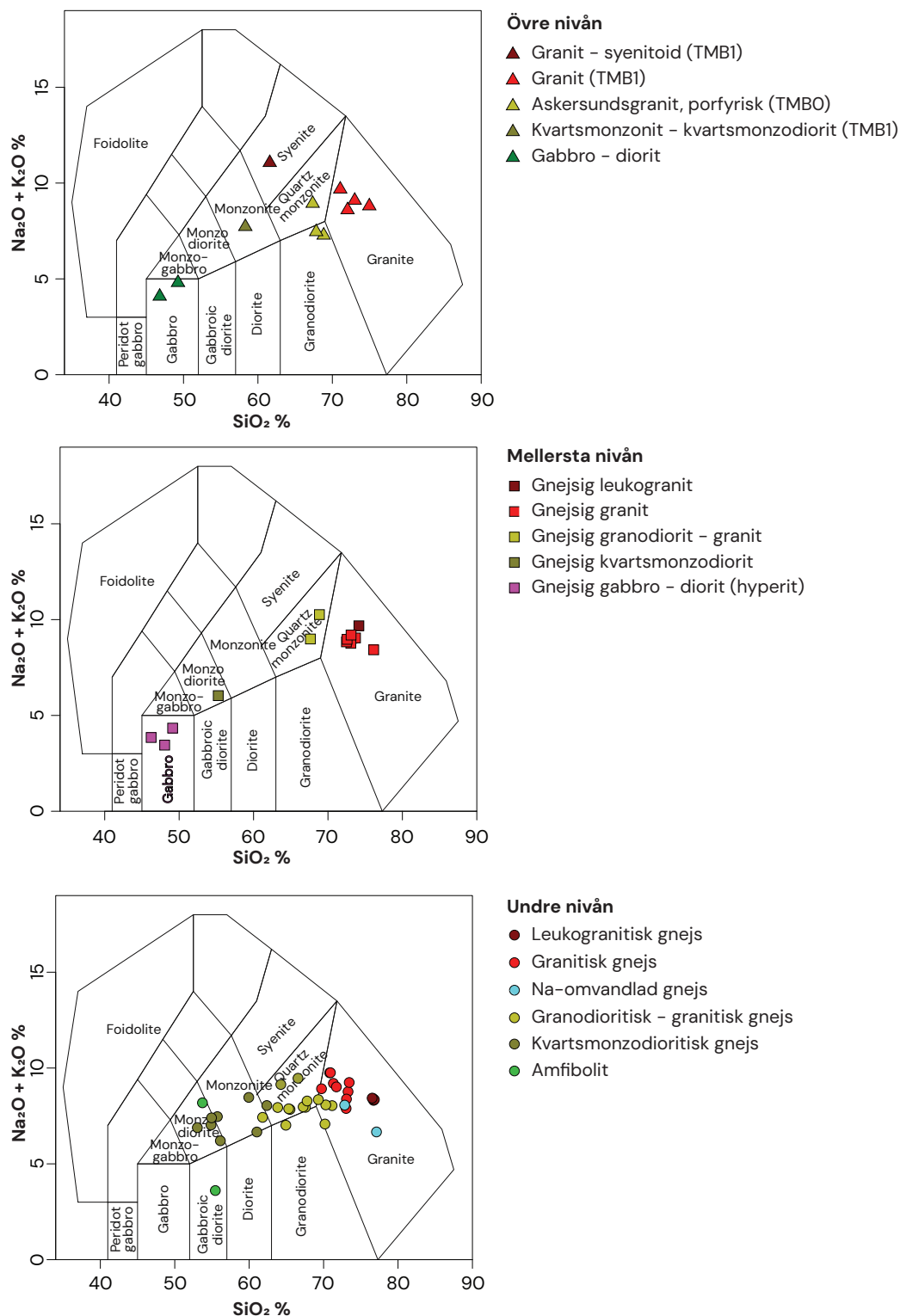
Figur 32. Kvartsmonzodioritisk gnejs. **A.** Kraftigt ådrad gnejs där tunna ådror är mer integrerade i bergarten, medan kraftigare pegmatitiska ådror har ett mer klippande uppträdande. Bergarten har minst två veckfaser. Observation UJB221032 (SWEREF 99 TM 6494090 N, 423492 E). **B.** Kraftigt ådrad gnejs där den yngre pegmatitiska typen av ådror dominerar helt. Även den ådringen uppvisar en flack veckning. Observation UJB230149 (SWEREF 99 TM 6460085 N, 384892 E). Foton: Ulf Bergström, SGU.

Nomenklatur

De olika bergartsgruppernas sammansättning och nomenklatur kan fastställas med hjälp av geokemiska analyser och studier av mineralinnehåll i mikroskop. Resultatet sammanställs i diskrimineringsdiagram för mineralsammansättning enligt Streckeisen (1976) (fig. 33), lito-geokemisk sammansättning (fig. 34) enligt TAS-diagram för intrusivbergarter (Middlemost 1994) eller vulkaniska bergarter (Le Bas m.fl. 1986). Den nomenklatur som kan utläsas från diskrimineringsdiagrammen följer väl den preliminära bedömningen gjord i fält angående bergarternas sammansättning och inga större avvikelser har noterats.



Figur 33. Bergarters mineralogiska sammansättning och nomenklatur enligt Streckeisen (1976) för de olika bergartsgrupperna inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda.



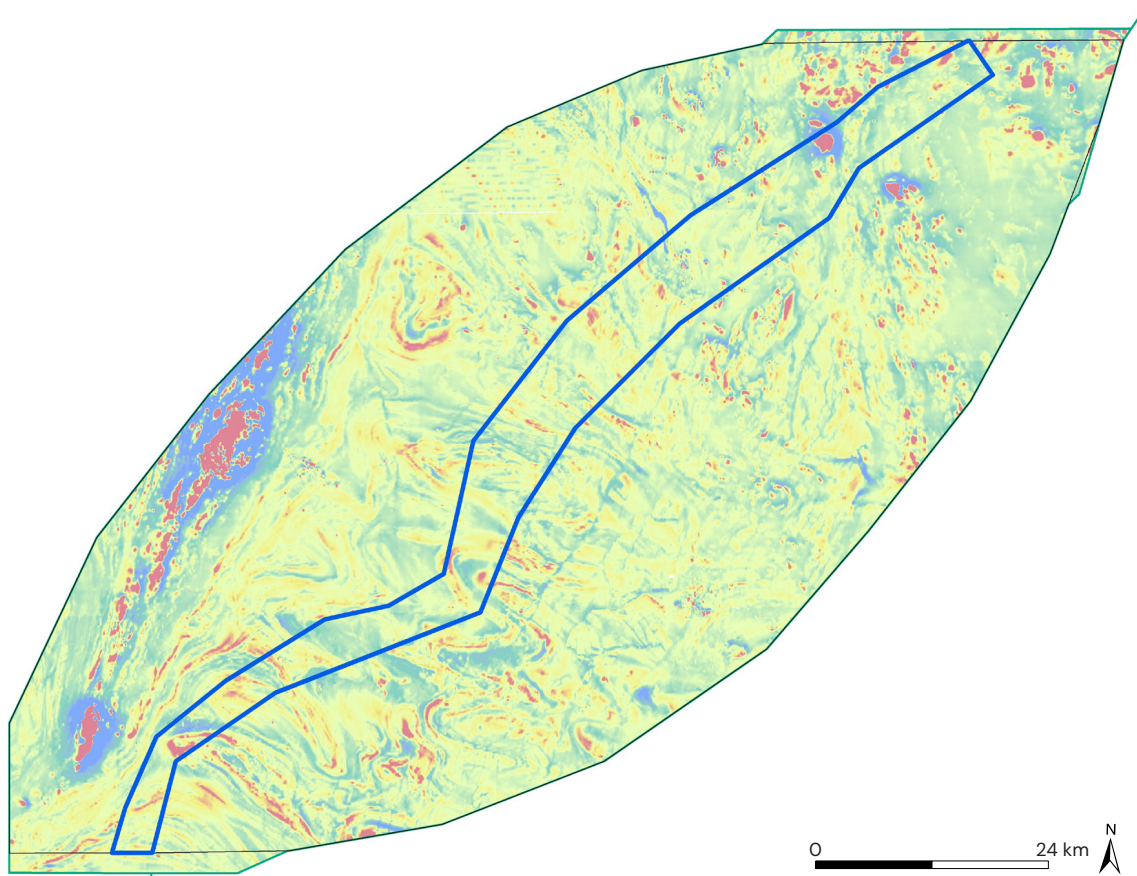
Figur 34. Geokemisk sammansättning och nomenklatur för de olika bergartsgrupperna i projektområdet E20 Hova-Vårgårda enligt TAS-diagram (Middlemost 1994).

Deformationszoner, sprickor och övriga strukturer

Berggrunden har varit utsatt för deformation av två slag: 1) plastisk deformation som har resulterat i en överpräglade foliation eller gnejsighet (parallellställning och utdragning av mineral) eller i en veckning (böjning) av lagrade eller bandade bergarter, 2) spröd deformation som har gett upphov till sprickor, krosszoner och förkastningar. Ett mellanting mellan dessa två typer utgör bildningen av myloniter, där dynamiska rörelser i berggrunden på större djup förminskat kornstorleken genom plastisk omkristallisation. Vid geologisk kartläggning mäts båda typerna av strukturer på hälltor och informationen lagras i hälldatabas och kartdatabas.

Strukturinformationen från fältmätningar kombineras med tolkning av information från mätningar av magnetfältets variation som gjorts med flyg från luften och höjddata, så kallad LiDAR för att ge en regional bild av deformationen i det aktuella området. Mycket av berggrundens spröda deformation är otillgänglig eftersom berget täcks av jordlagren i dalgångar och topografiska lågområden.

Östra segmentets undre nivå domineras av bergarter med en tydlig gnejsighet och ådring. Gnejsigheten kan sammanfattas i så kallade formlinjer där strukturmätningar på hälltor sammanställs och jämförs med bandade mönster på kartan som visar magnetfältets variation (fig. 35). Det bandade mönstret som är ett karaktärsdrag för Östra segmentets undre nivå motsvarar sannolikt en plastisk deformation, där gnejsigheten bildats under ett tektoniskt



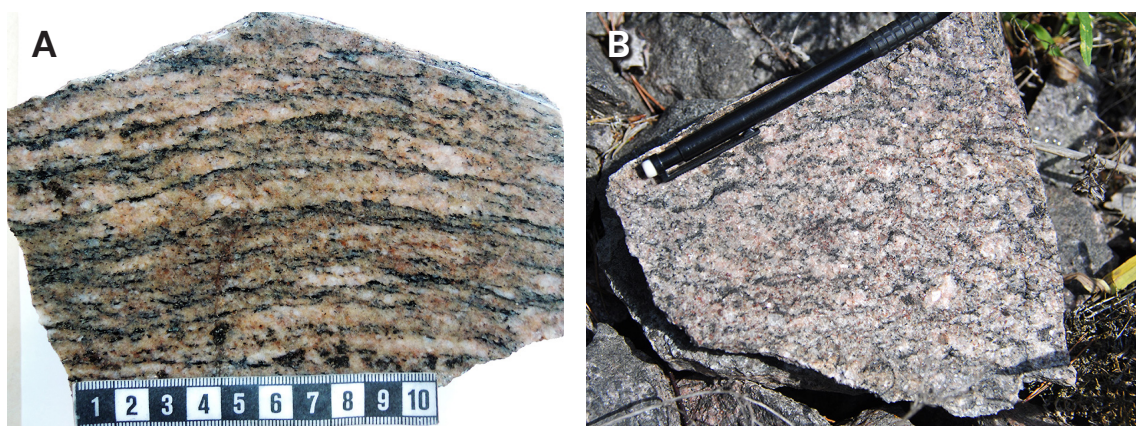
Figur 35. Karta över magnetfältets variation i projektområdet E20 Hova–Vårgårda. Den södra delen av projektområdet domineras av öst–västligt slingrande anomalier (röda) som motsvaras av veckade, kraftigt gnejsiga ortognejser. De stannar åt väster mot den nord–nordöstligt riktade Mylonitzonen. Dessa veckade magnetiska band finns inte i den norra delen av projektområdet, där mer punktformade högmagnetiska anomalier förekommer, ofta motsvarande amfibolit och gabbro.

skede äldre än den svekonorvegiska orogenesen. Man kan se att dessa formlinjer visar omfattande veckning under svekonorvegisk tid. Det bandade mönstret kan visas med strukturella formlinjer på den strukturgeologiska kartan. I Östra segmentets mellersta nivå saknas i stora delar denna plastiska fas visad med formlinjer, och berggrunden domineras av gnejsighet och rekristallisation utan ådror. I övre nivån är den gnejsigheten relaterad till svekonorvegiska orogenen begränsad. Deformationen som visas av TMB0-bergarterna och metagråvackan är troligtvis äldre.

Gränsszonerna mellan undre, mellersta och övre nivån ligger i samband med mer plastiska deformationszoner. I Mariestadstrakten uppträder en kraftig plastisk deformation med nord–nordvästlig riktning vid flera observationer på hälltytor, som sannolikt är en del i ett större mönster som definitionsmässigt kan utgöra gränsen mellan Östra segmentets undre och mellersta nivå. Exempelvis, vid stranden av Ekuddens camping i Mariestad finns starkt deformerad och bandad gnejs som är grå till rödgrå och innehåller decimeter–meter breda band av amfibolit (fig. 36). Den bandade gnejsen är veckad och innehåller även boudiner och körtlar av kvarts.



Figur 36. Starkt deformerade och bandade gnejser vid stranden på Ekuddens camping i Mariestad. Dessa bandade bergarter antyder förekomsten av en större regional deformationszon som kan utgöra gränsen mellan undre och mellersta nivån. Observation PLI230010 (SWEREF 99 TM 6509273 N, 430156 E). Foto: Paula Lindgren, SGU.



Figur 37. A. Kraftigt bandad och gnejsig bergart nära den tolkade kontakten mellan mellersta och övre nivån. **B.** Andra delar av hällområdet visar att den gnejsiga bergarten sannolikt är en granit–syenitoid (TMB1). Gnejsen antyder kraftig deformation längs gränsen mellan mellersta och övre nivån. Observation SPN180161, SWEREF 99 TM 6521501 N / 441961 E. Foton: Stefan Persson, SGU.

Situationen i detta område blir då densamma som motsvarande gräns längre söderut, väster om Jönköping i den så kallade Stråkenzonen (Larsson & Berglund 1995). Gränsszonen mellan mellersta och övre nivån är främst litologisk med en skillnad i bergarter på de olika sidorna gränsen. Sannolikt förekommer även här en viktig deformationszon. I observation SPN180161 (fig. 37) strax utanför det egentliga projektområdet uppträder ojämnkornig, något gnejsig granit–syenitoid som i delar är kraftigt gnejsig och bandad. Lokalen ligger mycket nära den förmodade gränsen mellan mellersta och undre nivån. Observationen stärker tanken på en ökad deformation i kontakten mellan de två terrängerna.

Åt väster på kartan som visar magnetfältets variation (fig. 35) kan man urskilja den viktiga deformationszonen Mylonitzonen, som skiljer det Östra segmentet från Idefjordenterrängen i väster. Magnetkartan visar flera stora magnetiska anomalier (i rött) som sannolikt beror på förekomsten av stora mafiska intrusiv i denna zon.

De plastiska strukturer som visas i formlinjerna övertväras av förkastningar, som visar betydligt rakare, sannolikt yngre och sprödare deformation som kross- och sprickzoner (fig. 34). Dessa zoner har normalt ett bergmaterial som visar betydligt sämre egenskaper för ballast och innebär rasrisk och vattenläckage vid byggnation i berget.

De spröda deformationszonerna och förkastningarna i projektområdet kan normalt identifieras med LiDAR-data, då den sämre hållfastheten i berget skapar topografiska depressioner, som kan utvecklas till dalgångar. Det går dessutom att verifiera de flesta dalgångar med hjälp av kartan som visar magnetfältets variation. Deformationszonerna har ofta en strykningsriktning i nordost (som skär formlinjerna mer vertikalt), men också nord–sydliga och i nordvästliga riktningar förekommer. Den nordostliga riktningen verkar dominera. De allra flesta deformationszonerna stupar brant.

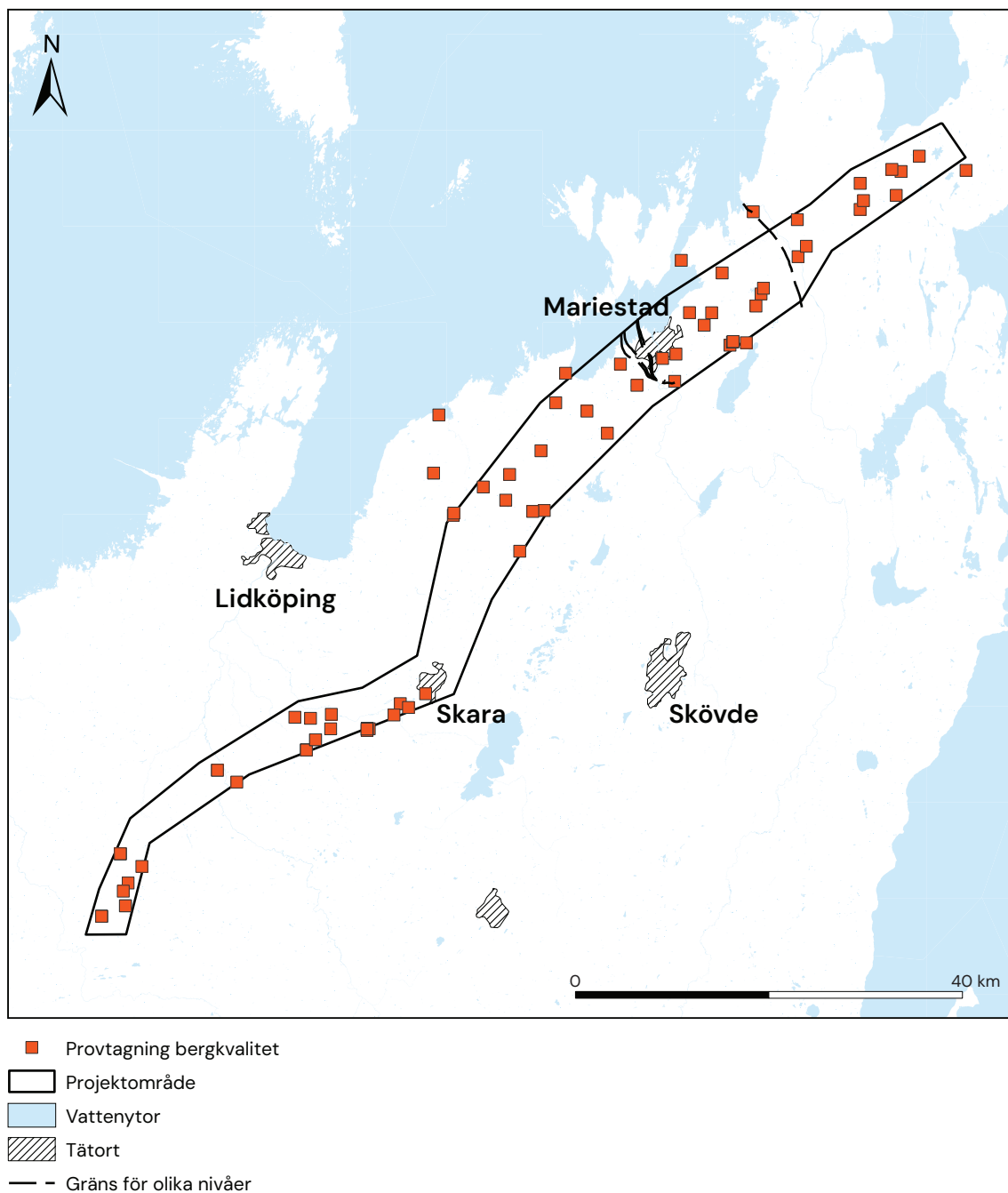
Tekniska analyser

Allmänna kriterier för bergkvalitet

De viktigaste parametrarna för en ballastproducent är bergmaterialets kvalitet och en strategisk lokalisering av tänken för att minska långa transporter. Vilka styrke- och beständighetsegenskaper som efterfrågas beror på vilket eller vilka användningsområden ballasten avses användas till. Ett material som är lämpligt för betong är inte nödvändigtvis lämpligt för andra användningsområden som väg- eller järnvägsmakadam. Nedan redogörs kort för de olika parametrarna som i varierande grad är viktiga för att bergmaterialet ska vara lämpligt som ballastmaterial inom användningsområdena väg, järnväg och betong.

Totalt har 76 prover från 67 lokaler tagits (fig. 38). Vid provtagningslokalerna har cirka 70–80 kg berg provtagits för tekniska analyser inklusive korndensitet, kulkvarnsvärde (mått på bergets nötningsbeständighet: A_N), Los Angelesvärde (mått på bergets sprödhet: LA) och Micro-Devalvärde (mått på bergets nötningsbeständighet: M_{DE}). Vidare har petrografiska analyser gjorts från varje provplats för bedömning av bergarternas alkalisilikaresistivitet (ASR), som ett steg i att avgöra bergets lämplighet som ballast till betong.

Berget som har provtagits är representativt för provlokalen och ej vittrat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket, om ingenting annat anges. Samtliga bergprover har tagits på platser där tillräckligt med lossprängd sten eller friska blottningar har funnits, det vill säga i bergskärningar längs vägar eller vid byggplatser. Provtagning har skett med slägga och spett. Vid provtagning i bergtäkter har specifika bergprover tagits ut, varför dessa provers egenskaper kan avvika från täktens upplagsmaterial. En sammanställning av de tekniska analysresultatens medelvärden per respektive bergartsenhet återfinns i tabell 2.



Figur 38. Platser för bergkvalitetsprovtagning (röda kvadrater) inom och utanför projektområdet.

Kulkvarnsanalys (A_N)

Kulkvarnsanalyserna har utförts enligt FAS-Metod 259-02 (Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige 2002, vilket motsvarar SS-EN 1097-9, Svensk Standard 2004, Nordiska kulkvarnsmetoden). Standarden är numera uppdaterad (Svensk Standard 2014). Krossning har utförts i en rotationskross med 30 mm utloppsspalt och i en laboratoriekäftkross med utloppsspalt inställd på 16 mm. Grovsiktning har skett i maskinskak, och finsiktning utfördes enligt FAS-metod 221-98 (Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige 1998). Analyserad fraktion är 11,2–16 mm. Kulkvarnsvärdet är ett mått på bergets nötningsmotstånd.

Det är framför allt bergmaterialets kornstorlek, kornstorleksfördelning, mineralsammansättning, kornfogarnas utseende och struktur som har inverkan på dess förmåga att motstå nötning, listat i ungefärlig ordning efter viktigaste parametrar. Om en liten andel av stenmaterialet nöts bort, erhålls ett lågt kulkvarnsvärde som alltså anger gott motstånd mot skavande nötning. Ett kulkvarnsvärde under 10 % innebär mycket god motståndskraft. Analys har i första hand gjorts på enkelprov. I de fall analysresultaten hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden har dubbelprov utförts. Kulkvarnsvärdena (A_N -värdena) presenteras i bilaga 1.

Micro-Devalanalys (M_{DE})

Micro-Devalvärdet (M_{DE}) är också ett mått på bergets nötningsmotstånd och metoden är mycket lik kulkvarnsmetoden. Obundna lager i vägkonstruktion är kravsatta med M_{DE} -metoden och inom de närmsta åren kan denna metod helt komma att ersätta kulkvarnsmetoden, varför en korrelation mellan de två metoderna anses vara nödvändig. Krossning och siktning har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. M_{DE} har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-1 (Svensk Standard 1997a). Om analysresultaten hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden har dubbelprov utförts. Resultaten av Micro-Devalanalyserna presenteras i bilaga 1. Korrelationen mellan kulkvarnsvärden och Micro-Devalvärden är god för kulkvarnsvärden upp till omkring 20 %. Bergarter med höga glimmerhalter erhåller nästan alltid höga Micro-Deval- och kulkvarnsvärden.

Los Angelesanalys (LA)

Krossning och siktning för Los Angelesanalys har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Los Angelesvärdet (LA-värdet) har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-2 (Svensk Standard 1997b).

LA-värdet är ett mått på bergartens motstånd mot fragmentering, det vill säga dess sprödhet. De viktigaste parametrarna som styr bergmaterialets sprödhet är mineralsammansättning, kornstorleksfördelning, kornfogning och strökorn. LA-apparaten utgörs av en stor trumma, med en inre diameter av 0,71 m, där provfraktionen för obundet vägmaterial är 10/14 mm. Provfraktionen är kravsatt av Trafikverket (Trafikverket 2015c) men används även som Europaanorm. Motstånd mot fragmentering av ballast till järnväg ska redovisas för fraktion 31,5/50 mm (Trafikverket 2015b). I LA-trumman får provfraktionen rotera tillsammans med elva stålkulor under 500 varv. LA-värdet definieras som den andel material som krossats ner till mindre än 1,6 mm av det ursprungliga, invägda provet. Ett lågt LA-värde anger att bergarten har ett gott motstånd mot fragmentering.

Tabell 2. Omfattning samt medelvärden av kulkvarnsvärde, Los Angelesvärde och Micro-Devalvärde för de analyserade bergartsenheterna. Bergkoden är baserad på bergartens ålder, sammansättning och tektoniska position, se tabell 1 för bergkoder.

Bergkod	Antal prover	Korndensitet (kg/dm ³)	Medel	Kulkvarns- värde (A _N)	Medel	Los Angeles- värde (LA)	Medel	Micro- Devalvärde (M _{DE})	Medel
5	2	2,67–2,68	2,68	27,1–27,9	27,5		20,5	23,8–26,4	25,1
8	4	2,40–2,62	2,54	29,3–37,2	34,1	37,3–47,9	44,5	22,6–31,3	27,9
10	2	2,64–2,65	2,65		15,1			8,9–11,2	10,0
11	1		2,76		19,6		22,9		14,9
13	3	2,64–2,65	2,64	7,8–9,4	8,8	16,0–31,4	23,0	4,7–5,7	5,2
14	2	2,64–2,68	2,66		14,7	33,3–35,2	34,2	9,7–10,1	9,9
15	1		2,79		19,5		26,0		13,4
18	3	2,70–2,72	2,71	15,1–21,7	18,4	23,2–27,2	24,7	10,2–16,3	13,4
19	1		2,97		12,7		20,3		9,0
20	1		2,96		20,5		19,5		17,0
21	3	3,01–3,05	3,03	12,4–39,5	27,83	20,5–37,0	29,7	9,0–34,7	23,6
22	1		2,62		13,80		40,4		8,5
23	8	2,63–2,66	2,65	11,9–17,2	14,12	28,3–64,7	41,4	7,2–14,7	9,4
27	2		2,66	18,7–24,1	21,40	44,8–50,3	47,6	12,3–16,2	14,3
28	1		2,81		21,90		26,2		14,3
31	4	2,97–3,07	3,03	27,3–47,9	39,2	27,3–47,9	56,4	22,2–40,1	32,0
32	4		2,62	10,4–10,7	10,6	30,8–34,2	32,4	6,5–7,0	6,7
33	9	2,63–2,66	2,65	10,5–13,7	12,5	26,2–41,9	32,9	6,6–9,4	7,7
35	2	2,64–2,69	2,67	17,8–47,5	32,7	43,0–85,6	64,3	10,3–26,4	18,4
36	2	2,67–2,68	2,68	14,0–15,9	15,0	35,9–38,6	37,2	9,3–10,5	9,9
37	12	2,65–2,75	2,70	11,9–21,4	16,8	22,9–48,1	34,8	7,4–15,7	11,0
38	8	2,71–2,87	2,79	16,0–24,3	22,5	26,6–56,3	44,8	11,6–20,2	16,2
39	2	2,82–3,02	2,92	25,5–33,4	29,46		35,5	17,9–25,4	21,6

Betongtekniska analyser

För att ballast ska vara lämplig att använda till betong behöver den (i) ha en låg glimmerhalt, (ii) inte vara alkalisilikareaktiv (se vidare under petrografiska analyser), (iii) vara lågstrålande om den ska användas till husbetong, (iv) inte innehålla sulfidmineral, (v) inte vara leromvandlad eller vittrad, (vi) ha en låg vattenabsorption och (vii) ha en kornform som inte är stänglig eller flisig.

Ju fler av dessa kriterier som är uppfyllda desto högre kvalitet och fler användningsområden är möjliga för betongballasten. Alla kriterier behöver dock inte vara uppfyllda för vissa enklare betongsorter. Se vidare krav och rekommendationer i SS-EN 12620/A1:2008, Ballast för betong (Svensk Standard 2008).

Glimmermineral försämrar rörligheten i bruk och betongmassa, samtidigt som glimmer dessutom absorberar betydligt mer vatten än andra mineral. Detta kan innebära problem, särskilt om glimmerhalten varierar kraftigt i bergmaterialet. Högstrålande bergmaterial med aktivitetsindex (AI) större än 1 rekommenderas inte att användas som ballast för husbetong, men går utmärkt att använda till exempelvis bro- eller tunnelbyggen där människor inte vistas mer än tillfälligt. Alkalisilikareaktiva bergmaterial är problematiska för betongändamål då de på sikt kan förorsaka en uppsprickning av betongkonstruktionen, särskilt om den är utsatt för fukt (till exempel brofundament). En stänglig eller flisig kornform försämrar betongmassans reologiska egenskaper, medan hållfasthet däremot är av underordnad betydelse förutsatt att ballasten inte ska användas till exempelvis betongvägar.

Tabell 3. Medelvärde för glimmerhalt, ASR och aktivitetsindex med betydelse för bergartsmaterialets lämplighet som betongballast för de olika bergartsgrupperna.

Bergkod	Antal	Glimmerhalt, volym-%	ASR	Aktivitetsindex
5	2	0,0	1	0,14
8	4	1,7	3	0,22
10	2	1,1	1	
11	1	35,1	1	0,79
13	3	5,8	2	0,85
14	2	11,2	1	0,93
15	1	20,1	1	0,49
18	3	21,4	2	0,78
19	1	14,2		0,27
20	1	7,4		0,23
21	3	5,3	1	0,17
22	1	0,0	1	0,87
23	8	4,6	1	0,90
27	2	7,0	1	0,94
28	1	14,9	1	0,41
31	4	3,4		0,22
32	4	1,7	1	1,13
33	9	4,8	1	0,84
35	2	3,1	1	0,67
36	2	6,7	1	0,70
37	12	9,4	1	0,69
38	8	6,3	1	0,51
39	2	14,0	1	0,42

I projekt E20 Hova–Vårgårda har berggrundens lämplighet som betongballast analyserats och klassats efter kriterierna (i) glimmerhalt, (ii) risk för alkalisilikareaktivitet och (iii) aktivitetsindex. Klassningen har också tagit hänsyn till innehåll av sulfidmineral. Se resultat i tabell 3. Det finns flera andra betongtekniska analyser som exempelvis olika bruksreologiförsök som testar betongmassans egenskaper som pumpbarhet och arbetbarhet, men sådana analyser har inte utförts inom detta projekt.

Resultat

För att utvärdera bergmaterialets lämplighet som ballast inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda karakteriseras och klassificeras de 76 provtagna bergmaterialen med medelvärde för de olika mätta och analyserade metoderna för varje bergartstyp i tabell 2. De tekniska analyserna visar att det finns en lagbundenhet, en skillnad mellan de olika identifierade bergartsgrupperna. Men det finns också en variation inom varje grupp och som mer beror på individuella texturer och strukturer hos bergartsprovet. Variationerna beror på att det begränsade antalet prover inte alltid ger tillräcklig statistisk säkerhet.

I den övre nivån av Östra segmentet finner man ett granitiskt material (bergkod 13) som har låga värden för både kulkvarns- och LA-värden och som ger ett bra ballastmaterial. Övriga berggrundsdelar som tillhör den stratigrafiska enheten TMB1 (bergkoderna 14 och 15) ger högre värden för både kulkvarns- och LA-värden och därmed ger ett sämre material. Inom den stratigrafiska enheten TMB0 finns en porfyrisk granit-granodiorit (bergkod 18) med

sämre värden på framför allt kulkvarn och ger ett ballastmaterial med begränsad användning. Övriga bergartstyper i TMB0 är inte testade, men är troligen bättre, beroende på att de har lägre glimmerhalter.

I den mellersta nivån har den dominerande gnejsiga graniten (bergkod 23) normalt en begränsad användning med LA-värden som med några undantag är höga. Amfiboliter (bergkod 21) är ett vanligt bergartsled i mellersta nivån och har generellt höga LA- och kulkvarnsvärden, vilket ger ett sämre ballastmaterial för både väg- och järnvägsändamål. I ett fall är en inre del av en amfibolitkropp provtagen som har bevarade primära magmatiska texturer, och som uppvisar betydligt bättre LA- och kulkvarnsvärden. Sannolikt beror detta på att kornfogarna är mer gynnsamma i denna magmatiskt bevarade textur.

I den undre nivån är det genomgående höga LA-värden för alla bergartstyper, vilket begränsar användningen som ballastmaterial för väg och järnväg. Lite bättre material finns i de leukogranitiska ortognejserna med LA-värden strax över 30 % och kulkvarnsvärde nära 10 %. De leukogranitiska gnejserna bildar mycket små bergartskroppar så den bättre kvaliteten är geografiskt begränsad. Ett geografiskt område med bättre LA-värden finns vid Götene och detta gäller för både granitiska och granodioritiska–granitiska ortognejser. Kvartsmonzodioritiska ortognejser har förutom höga LA-värden generellt också höga kulkvarnsvärden, vilket begränsar användningsområdena för ballastmaterialet ytterligare.

De yngre paleozoiska bergarterna, sandstenar (bergkod 8) och kalkstenar (bergkod 5), har generellt höga kulkvarns- och LA-värden, vilket begränsar användning av dessa material som ballast för väg och järnväg. Däremot kan de passa bättre som råvara för framställning av betongballast.

Berggrundens strålningsegenskaper

Allt bergmaterial innehåller små mängder av de naturligt radioaktiva ämnena kalium, uran (radium) och torium. Kalium finns i viktiga bergartsbildande mineral såsom kalifältspat, biotit och muskovit. Uran och torium förekommer i betydligt lägre halter som varierar i olika typer av bergarter på grund av deras olika bildningssätt samt kemiska och mineralogiska sammansättning. De bergarter som normalt förväntas ha högre halter av uran och torium, med förhöjd strålning, är graniter och pegmatiter. Halter av uran i granitiska bergarter ligger vanligen mellan 1 och 10 ppm (gram per ton) och innehållet av torium är vanligen mellan 5 och 30 ppm (Jelinek & Eliasson 2015). Graniter har dessutom en högre kaliumhalt än andra bergarter. Mafiska bergarter som diabas och amfibolit har genomgående låga halter av alla naturligt radioaktiva grundämnen.

Förhöjda halter av radioaktiva ämnen i ett bergmaterial kan orsaka problem, dels på grund av för hög gammastrålning, dels genom en ökad radonavgång. Detta medför att det finns vissa restriktioner vid användning av bergmaterial med förhöjd strålningsnivå eller hög radonavgång till husbyggnadsändamål. Innehållet av radioaktiva ämnen i ett bergmaterial kan anges med aktivitetsindex (AI), som också används som ett mått för ett byggnadsmaterials stråldos. Aktivitetsindex beräknas utifrån halterna av kalium, uran (radium) och torium. Ett byggnadsmaterial (till exempel betong) med aktivitetsindex 1 beräknas ge upphov till en stråldos på högst 1 mSv (millisievert) per år, förutsatt att samma material används i både golv, väggar och tak (Europeiska kommissionen 1999). Enligt Strålskyddsförordningen (2018:506) är 1 mSv/år referensnivån för stråldos från ett färdigt byggnadsmaterial.

Omvandling mellan halt och aktivitetskoncentration

När man anger halten av kalium avser man totalhalten av alla kaliumisotoper. Det är dock bara en kaliumisotop som är radioaktiv, kalium-40. Kalium-40 utgör 0,012 % av totala mängden kalium.

- 1 % kalium motsvarar 313 Bq/kg kalium-40
- 1 ppm (1 g/ton) uran motsvarar 12,35 Bq/kg uran-238 och 12,35 Bq/kg radium-226
- 1 ppm (1 g/ton) torium motsvarar 4,06 Bq/kg torium-232

Beräkning av aktivitetsindex och radiumindex

Aktivitetsindex beräknas enligt

$AI = C_{K-40}/3\,000 + C_{Ra-226}/300 + C_{Th-232}/200$, där C_{K-40} , C_{Ra-226} och C_{Th-232} är aktivitetskoncentrationen i Bq/kg för de motsvarande radionukliderna i byggnadsmaterialet.

Om man i stället utgår från halter av kalium, uran och torium i % och g/ton blir beräkningen:

$AI = K (\%) \times 313/3\,000 + U (g/ton) \times 12,35/300 + Th (g/ton) \times 4,06/200$

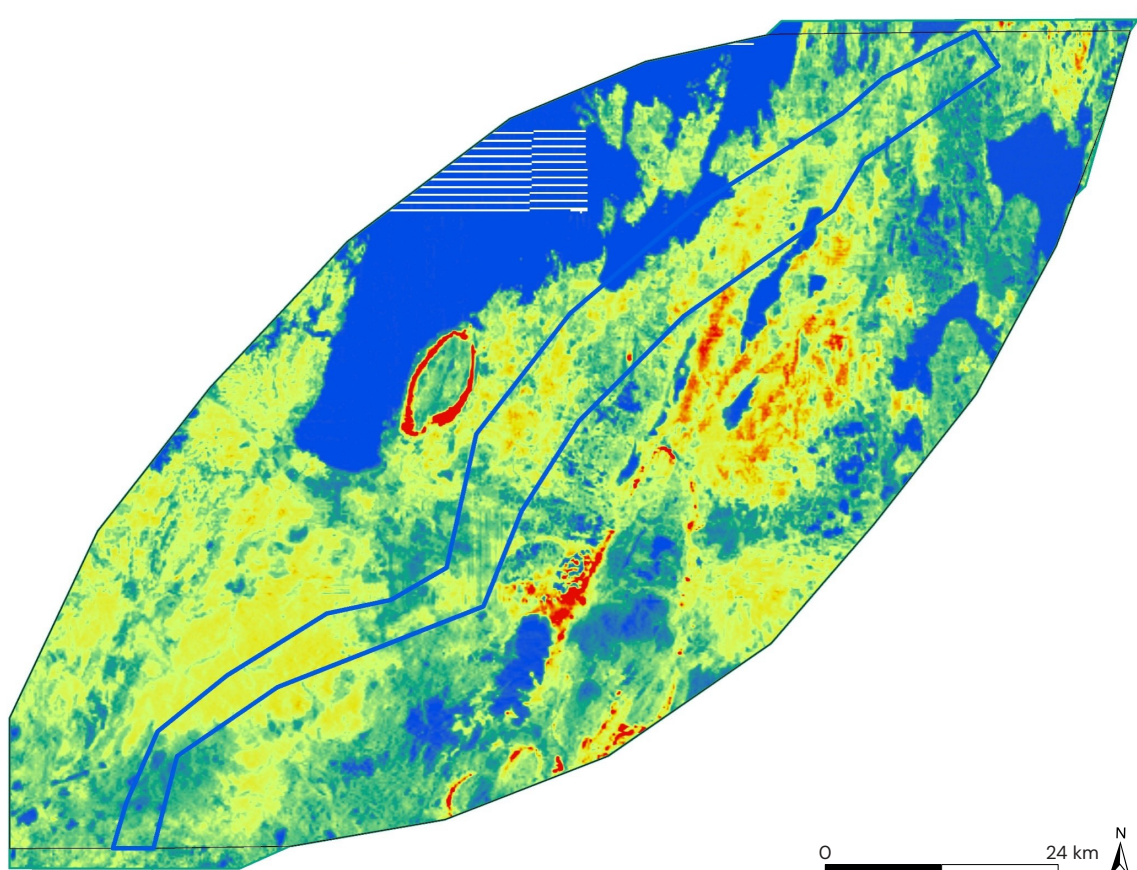
SGU genomför flygmätningar av gammastrålning som visar halterna av kalium, uran och torium i översta delen av jordtäcknet eller berggrunden. Dessa mätningar tillsammans med berggrundsinformation ligger till grund för planering av gammastrålningsmätningar på berghällar. Vid dessa mätningar bestäms den totala gammastrålningen samt halten av kalium, uran/radium och torium. Aktivitetsindex beräknas för samtliga mätpunkter och finns tillgängliga genom SGU:s kartvisare *Ballast*. Bilaga 2 visar en sammanställning av resultat från hållmätningar på provtagningsplatser för bergkvalitet. Tabell 4 visar medelvärde och omfattning av de radiometriska komponenterna K, U och Th samt aktivitetsindex för samtliga strålningsmätningar inom projekt E20 Hova–Vårgårda inklusive ett antal mätningar på kritiska bergartstyper och lokaler utanför projektområdet.

Östra segmentets bergarter har generellt en låg nivå av naturlig bakgrundsstrålning. Högre halter förväntas från granitiska bergarter än bergarter med mer mafiska sammansättningar. Gabbror, amfiboliter och diabaser har låga nivåer. Pegmatiter och relaterade graniter kan ha höga men varierande halter. En specifik egenskap är det höga U/Th-förhållandet i pegmatiter i förhållande till granitiska bergarter.

Högst strålningshalter förväntas hos den kambriska alunskiffern, som har mycket höga uranhalter och ger kraftiga radiometriska anomalier (fig. 39). Övriga paleozoiska bergarter har generellt sett en mycket låg naturlig strålning.

I projektområdet E20 Hova–Vårgårda är de olika bergartsgrupperna generellt lågstrålande med ett aktivitetsindex under 1,0. En generell iakttagelse är att de olika bergartstyperna i mellersta nivån är till synes mer strålande än motsvarande bergarter i undre nivån. Detta kan på ett mycket tydligt sätt visa på var urlakningen av de radiogena komponenterna U och Th i Östra segmentet har skett och troligen är orsaken till den höga och upprepade deformationen och metamorfosen i detta område.

Undantaget från den låga strålningsnivån är de leukogranitiska ortognejserna i den undre nivån (bergkod 32) som har ett medelvärde på 1 och där många mätningar visar på värden som är strax över 1. Detta gör att leukograniterna kan vara ett något sämre material för husbetongballast. Bergartstypen förekommer relativt sparsamt, så det får dock en liten effekt i kartmodellen för betongballast. Motsvarande bergartstyp i mellersta nivån, gnejsig leukogranit (bergkod 22), har något högre aktivitetsindex men det statistiska underlaget är här för litet.



Figur 39. Strålningskartan med fördelningen av aktivitetsindex i projektområdet E20 Hova–Vårgårda. Berggrund med hög bakgrundsstrålning syns som röda områden och motsvaras generellt av förekomsten alunskiffer i den yngre sedimentära berggrunden. Utöver alunskiffern har endast anomalt aktivitetsindex mätts på ett ställe.

Anomala mätresultat inom projektområdet är annars högst sporadiska och kan uppträda i olika bergarter, och sannolikt är de mycket areellt begränsade. Även pegmatiter (bergkod 9) från undre och mellersta nivån har ett medelvärde på aktivitetsindex under 1, trots att de intruderat efter metamorfos och deformation. De har även en förhöjning av uranhalt, cirka 9 ppm i medelvärde.

I den övre nivån anger de allra flesta mätningarna aktivitetsindex under 1 för alla bergartstyper.

Det enda lite större området med hög strålning inom projektområdet är i de centrala delarna av Lugnäsberget, där alunskiffer går i dagen. Det saknas blottning här, men från alunskifferlokaler utanför projektområdet har mätvärden normalt aktivitetsindex = 5. I övrigt har de paleozoiska bergarterna, sandsten och kalksten, mycket låga strålningsnivåer.

Tabell 4. Resultat från mätningar med gammaspektrometer på håll inom projektområdet E20 Hova-Vårgårda. Databasen omfattar mätningar från olika provtagningsplatser för bergkvalitet, mätningar gjorda för dokumentation av bergarter i samband med kartläggningen och uppföljningar av strålningskartan. Vid ett antal av mätlokaler har mätningar utförts på mer än en bergart. Mycket få mät-punkter är att betrakta som strålningsanomala, och dessa punkter anses inte påverka det statistiska utfallet för de olika bergartstyperna. Bergkoder är beskrivna i tabell 1.

Bergkod	Antal	K (%)		U (ppm)		Th (ppm)		Al	
		min-max	medel	min-max	medel	min-max	medel	min-max	medel
5	1		0,5		0,5		3,6		0,14
7	2	1,5–3,3	2,4	113,9–145,4	129,7	0–2,5	1,2	4,84–6,38	5,6
8	2	0,3–1,3	0,8	0,4–1,9	1,2	2,4–6,4	4,4	0,10–0,34	0,22
9	8	2,8–4,8	3,86	0,7–22,9	9,42	1,0–37,4	9,91	0,48–1,99	0,99
11	1		2,4		3,5		19,4		0,79
13	3	4,7–5,5	5,07	1,2–2,3	1,93	3,7–15,3	9,66	0,61–0,92	0,80
14	10	4,3–5,9	4,83	0,8–7,4	3,00	2,8–25,7	14,48	0,70–1,28	0,92
15	11	2,5–4,6	3,21	0,6–6,4	2,82	2,4–12,7	7,97	0,54–0,78	0,61
16	1		4,4		2,7		10,9		0,79
17	3	2,0–4,4	3,3	1,1–4,8	2,45	7,6–17,5	13,6	0,42–0,85	0,71
18	4	3,6–5,0	4,34	2,4–4,2	3,00	7,5–13,3	11,5	0,67–0,92	0,81
19	1		1,1		1,0		3,9		0,23
20	1		1,7		0,8		2,9		0,27
21	8	0,7–1,7	1,07	0,3–2,8	1,14	0,2–5,8	3,08	0,15–0,34	0,22
22	4	4,6–5,4	4,92	1,7–4,7	3,64	14,4–20,8	18,2	0,87–1,14	1,03
23	47	3,7–5,3	4,41	2,0–10,0	4,22	11,0–36,4	17,4	0,75–1,55	0,96
27	2	3,1–3,7	3,4	3,0–3,8	3,4	11,2–13,3	12,3	0,67–0,82	0,74
28	8	1,2–3,9	2,57	1,5–6,3	3,0	0,9–15,7	8,63	0,23–0,85	0,56
31	13	0,6–2,4	1,22	0–2,3	0,68	1,0–10,5	3,35	0,10–0,41	0,22
32	15	3,8–5,4	4,50	2,1–6,2	4,17	10,8–25,9	18,0	0,76–1,23	1,00
33	74	2,8–5,9	4,22	0,4–6,9	3,06	5,8–24,4	14,9	0,61–1,15	0,87
35	7	0,4–3,4	2,17	1,3–15,0	5,04	9,6–42,8	16,8	0,40–1,7	0,77
36	2		5,0	2,5–3,9	3,2	15,9–17,0	16,4	0,96–1,00	0,98
37	77	2,0–4,4	3,25	0,8–7,8	2,89	4,1–22,3	11,7	0,38–1,06	0,69
38	36	1,1–3,1	2,28	0,7–5,5	2,45	2,4–17,5	9,47	0,30–0,80	0,53
39	8	0,8–2,3	1,56	0,3–2,0	1,22	1,4–11,2	4,81	0,13–0,45	0,31

Petrografisk analys

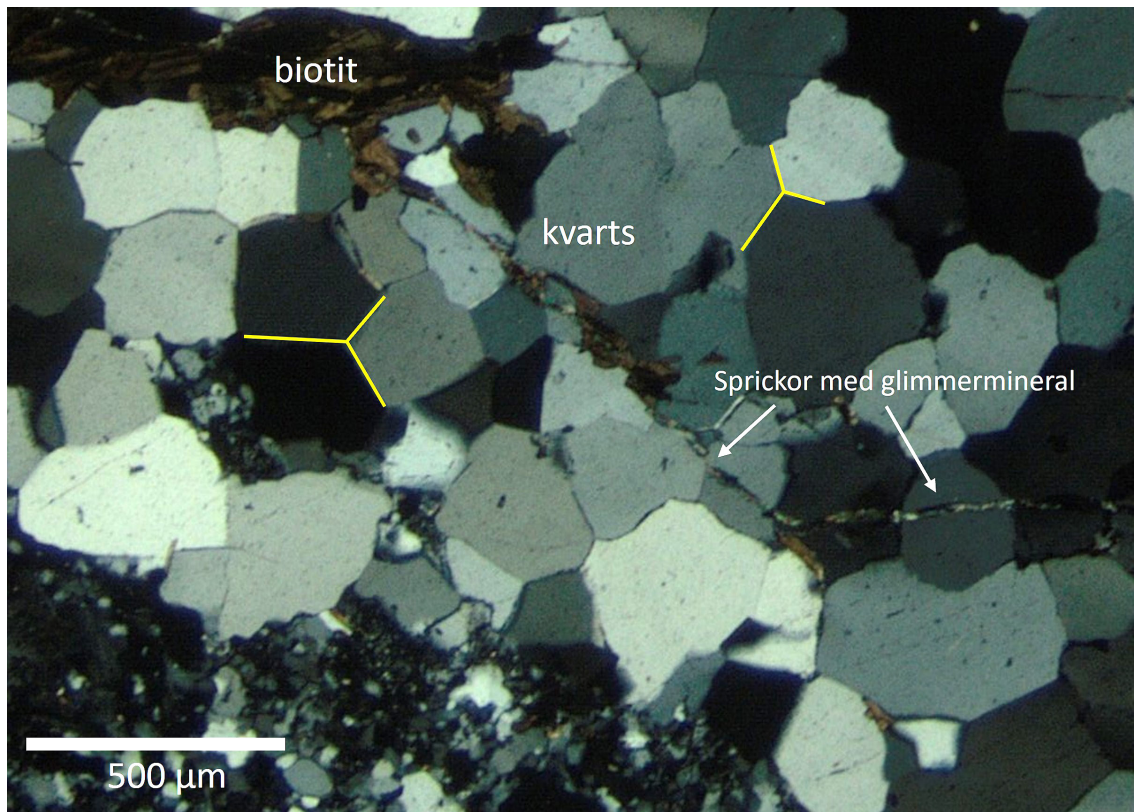
Bergarternas egenskaper som ballast beror till stor del på bergartens mineralsammansättning, kornstorlek, kornfogar och texturer. En petrografisk analys görs med hjälp av transmissionsmikroskopi i tunnslip från ett representativt bergartsprov vid provtagningslokalen. De olika ingående mineralen identifieras och deras mängdförhållanden bestäms genom punkträkning av mineralkorn, så kallad modalanalys (bilaga 3).

Petrografi av bergarter i projektområdet

Bergarterna inom projektområdet karakteriseras av både primära texturer och sekundära överpräglningar i form av deformation och metamorfos av olika grad. Omkristallisation under statisk, termal påverkan och retrograd omvandling är vanligt. Plastisk deformation och gnejsighet finns utvecklad i de flesta av proverna från alla tre nivåerna, och det verkar påverka de tekniska egenskaperna i olika grad. För de flesta bergarter är det tydligt att raka kornfogar och jämnkornighet försämrar de tekniska egenskaperna (fig. 40). Mer grov kornstorlek påverkar normalt också kvaliteten på materialet till det sämre. Sporadiskt förekommer glimmermineral, Fe-hydroxider och opakmineral i kornfogarna inom alla bergkvalitetsklasser. En större mängd omvandlingsmineral i kornfogarna försämrar normalt sprödhetsegenskaperna mer än nötningsegenskaperna. Ådring förekommer i hela Östra segmentet men är speciellt vanligt förekommande i de kvartsmonzodioritiska och granodioritiska–granitiska gnejserna i den undre nivån. Ådringen är oftast grovkornig. Den är en början till uppsmältning av bergarterna och ådringen består främst av kvarts och kalifältspat. Veckning är ofta synlig i ådrorna eftersom de ljusa mineral som ingår i ådrorna (kvarts och fältspat) är mer duktila (högre förmåga att utsättas för plastisk deformation utan att spricka) än de mörkare mineralen som utgör bergarten runtomkring ådrorna. Ibland har ådrorna en bård av mörka mineral, och det kan förekomma andra mineral inuti ådrorna, exempelvis magnetit. En stor mängd ådror kan påverka bergartens tekniska egenskaper. För att få en representativ modaldata i bergarter med mycket ådror har punkträkning av dessa prov gjorts separat dels på tunnslip utan ådring, dels på tunnslip av ådring, och därefter räknats ut med hänsyn till hur stor andel ådror som bergarten innehåller.

Glimmermineral

Inom gruppen glimmer återfinns mineralen biotit, muskovit och klorit, varav biotit är ett viktigt bergartsbildande mineral. Biotiten är ibland kloritomvandlad. Andelen fri glimmer (bestämd enligt VVMB 613, Trafikverket 2001, för material 0,125–0,25 mm) får ej överstiga 50 vikt-% för obundna vägmateriel. Om andelen är mellan 30 och 50 vikt-%, får inte bärlagret trafikeras av tung trafik (Vägverket 2005a, b). Även omvandlingsmineral som serpentin och epidot påverkar bergartens beständighet. Mineralogiskt visar det sig att glimmermängden ofta når sådana halter att den överskuggar effekterna av parametrar som annars förbättrar egenskaperna. Fördelningen av glimmer är dock ofta avgörande vid medelhöga glimmerhalter. Avgörande för bergarternas styrkeegenskaper är dock inte glimmertyp utan totalhalten av glimmer. Bergarterna i projektområdet har en varierande glimmerhalt (bilaga 3). De högsta glimmerhalterna ligger runt 20 % och det gäller främst omvandlade mafiska bergarter och kvartsmonzonitiska–kvartsmonzodioritiska gnejser, men det finns även glimmerhalter runt 20 % i några granodioritiska och granitiska gnejser. De lägsta glimmerhalterna som ligger på under 1 % finns i de leukokratiska granitiska gnejserna. De övriga granitiska gnejserna har i genomsnitt glimmerhalter på runt 5 %.



Figur 40. Exempel på raka kornfogar (markerat med gula linjer) och spröda sprickor fyllda med glimmermineral i granitisk ortognejs från övre nivån (SPN180145A). Detta prov har klassats som bergkvalitet klass 3 för både betong, väg och järnväg. Kulkvarnsvärdet är 21,7, LA-värdet är 23,8 och glimmerhalten ligger på 20,6 %. Foto: Paula Lindgren, SGU.

Opaka mineral

De opaka mineralen i bergarterna i E20-området utgörs av malmmineral som oxider, sulfider och metaller. Bland oxiderna finns magnetit, hematit och ilmenit. Magnetit är vanligt förekommande i granitisk ortognejs (fig. 41). I opakmikroskopering har det framkommit att magnetiten är ibland ersatt av hematit och götit. Hematit och götit förekommer även i spaltplanen av hornbländekristaller i de hornbländeförande granitiska ortognejserna. Bland sulfiderna finns till exempel pyrit, magnetkis och kopparkis. Pyrit förekommer i de flesta bergarterna. I de granitiska ortognejserna finns pyrit både i korngränser mellan biotitkorn, som inneslutningar i plagioklas och som fristående subhedrala korn. Halterna av pyrit är dock relativt små i dessa bergarter vilket innebär att E20 Hova–Vårgårda-området inte har samma problematik med sulfidberg som finns i exempelvis Södermanlandsområdets metasedimentära gnejser (Bergström m.fl. 2025)

Sulfidmineral

Sulfidmineral förekommer, oftast i mycket små mängder, i många bergarter. Det vanligast förekommande sulfidmineralet är pyrit (FeS_2) följt av magnetkis (Fe_{1-x}S). Sulfidmineral påträffas i flera olika magmatiska bergarter men företrädesvis i mörka bergarter såsom gabbro och diabas, och i deras mer högmetamorfa motsvarighet, amfibolit. Sedimentära bergarter som paragnejs och framför allt mer glimmerrika paragnejser kan lokalt innehålla kraftigt förhöjda halter av pyrit och magnetkis. Sulfidmineral i vulkaniska bergarter återfinns som källa till koppar-, bly-, zink-, guld- och silvermalmer och sulfidmineral är vanliga i områden med mineraliseringar och till dem kopplade omvandlingszoner.

Sulfider är inte ett problem inom projektområdet, men i andra fall kan ett högt innehåll av sulfidmineral orsaka problem i bergmaterial; dels vid användning av bergmaterialet som obunden ballast i väg- och järnvägsanläggningar, dels vid framställning av betong. I samband med byggnation av vägar och järnvägar utnyttjas i så hög grad som möjligt bergmaterial i anläggningens produktionslinje. Bergmassorna som lossålls och krossas från bergskårningar lagras vanligen i tillfålliga upplag för att senare användas i projektet. Om ballasten innehåller sulfider kan dessa i kontakt med vatten och syre oxideras, varvid pH-vårdet i lakvatten sårks. Detta sker vanligen genom att det, i första skedet, bildas jårnsulfater och svavelsyra. Vid oxidationen kan åven metaller frigåras och gå i låsning i lakvatten. Lakvatten med lågt pH-vårde och håga metallkoncentrationer kan orsaka skador på miljån. Åven vid framställning av betong kan bergballast som innehåller sulfidmineral orsaka problem. Sulfidmineral som pyrit och magnetkis oxiderar fårhållandevis lätt till jårnsulfat eller vattenhaltiga jårnhydroxider. Jårnsulfater kan under ogynnsamma fårhållanden ståra betongblandningens hårdning och ge en volymåkning som på sikt kan språcka upp betongen. Dessutom kan vittrande sulfidmineral missfårga en betongkonstruktion. I Ballast får betong (Svensk Standard 2008) anges att speciella fårsiktighetsåtgårder kråvs om magnetkis fårrekommer i ballasten. Om fårrekomsten av detta mineral år kårnd, ska den totala svavelhalten i ballasten inte åverstiga 0,1 %. Normalt korrelerar svavelhalten i en geokemisk analys av ett bergmaterial mot mårngden sulfidmineral. Vid en svavelhalt som år hågre ån 0,3 vikt-% i bergmaterialet, vilket ungefår motsvarar 0,3 volym-% pyrit, rekommenderas att speciella åtgårder vidtas innan man anvårder bergmaterialet får betong-, våg- och jårnvågsåndamål. Trafikverket (2015d) beskriver hur man ska hantera sulfidfårande bergarter i våg- och jårnvågsprojekt får att minimera miljåpåverkan. Vid till exempel lagring och anvårndning av ballast med håga sulfidhalter bår tillgången på syresatt vatten minskas genom exempelvis åvertåkning eller deponering av massorna under grundvattenytan.

Inom projektområdet E20 Vårgård-Hova år fårrekomsten av sulfidmineral fårhållandevis begrånsad. Gabbro-diorit (hyperit) fårån mellersta och undre nivån (bergkoderna 21 och 31) har en svavelhalt på mellan 0,1 och 0,2 vikt-% vid litogeokemisk analys. Opakmikroskopiering visar att det fråmst år mineralen magnetkis (Fe_{1-x}S) och pyrit (FeS_2) som fårrekommer i bergarten med små mårngder kopparkis (CuFeS_2). Pyrit år det absolut vanligaste sulfidmineralet i det åvriga provmaterialet, men halterna år generelltt mycket låga. På några stållen har noterats pyrit i anslutning till sprickor.

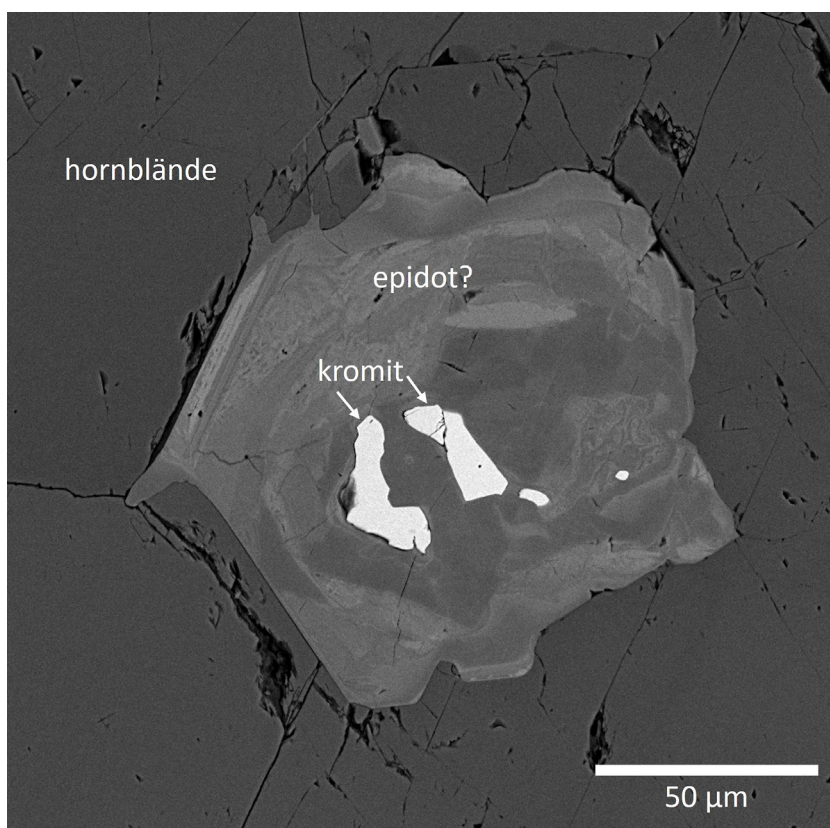
Oxidmineral

Oxidmineral fårrekommer, oftast i mindre mårngder, i mårnga bergarter. Det vanligaste oxidmineralet i det svenska urberget år magnetit (Fe_3O_4), men det finns också mineral som hematit (Fe_2O_3), ilmenit (FeTiO_3), och rutil (TiO_2). De påtråffas i flera olika magmatiska bergarter men fårretrådesvis i mårka bergarter såsom gabbro och diabas. Fårrekomsten av magnetit styr bergartens magnetiska egenskaper och hågre halter av magnetit går bergarten magnetisk. Omvåndling av magnetit till hematit fårklarar zoner dår bergartens magnetisering minskar.

I de allra flesta bergarter inom projektområdet år magnetit ett vanligtt oxidmineral. Det fårrekommer i de båttrre bevarade mafiska bergarterna men åven i graniter, granitiska gnejser och framfår allt i de råda leukogranitiska gnejserna. I gamla berggrundskartor har dessa bergarter benåmnsts ”jårngnejser” just får deras rika innehåll av magnetit. Det finns magnetit som år disseminerad i bergarten, men i projektområdet fårrekommer mineralet som makroskopiskt synliga magnetitaggregat och magnetitporfyroblaster i storleksårdningen 5–10 mm i diameter (fig. 42). Denna uppblomning av sekundåra magnetitkristaller kan nog ses som en omvåndlingsprocess.



Figur 41. Leukokratisk granitisk gnejs i undre nivån (PLI220018) med spridda magnetitkristaller (svarta) i storleksordningen 2–10 mm i diameter. Foto: Paula Lindgren, SGU.



Figur 42. BSE (Back-scattered electron) bild från svepelektronmikroskop som visar förekomst av kromit (FeCr_2O_4) i prov SP-N210071A. Kromit förekommer genomgående i provet och är omgivet av ett grönt mineral som antagligen är epidot enligt kvalitativ analys (energy dispersive x-ray) i svepelektronmikroskop. Dessa kluster av epidot/kromit sitter i sin tur i hornblände. De geo-kemiska analyserna av SPN210071A (bilaga 4) bekräftar att provet har förhöjda halter av krom (Cr) vilket ingår i mineralet kromit.

Ett annat, lite mer ovanligt, oxidmineral som har påträffats i projektområdet är kromit. Ett av proverna (SPN210071A), en amfibolit, där geokemiska analyser visade förhöjda halter av krom, och visade sedan i tunnslip ett innehåll av kromit (FeCr_2O_4) som bekräftades genom kvalitativa analyser (energy dispersive x-ray) i svepelektronmikroskop (fig. 42).

Alkalisilikareaktivitet

Alkalisilikareaktivitet (ASR) är ett mått på benägenheten (risken) för ett bergmaterial att bilda en alkalisilikagel som ett resultat av att kvarts (kiseldioxid) från ballasten reagerar med och löses upp av starkt alkalin porlösning i betongen (Lagerblad & Trädgårdh 1992). Gelen kan i vissa fall expandera och därmed innebära risk för att betongen spricker. Exempel på reaktiva varianter av kvarts och ogynnsamma texturer är flinta, dynamiskt deformerad kvarts, suturerade kornfogar och mikro- eller kryptokristallin kvarts. Problem med ASR uppstår när ballastmaterialet används för betong och främst då en betongkonstruktion placeras i en fuktutsatt miljö.

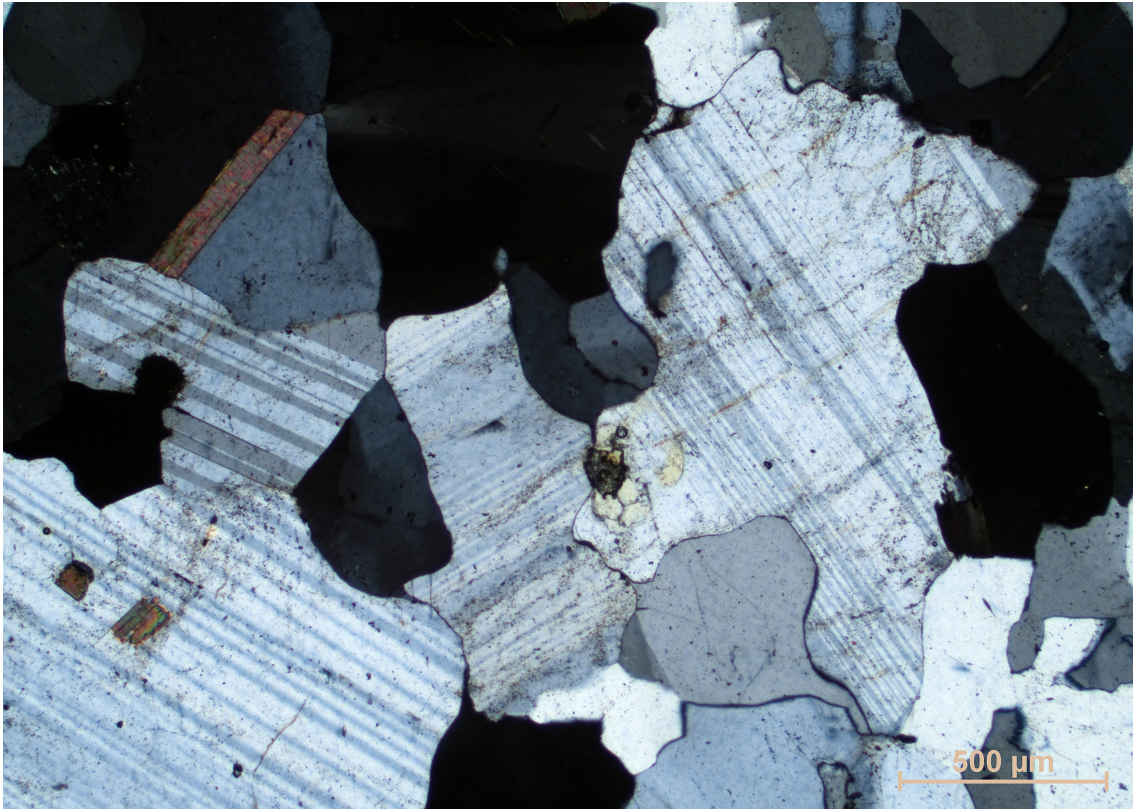
Det finns en tregradig indelning för förenklad okulär bedömning av risken för ASR utförd på tunnslip enligt RILEM AAR-1 (RILEM 2003) av RISE (Research Institutes of Sweden) där första graden anger att bergmaterialet är mycket osannolikt alkalisilikareaktivt och tredje graden att bergmaterialet är mycket sannolikt alkalisilikareaktivt. Andra graden anger osäkra och potentiella risker. I detta projekt har 66 tunnslip av utvalda bergkvalitetsprover undersökts okulärt för bedömning av risken för ASR. Resultaten presenteras i tabell 3 och visar att de flesta bergarter i projektområdet har en mycket liten risk för alkalisilikareaktivitet.

Albitisering

Mätning med spektrometer på håll genomförs för att uppskatta nivån av den naturliga bakgrundsstrålningen hos de olika bergartsgrupperna, främst halterna av U och Th är intressanta. Dock noterades att K-nivåerna på några lokaler var aktningsvärt låga. Bergarterna på dessa lokaler visade oftast inte någon synlig förklaring på denna sänkning av K-nivåerna som i övrigt lätt kunde identifieras som olika K-rika granitiska gnejser. Närmare studier av vissa lokaler kunde dock visa en blekning av bergarten i de K-låga zonerna. Med uppföljning genom geokemi och mineralogi på några provtagningsplatser visar det sig att de sänkta K-halterna följs av en ökning av Na-halterna kemiskt och en ökning av plagioklashalterna mineralogiskt (fig. 43). I figur 24A visas en blekning av den röda granitiska gnejsen i kontakten mot en amfibolit, men det är oklart om det är samma process. I en bergartskontakt där en amfibolit intruderar gnejsen kan en kraftig temperaturökning ske och därmed driva på en sådan kemisk process där bergarten omvandlas.

Tolkningen av det här fenomenet är en hydrotermal omvandlingsprocess där albit (Na-rik plagioklas) bildas på bekostnad av kalifältspat (fig. 43) och följs av en del andra förändringar av bergartens egenskaper. Till exempel har kemiska grundämnen som kan kopplas till K-halterna i bergarten som Ba och Rb sjunkit drastiskt och så kallade inkompatibla element som Zr har ökat. Denna ökning av Zr antyder att den hydrotermala processen är en urlakning och vissa kemiska beståndsdelar förts bort. Men inga delar synes vara tillförda och den hydrotermala omvandlingen är inte kopplad till någon malmbildning. Troligtvis är detta en vanlig företeelse och förekommer tämligen utbrett.

Den tekniska kvaliteten på bergmaterial som drabbats av albitomvandling i området har noterats bli kraftigt sämre, särskilt då omvandlingen varit omfattande. Starkt drabbade prover uppvisar några av de sämsta kulkvarns- och LA-värdena som finns dokumenterade i projektet.



Figur 43. Albitomvandlad granitisk gnejs. Bergarten består till stor del mineralogiskt av albitrik plagioklas som visar albittvillingar (långsträckta lameller i alternerande grått, svart och vitt) i polarisationsmikroskop med korsade polarisatorer. Prov SPN210013A, SWEREF 99 TM 6470888 N / 404923 E. Foto: Gunnar Rauséus. SGU.

Miljökritiska ämnen

En faktor att ta hänsyn till när man utvärderar de olika bergartsgruppernas lämplighet som ballast är deras litogeokemiska profil av olika huvud- och spårelement med betydelse för miljön. I projekt E20 Vårgårda–Hova har fokus varit att dokumentera medelhalten för olika grundämnen med betydelse för miljön i de olika bergartsgrupperna. Detta som en basnivå för den naturliga förekomsten av grundämnena i de olika bergartsgrupperna. Att identifiera platser med risk- och gränsvärden har legat utanför projektets ramar.

Gränsvärden för olika kemiska ämnen när det geologiska materialet är mindre lämpligt för användning ur miljösynpunkt beräknas vanligen för grundvatten och för jord- och schaktmassor. Dessa geologiska former, vatten och jord, anses mer riskabla för farliga ämnen genom att det lättare sprider sig och att det finns större risker att skada biologiskt material. Farliga ämnen i bergmaterial är mindre mobilt och kan normalt sett bara bli en riskfaktor när det losshålles. Innehållet av de olika grundämnena varierar naturligt mycket från bergart till bergart. Huvuddelen av de olika ämnena är mycket hårt uppbundna till olika mineral i bergarten, detta gäller främst silikatmineral. I dessa mineral kan till exempel olika metaller sitta som ”föroreningar” i kristallstrukturen och kan inte bedömas som likvärdigt lakbara och därmed innebära en lika tydlig risk för miljön. Detta gäller grundämnen som Ba. Situationen är något annorlunda för de ämnen som ingår i olika sulfidmineral, till exempel Cu, vilket gör att det kan vara viktigt att korrelera kemiska analyser med opakmikroskopiering för att göra rättvisa riskbedömningar.

Halterna av olika tungmineral i bergartstyperna inom E20 Hova–Vårgårda är noterbart låga vid en jämförelse med de riktvärden som redovisas av MinBas-undersökningen (tabell 5), och är mycket långt under de gränsvärden som Naturvårdsverket anger som riskvärden. Svavelhalten är litet högre i gabbro-diorit (hyperit), vilket är ett naturligt uppträdande, och kan kopplas till förekomsten av sulfidmineral. I dessa bergarter stiger också halterna av Cu, som ingår sulfidmineralet kopparkis.

Tabell 5. Förekomst av grundämnen med koppling till miljön. Naturvårdsverkets rekommendationer för maxvärde för olika typer av markanvändning jämförs med medelvärde uppmätta i olika bergartstyper, dels från Vinnova/MinBas rapport (2018) och de olika dominerande bergartsgrupperna i projekt E20 Hova–Vårgårda.

Grundämne	Cd	Hg	As	Pb	Cu	Zn	S	Cr	Ni	V	Co	Ba	Sb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Vikt-%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Naturvårdsverket (2010):													
Mindre än ringa risk	0,2	0,1	10	20	40	120		40	35				
Känslig markanvändning	0,5	0,25	10	50	80	250		80	40	100	15	200	12
Mindre känslig markanvändning	15	2,5	25	400	200	500		150	120	200	35	300	30
MinBas (2018):													
Sura bergarter		0,039	2,9	21,4	14,7	66,8	0,04	145	11,8	48,7	9,2	676	0,8
Basiska bergarter		0,047	0,7	5,9	29,1	125	0,07	239	78,3	191	40,9	485	0,5
Projekt E20 Vårgårda–Hova:													
Sandsten	0,02	0,08	0,5	5	20	19	0,01	7	6,5	15,5	3,2	162	0,07
Porfyrisk granit-granodiorit	0,08	0,01	0,43	25,3	19,5	95,7	0,02	11	5,7	47,3	8,87	960	0,08
Granit (bergkod 13)	0,06	0,006	0,17	22,3	2,1	71,3	0,01	3,7	0	7	1,5	747	0,16
Gnejsig granit (bergkod 23)	0,07	0,009	0,31	5,33	3,05	92,4	0,01	4,5	1,75	1,73	1,78	541	0,05
Gabbro-diorit (hyperit)	0,06	0,008	0,22	6,43	80,4	130	0,13	45,7	83,1	302	22,4	339	0,085
Leukogranitisk gnejs	0,01	0	0,18	23,8	0,38	15	0	5	2,5	11,2	1,05	449	<0,05
Granitisk gnejs (bergkod 33)	0,04	0,005	0,26	19,8	2,9	49,4	0,02	5,1	2,5	20	2,19	1194	0,055
Vulkanisk gnejs	0,01	0,006	0,34	12,0	2,54	35,6	0,01	20,9	5,29	26	4,33	805	0,26
Paragnejs	0,04	0,0107	0,57	17,1	14,8	75,1	0,06	54,1	23,3	61	9,95	560	0,08
Granodioritisk-granitisk gnejs	0,04	0,008	0,25	20,1	8,4	62,2	0,02	11,7	6,8	65,8	6,36	115	0,084
Kvartsmonzodioritisk gnejs	0,06	0,006	0,2	16	45	104	0,05	13,4	11,7	169	10,8	1178	0,07

Sammanställning av resultat och klassning

Med utgångspunkt från de analyser som har gjorts på olika platser, och som ansetts väl representera berggrunden inom undersökningsområdet, har en karta över fördelningen av de olika bergkvalitetsklasserna framställts, bergkvalitetskartan för betong-, väg- och järnvägsändamål (fig. 44–46). Med tanke på berggrundens heterogenitet och komplexitet blir sammanställningen till sin natur översiktlig. Vanligen urskiljs berggrunden i fyra kvalitetsklasser, 1) mycket god, 2) god, 3) mindre god och 4) dålig kvalitet.

Här beskrivs resultaten, hur bergarterna klassats, med bland annat tabeller för de klassningsprinciper som använts. Principen bakom att göra en ytmässig värdering av berggrundens kvalitet för framställning av ballast och byggmaterial för väg, järnväg och betong ligger i att de olika bergarterna har specifika egenskaper som skiljer sig från varandra. Här kan berggrundskartan användas som ett sätt att förutsäga de olika egenskaperna för varje del inom projektområdet.

För varje användningsområde (väg, järnväg eller betong) finns ett antal parametrar som är avgörande för berggrundens lämplighet, se förenklade klassningsprinciper för väg, järnväg och betong i tabell 6–8 (Mortensen & Göransson 2018, Mortensen, Lindgren & Göransson 2020, Lindgren & Göransson 2024). I bergkvalitetskartorna urskiljs områden med fyra kvalitetsklasser, där kvalitet 4 anses som olämplig att använda som ballast.

Som ett stöd till klassningen används diagram med analysutfallet för parameterna kulkvarn, LA-värde, glimmerhalt och aktivitetsindex (fig. 44–46) som finns redovisade i tabellerna 6, 7 och 8. Genom diskriminering med de gränsvärden som är angivna i tabellerna kan en klassning med kvaliteterna 1–4 göras av de olika bergartsgrupperna. Genom extrapolering från provpunkterna och modellering av ytorna i berggrundskartan kan en klassning göras ytmässigt inom projektområdet och överföras till klass 1–4 i bergkvalitetskartorna (fig. 49–51).

Tabell 6. SGU:s förenklade klassningsprinciper för väg (Mortensen & Göransson 2018).

Väg	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Kulkvarnsvärde, $A_{N11/16\text{ mm}}$	< 10 %	10–18 %	> 18 %	> 40 %
Los Angelesvärde, $LA_{10/14\text{ mm}}$	< 30 %	< 30 %	> 30 %	> 50 %
Micro-Devalvärde, $M_{DE10/14\text{ mm}}$	< 7 %	7–14 %	> 14 %	> 30 %

Tabell 7. SGU:s förenklade klassningsprinciper för järnväg (Mortensen & Göransson 2018).

Järnväg	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Glimmerhalt	< 10 %	10–25 %	25–50 %	> 50 %
Los Angelesvärde, $LA_{10/14\text{ mm}}$	< 25 %	25–30 %	30–50 %	> 50 %
Micro-Devalvärde, $M_{DE10/14\text{ mm}}$	< 17 %	< 17 %	17–24 %	> 24 %

Tabell 8. SGU:s förenklade klassningsprinciper för betong (Mortensen & Göransson 2018).

Betong	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Glimmerhalt	< 10 %	10–20 %	20	> 50 %
Aktivitetsindex	< 1	1–2	> 2	
Alkalisilikareaktivitet ¹ , ASR	1	2	3	

¹ Modifierad RILEM AAR-1 (RILEM 2003).

Klassning av ballast för väg

Inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda visas lokalt en spridning avseende de olika bergarternas lämplighet som ballast för vägbyggnation, beroende på de specifika tektoniska förhållandena i området.

Det finns inom de delar av projektområdet där berggrunden tektoniskt ligger inom Östra segmentets undre och mellersta nivåer, där en klar majoritet av prover som bedöms vara ett klass 3-material (fig. 44). Detta innebär att materialet mest kan användas som bär-lager. Bedömningen bygger främst på höga LA-värden, sannolikt beroende på den statiska rekristallisationen och de svagare kornfogarna i materialet, som en konsekvens av den regionala metamorfosen. I några fall är LA-värdena så höga att materialet klassats som klass 4. Detta gäller främst de amfiboliter med hyperitursprung som har provtagits, men också en albit-omvandlad (Na-omvandlad) granit (prov PLI190005A) i undre nivån, vars höga LA-tal flyttar den ut ur figur 44.

Bättre material motsvaras av de leukogranitiska ortognejserna som har kulkvarnsvärden nära 10 och LA-värden nära 30 %, vilket är ett material som kan klassas som ett möjligt klass 2-material (tabell 6). I området vid Götene finns ortognejser som har lägre LA-värden, vilket kvalificerar det som ett klass 2-material. Klass 2-material finns också i olika gnejser vid övergången från undre till mellersta nivån vid Mariestad. Olika amfiboliter har oftast en kvalitet som begränsar användningsområdet, men i mellersta nivån uppträder amfibolitiska bergartskroppar med inre kärnor som har en mer primär mineralogi och textur, vilket ger ett bättre material (klass 2).

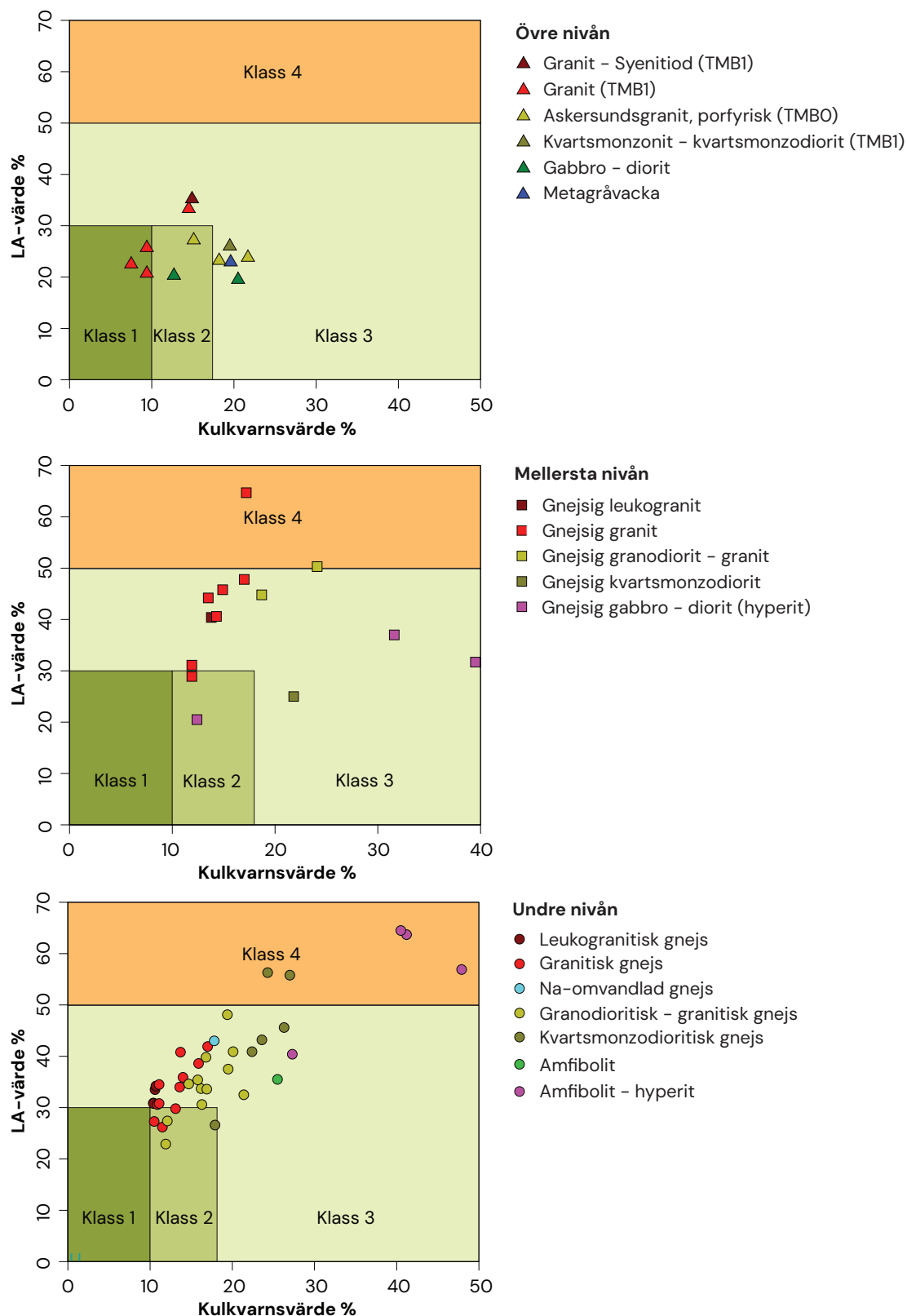
I de östligaste delarna av projektområdet är bilden delvis en annan. Inom de delar som tektoniskt motsvaras av den stratigrafiska enheten TMB1 finns kvaliteter som motsvaras av klass 1 och 2. Särskilt vid Hova finns gnejsiga graniter som har låga kulkvarns- och LA-värden, vilket ger ett klass 1-material, som kan användas till slitlager i vägkroppen. Inom den övre nivån finns också bergarter tillhörande den stratigrafiska enheten TMB0, där en porfyrisk granit–granodiorit är den enda bergartstyp som har tillräckligt statistiskt underlag för en bedömning av bergkvaliteten. Denna bergartstyp ger ett klass 3-material, beroende på högre glimmerhalter vilket ger sämre kulkvarnsvärden.

Klassning av ballast för järnväg

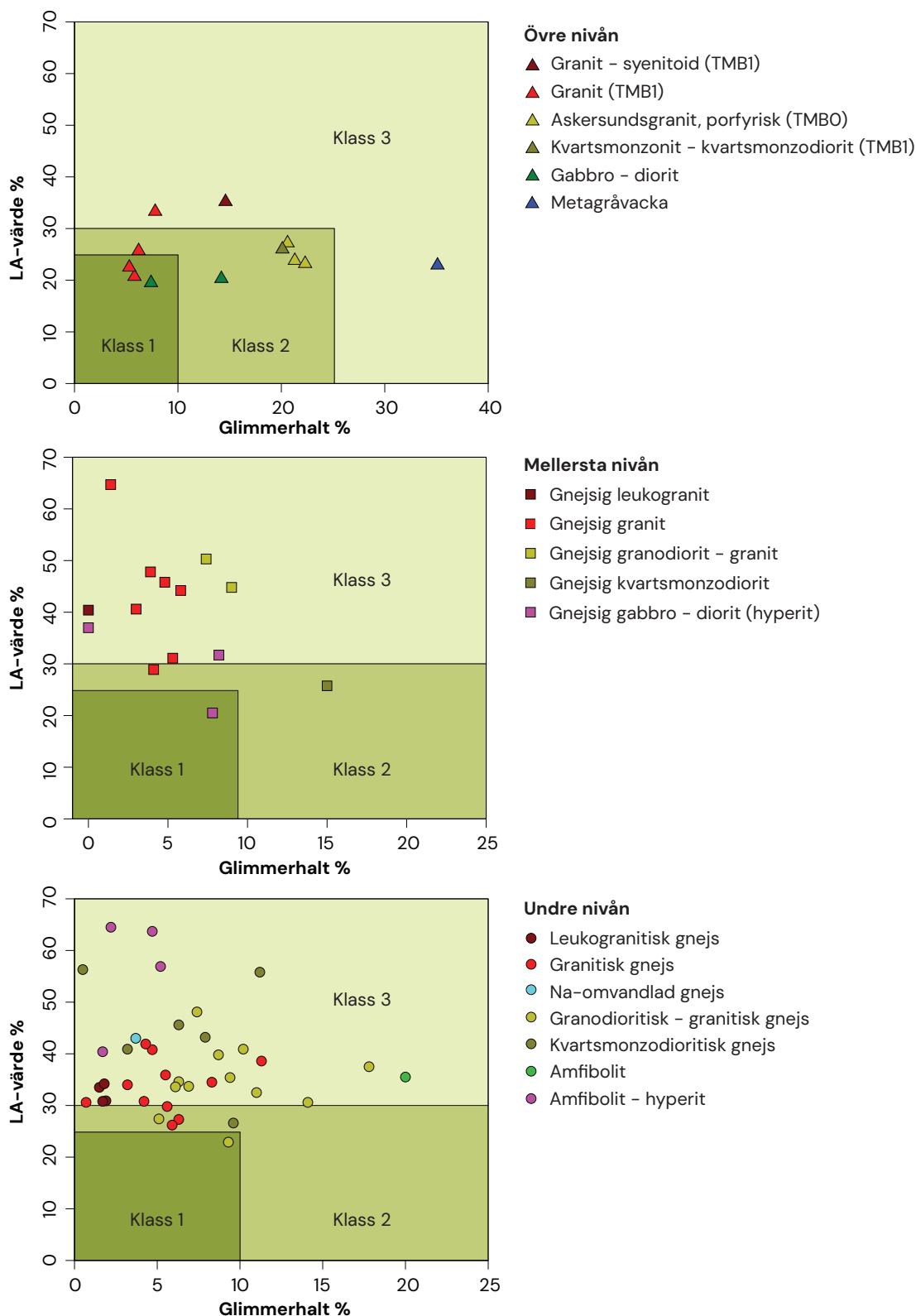
Kriterierna och klassningen av de olika bergartsgrupperna (tabell 7, fig. 45) med avseende på järnvägsballast följer ganska väl klassningen för vägballast.

Eftersom LA-värdet har en stor betydelse för klassning av järnvägsbakadballast kan olika typer av bergarter med granitisk sammansättning klassas som ett sämre material i klass 3. Olika bergarter med mer mafisk sammansättning som olika typer av amfiboliter, och ortognejser med kvartsmonzodioritisk–granodioritisk sammansättning, har lägre LA-värden och de kan fungera bättre som järnvägsballast. Glimmerhalten kan dock i vissa fall vara för hög vilket begränsar användningsområdet. På samma sätt som för vägballast skulle mer välbevarade inre kärnor av amfibolit i mellersta nivån fungera bra som järnvägsballast med sina låga LA-värden. Det statistiska underlaget är dock för begränsat för att med säkerhet slå fast den höga kvaliteten på detta material. Potentialen för denna bergartstyp som järnvägsballast är dock stor.

I den övre nivån visar granit från TMB1 i Hovatrakten samma goda kvalitet för järnvägsballast som den gör för vägballast med sina låga LA-värden och låga glimmerhalter.



Figur 44. Diskrimineringsdiagram för vägballast. Diagrammet visar de olika bergartsgruppernas egenskaper för sprödhet och motstånd mot nötning uttryckta som LA- och kulkvarnsvärden. Diagrammet bygger på kriterierna ballast för väg i tabell 6. Beroende på hur de olika proven plottar i diagrammet kan man klassa provens (och de olika bergartsgrupperna) kvalitet i en skala 1–4. En mindre del av bergmaterialet i undre och mellersta nivåerna är ett klass 2-material och ett klass 1-material finns bara i övre nivå.



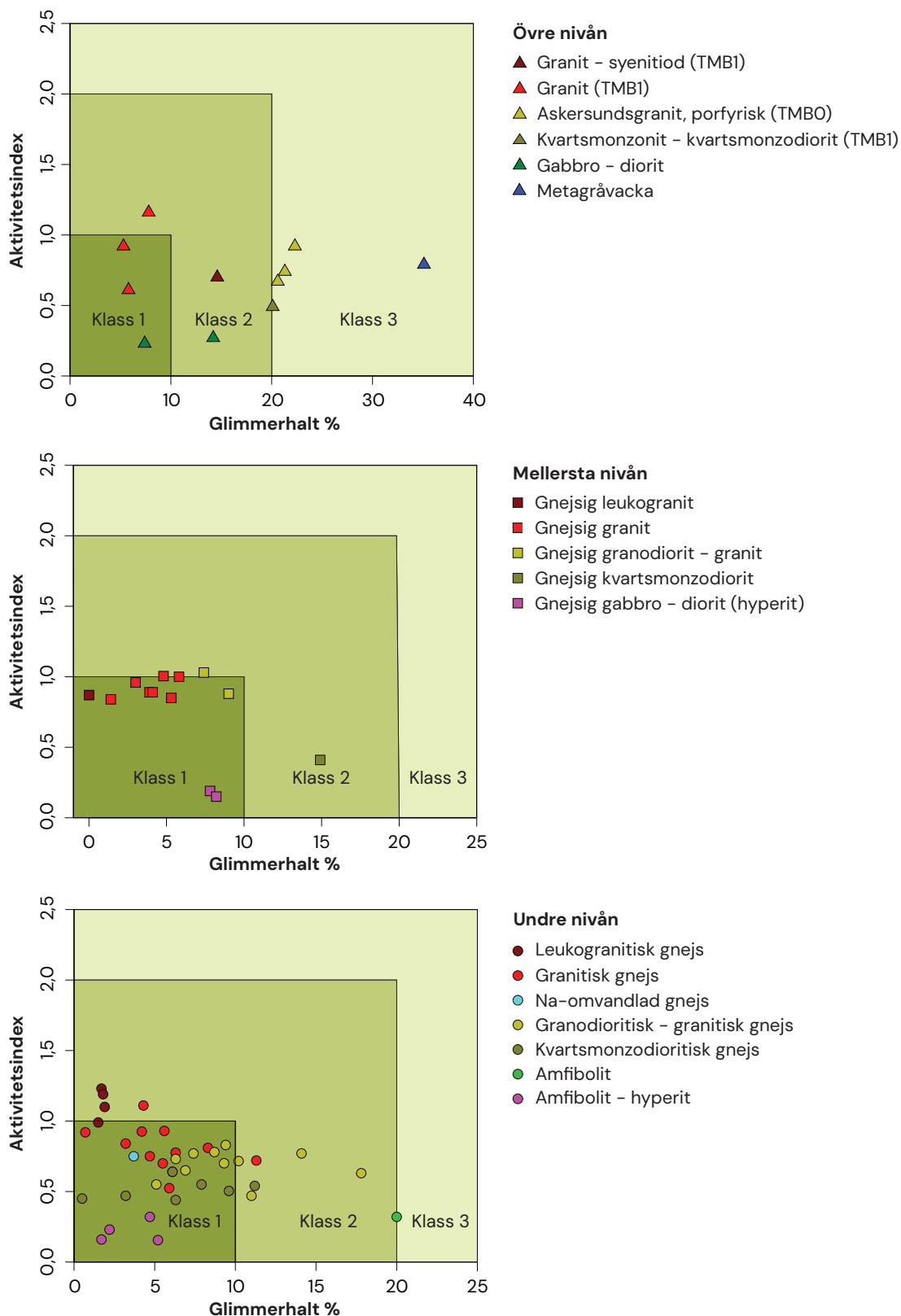
Figur 45. Diskrimineringsdiagram för järnvägsballast. Diagrammet för de olika bergartsgruppernas klassning beror på egenskaperna för sprödhet (LA-värde) och glimmerinnehåll. Diagrammet bygger på kriterierna för järnvägsballast i tabell 7. Beroende på hur de olika proven plottar i diagrammet kan man klassa provens (och de olika bergartsgrupperna) kvalitet i en skala 1–4. De höga LA-värdena visar svårigheten att finna ett bra material i undre och mellersta nivåerna.

Klassning av ballast för betong

Klassningen av ballastmaterial för betong (tabell 8, fig. 46) beror i mindre utsträckning på materialets tekniska egenskaper utan lägger i stället större vikt på bergmaterialets radio-metriska och petrografiska egenskaper (Lagerblad & Trägårdh 1995, Lagerblad, Westerholm & Fjällberg 2008). I den här beskrivningen används parametrarna aktivitetsindex, glimmer-innehåll och ASR (Mortensen & Göransson 2018, Lindgren & Göransson 2020, Lindgren & Göransson 2024). För en mer komplett undersökning av materialets lämplighet som betongballast kan man undersöka dess reologiska egenskaper som flytbarhet och plastisk viskositet. Dessa kräver dock en mer omfattande laboratorieinsats än vad som har varit tillgänglig för den här studien. Hur kornfogarna ser ut och om det bildas flakiga mineralkorn vid fragmentering av bergmaterial är viktig petrografisk information med betydelse för de här egenskaperna. Förekomsten av högre glimmerhalter (flakiga mineralkorn) i bergmaterialet anses generellt vara negativt för flytbarhet av den färdiga betongblandningen.

Vid en avvägning av de egenskaper som har betydelse för bergartsgruppernas klassning som betongballast, så är sannolikt glimmerfattiga graniter det lämpligaste materialet om bergartens aktivitetsindex håller sig på en låg nivå. Östra segmentets mellersta och undre nivåer domineras av bergarter med dessa egenskaper och bildar utifrån de kriterierna ett klass 1-material. De leukogranitiska gnejserna har normalt ett högre aktivitetsindex på 1 eller högre och klassas som klass 2. Det låga glimmerinnehållet i dessa bergarter är dock en positiv faktor.

De bergarter i TMB1 som finns i övre nivån är till stora delar svårbedömda där både områden med högre strålningsnivå, högre glimmerhalter och ASR-nivåer på 2 förekommer. Det finns också klass 1-material inom övre nivån, men de bedöms vara underordnade. Det statistiska underlaget är dock generellt alldeles för begränsat i den övre nivån för att ge en adekvat bedömning. Den porfyrisk Askersundsgraniten och området med den svekofenniska metagråvackan är för glimmerrika för att vara ett bra material för betongballastproduktion.



Figur 46. Diskrimineringsdiagram för betongballast. Diagrammet för de olika bergartsgruppernas klassning som betongballast beror på radiometrisk egenskap och glimmerinnehåll och bygger på kriterierna för betongballast i tabell 8. Beroende på hur de olika proven plottar i diagrammet kan man klassa provens (och de olika bergartsgrupperna) kvalitet i en skala 1–4. De generellt låga nivåerna av den naturliga bakgrundsstrålningen i de undre och mellersta nivåerna gör att det i princip är glimmerhalter som styr materialets kvalitet.

Bergkvalitetskartor

Bergkvalitetskartorna byggs upp som en kombination av de olika klassningsprocedurer beskrivna ovan och den grundläggande berggrundskartan. De olika bergartstyperna kan klassificeras utifrån sina egenskaper. Ytor med en enhetlig bergkvalitetsklassning skapas genom extrapolering av de olika bergarternas egenskaper i provlokalerna ut från provpunkterna. Bergkvalitetskartan skapas genom att alla egenskaper sammanställs och sedan ges en areell utbredning. Vi utgår från att kvaliteterna har en stark litologisk styrning och att mycket av bergkvalitetskartan liknar den berggrundsgeologiska kartan. Om det lokalt finns avvikelser från den generella bedömningen av de olika bergartsgruppernas olika egenskaper ska det avspeglas i bergkvalitetskartan om det har en geologisk förklaring.

Bergkvalitetskarta för vägballast

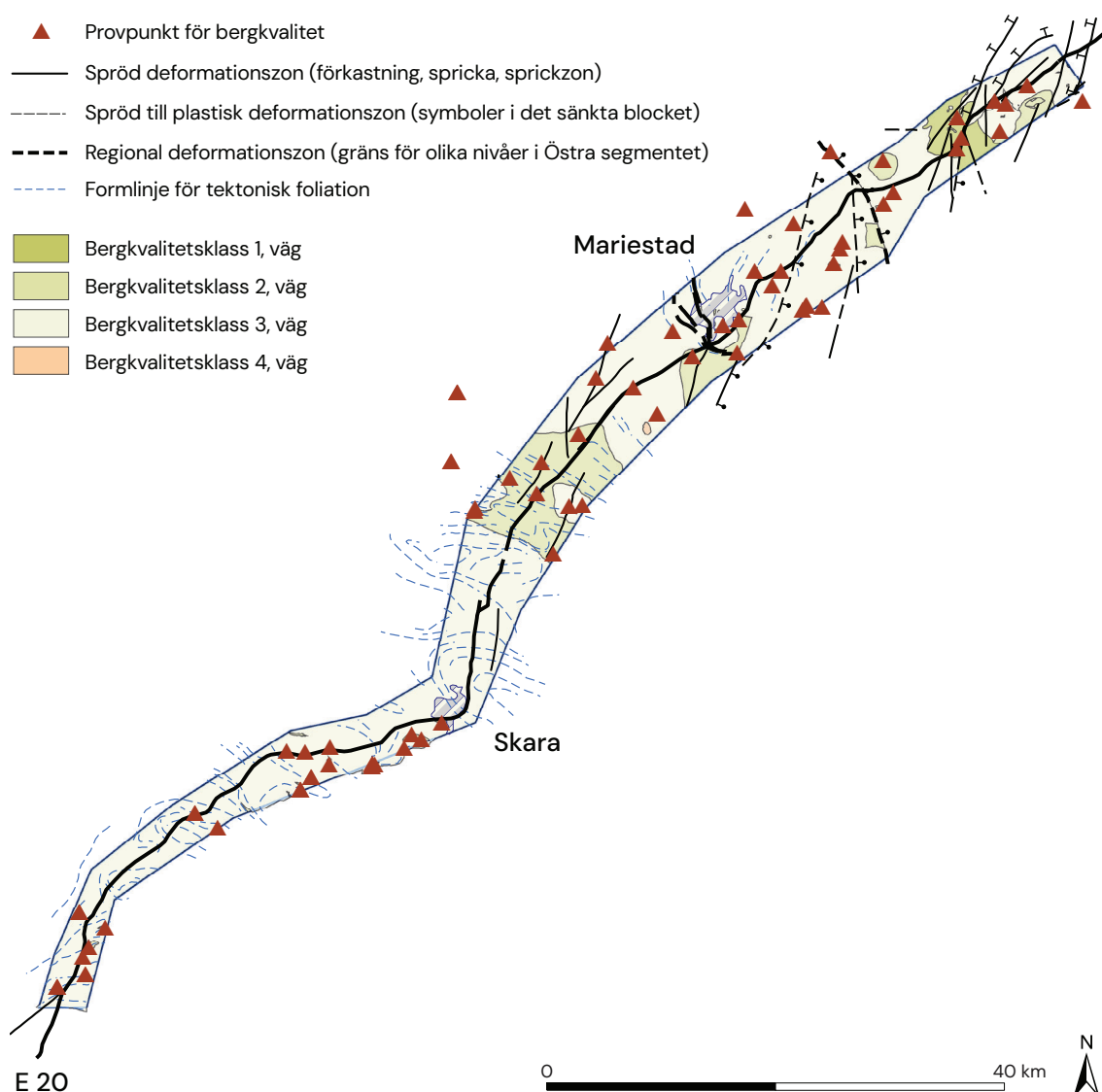
Bergkvalitetskartan för vägballast inom projektet E20 Hova–Vårgårda (fig. 47) visar att området är dominerat av ett bergmaterial som håller klass 3, det vill säga ett material som generellt är begränsat till sin användning.

Ett genomgående tema är att LA-värdena är för höga (> 30) och antyder att materialet är för sprött för att användas till annat än som bär- och förstärkningslager i vägkroppen. Denna egenskap tolkas bero på den typ av metamorfos som dominerar i området med bergarter som upplevt höga tryck och rekristalliserat med raka och svaga kornfogar. Några prover visar mycket höga LA-värden (> 50) och bildar på bergkvalitetskartan små områden med klass 4. Dessa områden med mycket höga LA-värden tolkas vara mycket begränsade i storlek, men det kan vara vanligt förekommande.

Bergmaterial med högre kvalitetsklassning (klass 2) i undre nivån finns vid Götene och söder om Mariestad där granodioritiska–granitiska gnejser med lägre LA-värden förekommer. Många av de små massiven av leukogranitisk gnejs har också tolkats som bergmaterial med högre kvalitet med förhållandevis låga kulkvarnsvärden och LA-värden som ligger strax över 30.

I mellersta nivån kan mindre delar (inre kärnor) av amfiboliter med bevarad mineralogi och textur vara ett klass 2-material, i bästa fall ett klass 1-material. Det kan också gälla leukograniter, men detta är en tolkning eftersom det statistiska underlaget är så litet. De dominerande gnejsiga graniterna är genomgående ett klass 3-material. Små områden med klass 4-material speglar de prov som visar mycket höga LA-värden (> 50).

Det bästa materialet för vägballast inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda finns i övre nivån vid Hova där granit från TMB1 utgör ett klass 1-material (fig. 47). Inom övre nivån finns ett klass 2-material i några massiv med mafisk sammansättning, till exempel Lyrestadsgabbron. Den porfyrisk Askersundsgabbron i TMB0 är genomgående ett klass 3-material beroende på för höga kulkvarnsvärden och höga glimmerhalter. Eftersom det statistiska underlaget för andra delar av övre nivån är så begränsat är klassningen mycket osäker, men genomgående har de olika bergmaterialen tolkats vara ett klass 3-material.



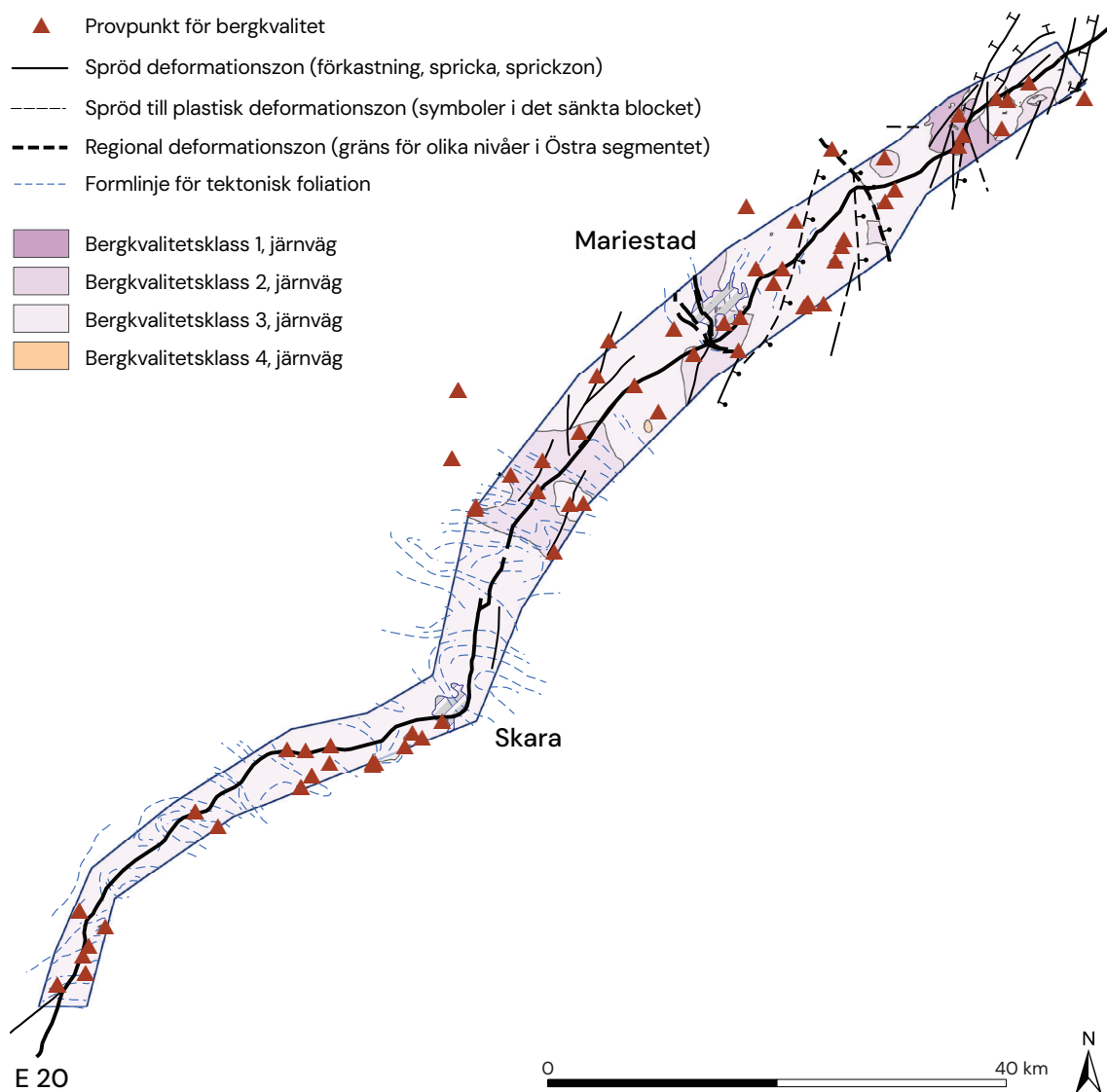
Figur 47. Bergkvalitetskarta för vägballast i projektområdet E20 Hova–Vårgårda.

Bergkvalitetskarta för järnvägsballast

Bergkvalitetskarta för järnvägsballast inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda (fig. 48) är mycket lik den för vägballast. Genomgående dominerar ett klass 3-material i undre och mellersta nivån beroende på de höga LA-värden som karakteriserar en stor del av bergarterna. Även för järnvägsballast finns ett bättre material (klass 2) i undre nivån vid Götene och söder om Mariestad där LA-värdena är lägre. De leukogranitiska gnejserna har ett LA-värde på strax över $LA = 30$ vilket är något för högt, men eftersom glimmerhalterna är så låga kan de leukogranitiska gnejserna ändå vara kandidater till ett klass 2-material för järnvägsballast, precis som de är för vägballast. Några små områden visar ett klass 4-material, vilket speglar ett antal prover som visar LA-värden > 50 .

I mellersta nivån kan de delar av amfibolitmassiven som har bevarad textur och mineralogi vara ett klass 1-material, men de yttre amfibolitiska delarna är genomgående ett klass 3-material. Det statistiska underlaget är litet och storleken på de här bevarade delarna är något osäker, men på bergkvalitetskartan (fig. 48) är dessa "bevarade" inre kärnor av amfibolitkropparna uppklassade till klass 1-material.

De graniter i TMB1 vid Hova som klassades som klass 1-material för vägballast är också ett klass 1-material för järnvägsballast.



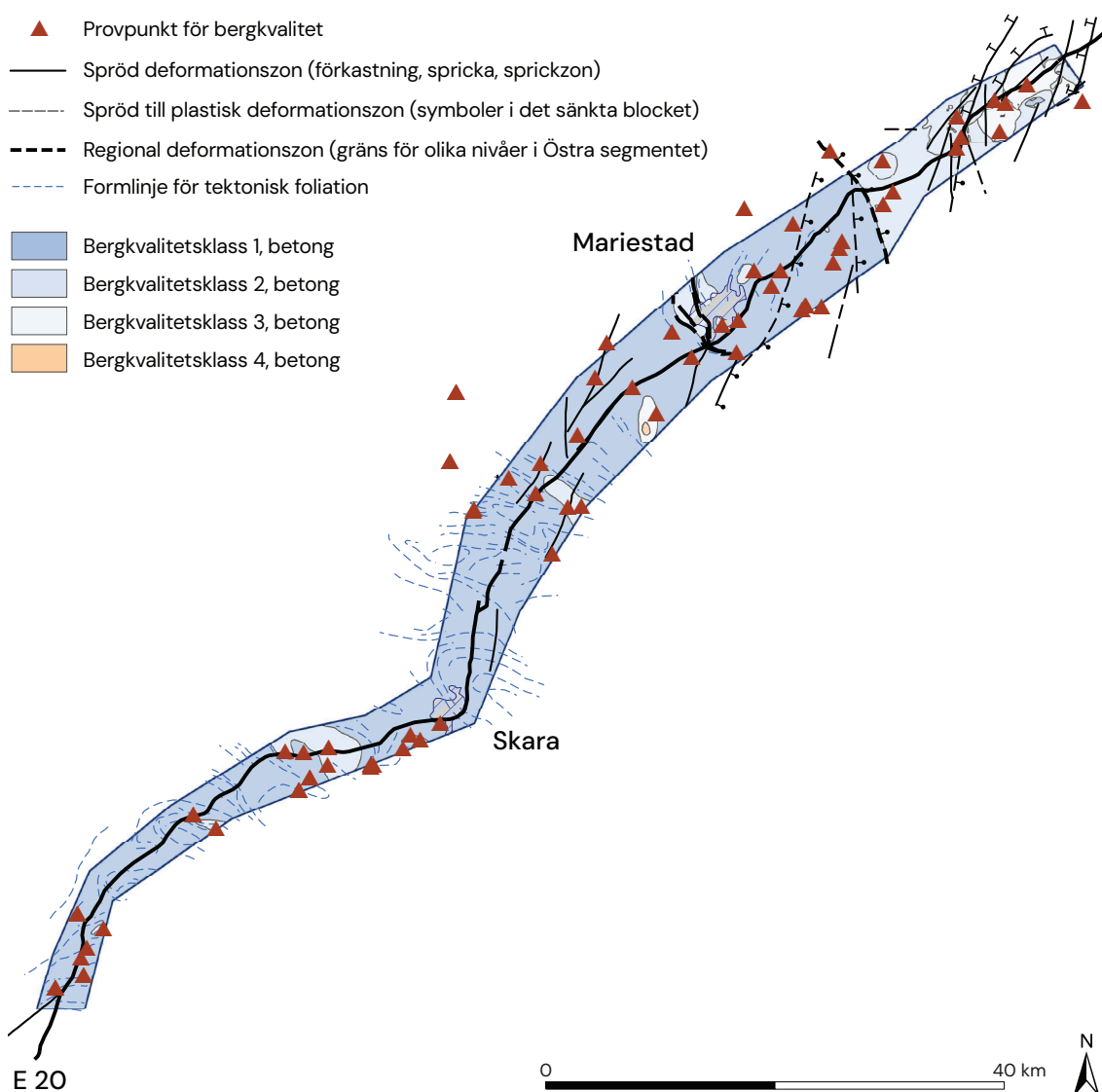
Figur 48. Bergkvalitetskartan för järnvägsballast i projektområdet E20 Hova–Vårgårda.

Bergkvalitetskarta för betongballast

För bergkvalitetskartan för ballast till betongtillverkning inom projektområdet E20 Hova–Vårgårda (fig. 49) är situationen annorlunda än för de andra ballasttyperna. De dominerande granitiska och granodioritiska–granitiska gnejserna som finns i undre och mellersta nivåerna är genomgående ett bra material för tillverkning av ballast till betong, beroende på sina genomgående låga nivåer av glimmer och naturlig bakgrundsstrålning.

Mindre områden med högre glimmerhalter eller högre strålningsnivåer kan dock förekomma. ASR är låg i denna typ av berggrund med hög omkristallisation och metamorfos.

I övre nivån med sina lägre nivåer av metamorfos och deformation är risken större för högre halter av ASR vilket har stor betydelse för klassningen av betongballast. Stora delar av övre nivån bedöms därför som klass 2-material, med tanke på att bergarter med högre glimmerhalt och högre nivåer av strålning också förekommer i TMB1-berggrunden (fig. 49). I fallet med den porfyriska Askersundsgraniten i TMB0, gör de höga glimmerhalterna att den generellt måste läggas som ett klass 3-material för betong.



Figur 49. Bergkvalitetskarta för betongballast i projektområdet E20 Hova–Vårgårda.

Referenser

- Ahlberg, P., Calner, M., Lehnert, O. & Wickström, L., 2013: Regional geology of the Västergötaland province. I M. Calner, P. Ahlberg, O. Lehnert & M. Erlström (red.): The Lower Palaeozoic of southern Sweden and the Oslo Region, Norway. Field Guide for the 3rd Annual Meeting of the IGCP project 591. *Rapporter och meddelanden 133*. Sveriges geologiska undersökning.
- Bingen, B., Viola, G., Möller, C., Auwera, J.V., Laurent, A. & Yi, K., 2021: The Sveconorwegian Orogeny. *Gondwana Research* 90, 273–313.
- Döse, M. & Kübler, L., 2011: Beskrivning till bergkvalitetskartan Södra Dalarna. *Sveriges geologiska undersökning K 368*.
- Eliasson, T., Göransson, M. & Shomali, H., 2007: Beskrivning till bergkvalitetskartan Uddevalla och Stenungsunds kommuner. *Sveriges geologiska undersökning K 70*.
- Engdahl, M., 2002: Beskrivning till jordartskartan 9D Mariestad SO. *Sveriges geologiska undersökning K 139*.
- Engdahl, M., 2018: Beskrivning till jordartskartorna 8C Lidköping NV, NO, SV och SO samt Mellerud SO. *Sveriges geologiska undersökning K 614*.
- Europeiska Kommissionen, 1999: Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. *Radiation protection 112*. European commission, directorate-general environment, nuclear safety and civil protection, 16 s.
- Göransson, M. & Persson, L., 2018: Beskrivning till bergkvalitetskartan Kungälv. *Sveriges geologiska undersökning K 610*.
- Göransson, M. & Lindgren, P., 2024: Beskrivning till bergkvalitetskartan för betong i delar av Västra Götaland. *Sveriges geologiska undersökning K 755*.
- Göransson, M. & Norström, E., 2024: Grus, sand och krossberg 2023. *Periodisk publikation 2024:3*. Sveriges geologiska undersökning.
- Jelinek, C. & Eliasson, T., 2015: Strålning från bergmaterial. *SGU-rapport 2015:34*. Sveriges geologiska undersökning, 26 s. Strålskyddsförordningen (2018:506).
- Jonsson, E., Antal Lundin, I. & Claeson, D., 2011: Beskrivning till bergkvalitetskartan Vimmerbyområdet. *Sveriges geologiska undersökning K 380*.
- Larson, S.A. & Berglund, J., 1995: Berggrundskartan 7D Ulricehamn SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 178*.
- Lindén, A.G., 2010: Beskrivning till jordartskartan 9E Askersund NV & 9D Mariestad NO. *Sveriges geologiska undersökning K 188*.
- Lindén, A.G., 2011: Beskrivning till jordartskartan 9E Askersund SV. *Sveriges geologiska undersökning K 190*.
- Mortensen, G.M. & Göransson, M., 2019: Bergkvalitet Skåne – beskrivning till bergkvalitetskartor över delar av Söderåsen, Kristianstadsområdet, Linderödsåsen och Romeleåsen. *Sveriges geologiska undersökning K 623*, 49 s.
- Mortensen, G.M., Lindgren, P. & Göransson, M., 2020: Beskrivning till bergkvalitetskartor. Bergkvalitet Mälardalen – kommunerna Strängnäs, Eskilstuna, Västerås, Hallstahammar, Kungsör, Köping och del av Sala. *Sveriges geologiska undersökning K 647*.
- Möller C. & Andersson J., 2018: Metamorphic zoning and behaviour of an underthrusting continental plate. *Journal of Metamorphic Geology* 36, 567–589. <https://doi.org/10.1111/jmg.12304>
- Uruña, C., 2023: Metamorphism in the roots of mountain belts and its effect on rock technical properties: A case study of the Eastern Segment, Sveconorwegian orogen. PhD thesis, 174 s, Lund University Press: <<https://lup.lub.lu.se/record/79ce3269-0e84-4e1d-93e3-027bea29f928>> åtkommen den 25 juni 2025.

- Påsse, T. & Pile, O., 2016: Beskrivning till jordartskartorna 8D Skara NV, NO, SV och SO och 9D Mariestad SV. *Sveriges geologiska undersökning K 534–538*.
- Riksantikvarieämbetet och Statens historiska museer, 1996: *Natursten i byggnader. Skaraborgs och Älvsborgs län*. Gunnel Friberg/Barbro Sundnér (red.). ISBN 91-7209-029-4.
- Ripa, M., Kathol, B. & Kubler, L., 1996: Kartbladet 9E Askersund SV: Berggrundsgeologisk och geofysisk beskrivning över de ekonomiska kartbladen 3b, 4b, 4c, 4d och 4e. I C.-H. Wahlgren (red.) 1996: Regional berggrundsgeologisk undersökning – sammanfattning av pågående undersökningar 1995. *Rapporter och meddelanden 84*. Sveriges geologiska undersökning, 139–151.
- Stephens M.B., Bergström B. & Wahlgren C.-H., 2020: Regional context and lithotectonic framework of the 1.1–0.9 Ga Sveconorwegian orogen, southwestern Sweden. I Stephens, M. B. & Bergman Weihed, J. (eds) 2020, Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs, 50*, 337–349, <https://doi.org/10.1144/M50-2018-17>
- Stephens M.B. & Wahlgren, C.-H., 2020: Polyphase (1.9–1.8, 1.5–1.4 and 1.0–0.9 Ga) deformation and metamorphism of Proterozoic (1.9–1.2 Ga) continental crust, Eastern Segment, Sveconorwegian orogen. I Stephens, M. B. & Bergman Weihed, J. (eds) 2020, Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs, 50*, 351–396, <https://doi.org/10.1144/M50-2018-57>
- Svensk Standard, 1997a: SS-EN 1097–1: Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval). Swedish Standards Institute, 11 s.
- Svensk Standard, 1997b: SS-EN 1097–2: Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 2: Bestämning av motstånd mot sönderdelning. Swedish Standards Institute, 29 s.
- Svensk Standard, 2004: SS-EN 1097-9: Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 9: Bestämning av motstånd mot nötning av dubbdäck (Nordiska kulkvarnsmetoden). Swedish Standards Institute, 12 s.
- Svensk Standard, 2008: SS-EN 12620/A1:2008 – Ballast för betong. Swedish Standards Institute. *Strälskyddsförordningen (2018:506)*, 64 s.
- Svensk Standard, 2014: SS-EN 1097-9:2014 – Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 9: Bestämning av motstånd mot nötning av dubbdäck. Swedish Standards Institute, 24 s.
- Thelander, T., Persson, L. & Sträng, M., 2008: Beskrivning till bergkvalitetskartan Södertälje och Nykvarns kommuner. *Sveriges geologiska undersökning K 126*.
- Trafikverket, 2015a: Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter. *Rapport 2015:057*, 51 s.
- Trafikverket, 2015b: BVS 585.52 – Makadamballast för järnväg. *TDOK 2014:0759, Version 1.0*, 23 s.
- Trafikverket, 2015c: Krav – Obundna lager för vägkonstruktioner. *TDOK 2013:0530, Version 2.0*, 80 s.
- Vägverket, 2005a: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. Kapitel E. Obundna material. *ATB VÄG 2005 Publ 2005:112*, 105 s.
- Vägverket, 2005b: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. Kapitel F. Bitumen. Bundna material. *ATB VÄG 2005 Publ 2005:112*, 90 s.
- Wahlgren, C.-H., Bergman, T., Karis, L. & Persson, L., 2005: Berggrundskartan 9D Mariestad NO / 9E Askersund NV. *Sveriges geologiska undersökning K 40*.
- Wik, N.-G., Lundqvist, I., Selinius, 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, 232 s.

- Wik, N.-G., Andersson, J., Bergström, U., Claesson, D., Juhojunnti, N., Kero, L., Lundqvist, L., Möller, C., Sukotjo, S. & Wikman, H., 2006: Beskrivning till regional berggrundskarta över Jönköpings län. *Sveriges geologiska undersökning K 61*.
- Wikström, A., 1996: U-Pb-dating zircon dating of a coarse porphyritic quartz monzonite and an even grained tonalitic gneiss from the Tiveden area, south central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 828*, 41–47.

Bilaga 1. Tekniska analyser

Koordinater, bergartsbeskrivning, tekniska analyser och bergkvalitetsklassning för de provtagna bergarterna i projektområdet.

ID	N-S	E-W	Bergart	Kkod	Densitet:	Kk-värde:	LA-värde:	MD-värde:	BKVB	BKVV	BKVJ
TEN170004	6524461	453087	Granit, något gnejsig, gråröd, fint medelkornig till medelkornig, med ovala något utdragna strökorn av kalifältspat	13	2,64	9,4	20,7	5,7	2	1	1
TEN170005	6522668	453438	Granit, gråröd, finkornig till fint medelkornig, gnejsig, glimmerfattig	13	2,65	7,5	22,5	4,7	1	1	1
SPN180142A	6525696	457347	Granodiorit-kvartsmonzonit, ögonförande, massformig, gnejsiga xenoliter av sedimentär bergart	18	2,71	15,1	27,2	10,2	2,5	2	2
SPN180144A	6525916	456393	Gabbro-monzogabbro, massformig, mörkt grå, fint medelkornig, jämnkornig	20	2,96	20,5	19,5	17,0	1	3	3
SPN180145A	6525882	464075	Grovporfyrisk granit-kvartsmonzonit, gnejsig, glimmerrik mellanmassa	18	2,70	21,7	23,8	16,3	3	3	3
SPN180146A	6510973	437619	Granit, röd, ojämnkornig, medelkornig, gnejsig	23	2,66	14,3	40,6	8,8	1	3	3
SPN180147A	6516835	446627	Kvartsmonzodiorit, grå-mörkgrå, ojämnkornig, svagt gnejsig	15	2,79	19,5	26,0	13,4	2,5	3	3
SPN180148A	6517917	447478	Granit-kvartssyenit, röd, något gnejsig, finkornig men relik grovkornig, kvartsfattig	14	2,68	14,9	35,2	10,1	2	3	3
SPN180149A	6527293	459248	Granodiorit-granit, rödgrå, grovporfyrisk, grovt medelkornig, glimmerrik förskiffring	18	2,72	18,2	23,2	13,5	3	3	3
SPN180151A	6516439	434463	Granit, gråröd, ojämnkornig, varierande kornstorlek, stänglig	23	2,64	11,9	31,1	7,3	1	2,5	3
SPN180153A	6520675	446555	Gabbro, huvudsakligen massformig, mörkt grå, grovt medelkornig	19	2,97	12,7	20,3	9,0	2	2	2
SPN180155A	6523215	456846	Gråvacka, grå, finkornig, bandad, kvartsrika led (sandsten)	11	2,76	19,6	22,9	14,9	3	3	3
SPN180159A	6521748	453076	Granit, röd, finkornig, omkristalliserad	13	2,64	9,4	25,7	5,2	2	1	2
SPN180161A	6521497	441960	Granit-granodiorit, gråröd, ojämnkornig, folierad	14	2,64	14,5	33,3	9,7	2	3	3
PLI190001A	6507867	441230	Amfibolit, mörkt grå, finkornig-medelkornig, folierad, granater	21	3,03	31,6	37,0	27,0	1	3	3
PLI190003A	6509690	436850	Granit, gnejsig, rödgrå, porfyroklaster av kalifältspat	23	2,66	24,1	50,3	16,2	1,5	4	4
PLI190005A	6505646	428122	Granodioritisk-granitisk gnejs, grå och delar som är ljusare grå, medelkornig, Na-omvandling	35	2,69	47,5	85,6	26,4	1	4	4

ID	N-S	E-W	Bergart	Kkod	Densitet:	Kk-värde:	LA-värde:	MD-värde:	BKVB	BKVV	BKVJ
PLI190006A	6503849	433775	Gnejsig granit, rödgrå, medelkornig, sulfidmineral i sprickor	23	2,65	12,3	28,3	7,8	1	2	2
PLI190007A	6506228	432518	Kvartsmonzodioritisk gnejs, grå, varierande kornstorlek, stänglig med utdragna aggregat av kalifältspatsporfyroklastar	28	2,81	21,9	26,2	14,3	2	2,5	2
PLI190008A	6507607	439534	Granit, röd, fint medelkornig, gnejsig	23	2,65	17,0	47,8	10,2	1	3	3
PLI190009A	6500744	424638	Granitisk gnejs, mörk, spräckligt gråröd, medelkornig, magnetit	33	2,65	13,6	34,0	7,5	1	3	3
PLI190011A	6515132	438722	Granit, gnejsig, jämnkornig, ådrad	23	2,65	13,5	44,2	9,0	1	3	3
SPN190152A	6512950	442768	Granit, gråröd, fint medelkornig, ojämnkornig, gnejsig, biotitstrimmig	27	2,66	18,7	44,8	12,3	1	3	3
SPN190154A	6511685	442241	Diabas, svagt deformerad, delvis amfibolit-omvandlad, mörkt grå, ojämnkornig, grovt medelkornig,	21	3,05	12,4	20,5	9,0	1	2	2
SPN190155A	6511000	435315	Granit-syenit, leukokratisk, rödbrun, fint medelkornig, gnejsig	23	2,63	17,2	64,7	14,7	1	4	4
SPN190158A	6506683	433906	Granit, gråröd, fint medelkornig, gnejsig, ådrad	23	2,63	11,9	28,9	7,2	1	2	2
SPN190171A	6513541	443018	Leukogranit, röd, finkornig-fint medelkornig, gnejsig	22	2,62	13,8	40,4	8,5	1	3	3
SPN190174A	6507928	439787	Granit, gråröd, fint medelkornig, gnejsig, biotitstrimmig	23	2,65	14,9	45,8	10,0	2	3	3
SPN190175A	6507989	439854	Amfibolit, gång i gnejsig granit, mörkt grå, fint medelkornig, gnejsig	21	3,01	39,5	31,7	34,7	1	4	4
TEN190006A	6490395	420195	Granodioritisk ortognejs, grå, medelkornig, något ojämnkornig, gnejsig och ådrad	37	2,69	16,3	30,6	10,4	2	2,5	2,5
TEN190007A	6489902	410718	Granitisk ortognejs, röd, fint medelkornig till finkornig, svagt till måttligt gnejsig och ådrad	33	2,64	11,1	30,8	6,6	1	2	2,5
TEN190008A	6490129	410772	Granitisk till granodioritisk ådergnejs, rödgrå, medelkornig, ojämnkornig biotit-hornbländeförande .	37	2,68	14,7	34,6	9,0	1	3	3
TEN190016A	6491476	416179	Kvartsmonzodioritisk gnejs, grå, medelkornig till grovt medelkornig, ställvis grovkornig, gnejsig och ådrad, biotit-hornbländeförande	38	2,79	17,9	26,6	13,1	1	2	2
TEN190017A	6500345	409212	Sandsten, grå, ljusfärgad, finkornig, lagrad/bankad	8	2,57	34,4	47,9	28,9		3	3
TEN190017A (BLÖT)	6500345	409212	Sandsten, grå, ljusfärgad, finkornig, lagrad/bankad	8	2,55	35,4		31,3		3	3
TEN190017A (TORR)	6500345	409212	Sandsten, grå, ljusfärgad, finkornig, lagrad/bankad	8	2,40	37,2	47,9	28,9		3	3
TEN190018A	6494301	408673	Ortocerkalksten, röd, finkornig, fossilförande	5	2,67	27,9	20,5	26,4		3	3

ID	N-S	E-W	Bergart	Kkod	Densitet:	Kk-värde:	LA-värde:	MD-värde:	BKVB	BKVV	BKVJ
TEN190018B	6494301	408673	Ortocerkalksten, grå, finkornig, fossilförande	5	2,68	27,1		23,8		3	3
TEN190019A	6486158	417635	Granitisk gnejs, mörk rödgrå, fint medelkornig med något vindlande gnejsighet	37	2,66	12,1	27,4	7,4	1	2	2
TEN190027A	6494149	416583	Granitisk gnejs, röd, finkornig, kraftigt folierad och glest ådrad	33	2,65	10,5	27,3	7,2	1	2	2
TEN190028A	6492844	413833	Granitisk gnejs, rödgrå, fint medelkornig, ådrad, bandad	33	2,64	11,5	26,2	7,3	1	2	2
TEN190029A	6490299	418994	Granodioritisk-granitisk gnejs, grå, fint medelkornig till medelkornig	37	2,75	21,4	32,5	15,7	1,5	3	3
TEN190038A	6496618	419844	Granodioritisk-granitisk gnejs, mörkt rödgrå, fint medelkornig-medelkornig, gnejsig, biotit-hornbländerik	37	2,68	11,9	22,9	7,8	1	2	2
TEN190059A	6504689	422414	Gråröd, fint medelkornig till medelkornig, glimmerfattig granitisk gnejs	35	2,64	17,8	43,0	10,3	1	3	3
TEN190060A	6501616	421387	Amfibolit, gråsvart, finkornig till fint medelkornig, planfolierad, kvartsdioritisk	39	2,82	25,5	35,5	17,9	2,5	3	3
TEN190061A	6503432	429840	Ortognejs, granitisk. Gråröd, fint medelkornig till medelkornig gnejsig, småveckad	33	2,66	13,1	29,8	7,6	1	2	2,5
TEN190062A	6498438	426762	Kambrisk sandsten, Mickwitzia. Gråvit, skiktad, lagrad med rödbrunfärgade band och fläckar	8	2,62	29,3	37,7	22,6		3	3
PLI210001A	6470288	405199	Leukogranitisk ortognejs, röd, finkornig, omkristalliserad, magnetit	32	2,62	10,4	30,9	6,5	1	1,5	2,5
PLI210002A	6469103	404545	Granitisk ortognejs, röd, medelkornig	33	2,64	13,7	40,8	8,9	1	3	3
PLI210004A	6467673	401969	Leukogranitisk ortognejs, röd, finkornig, omkristalliserad, magnetit	32	2,62	10,6	33,5	6,6	1	2	3
PLI210005A	6467494	401739	Ortognejs, granitisk-kvartsmonzonitisk, röd, medelkornig, magnetit	36	2,67	14,0	35,9	9,3	1	3	3
PLI210006A	6467726	401757	Ortognejs, granodioritisk-granitisk, grå, veckad, granitiska och pegmatitiska boudinerande ådror	37	2,71	16,2	33,7	10,7	1	3	3
PLI210007A	6467643	401725	Amfibolit, gångar i ortognejs, mörkt grå, finkornig, sulfider	31	3,07	47,9	56,9	40,1	1	4	4
PLI210008A	6469175	398017	Granodioritisk-granitisk gnejs, lite ådring, grå, hornblände	37	2,74	19,5	37,5	13,8	2	3	3
PLI210010A	6465471	395424	Kvartsmonzodioritisk ortognejs m. växelvisa band av amfibolit och granitisk ortognejs, grå, finkornig	38	2,87	24,3	56,3	17,9	1	4	4
PLI210010B	6465471	395424	Amfibolit, mörkt gröngrå, finkornig, bildar band i kvartsmonzodioritisk ortognejs	31	2,97	41,2	63,7	28,3	1	4	4
PLI210011A	6465459	395419	Granitisk ortognejs, röd, medelkornig, ådrad,	33	2,64	11,1	34,5	7,2	1	2	3

ID	N-S	E-W	Bergart	Kkod	Densitet:	Kk-värde:	LA-värde:	MD-värde:	BKVB	BKVV	BKVJ
PLI210013A	6471313	407836	Leukogranitisk ortognejs, fint medelkornig, röd, ådrad	32	2,62	10,4	30,8	6,7	1	1,5	2,5
PLI210014A	6466531	396371	Granodioritisk-granitisk ortognejs, grå, ådrad	37	2,67	16,8	39,8	10,7	1	3	3
PLI210014B	6466531	396371	Kvartsmonzodioritisk gnejs, mörkt grå, ojämn-kornig, sulfider	38	2,83	23,6	43,2	16,8	1	3	3
PLI210035A	6467664	397946	Granodioritisk-granitisk ortognejs, grå, fint medelkornig, mycket ådrad	37	2,69	20,1	40,9	12,3	1,5	3	3
SPN210020A	6469888	406051	Leukokratisk, granitisk ortognejs.	32	2,62	10,7	34,2	7,0	1	2	3
SPN210154A	6468757	395850	Granodioritisk-granitisk ortognejs, grå med röda fläckar, ådrad	37	2,65	19,4	48,1	12,3	1	3	3
SPN210159A	6463355	386152	Kvartsmonzodioritisk ortognejs med amfibolit-enklaver, grå, medelkornig, ådrad	38	2,78	22,4	40,9	15,5	1	3	3
SPN210159B	6463355	386152	Amfibolit, enklav i kvartsmonzodioritisk gnejs, mörkt grå, finkornig, gnejsig	31	3,04	40,5	64,5	37,3	1	4	4
SPN210160A	6451609	376852	Granitisk ortognejs, gråröd, fint medelkornig, ådrad, omkristalliserad	33	2,65	10,9	30,6	7,2	1	2,5	2,5
SPN210162A	6448146	374092	Kvartsmonzodioritisk-granodioritisk ortognejs, grå, medelkornig, ådrad	38	2,77	26,3	45,6	18,5	1	3	3
SPN210162B	6448146	374092	Pegmatitiska-granitiska ådror i kvartsmonzodioritisk ortognejsortognejs	10	2,64			11,2			
SPN210162C	6448146	374092	kvartsmonzodioritisk-granodioritisk ortognejs, grå, medelkornig, ej ådrad	38	2,81			20,2			
SPN210163A	6462121	388177	Porfyroklastisk granitisk ortognejs, rödgrå, fint medelkornig, ådrad, bevarad porfyrisk textur	36	2,68	15,9	38,6	10,5	2	3	3
SPN210164A	6453337	378282	Porfyroklastisk granodioritisk-kvartsmonzodioritisk ortognejs, grå, fint medelkornig, glest ådrad	38	2,71	27,0	55,8	16,0	1,5	4	4
SPN210165A	6468868	394219	Granitisk ortognejs, gråröd, ojämnkornig, ådrad	33	2,63	17,0	41,9	9,4	2	3	3
UJB211006A	6454653	376042	Granodioritisk-granitisk ortognejs. Relativt mörkt grå. Saknar ådring generellt	37	2,72	16,9	33,6	11,2	1	3	3
UJB211006B	6454653	376042	Ådror i granodioritisk ortognejs	10	2,65	15,1		8,9			
UJB211006C	6454653	376042	Granodioritisk ortognejs, mörkt grå, medelkornig, något ojämnkornig	38	2,74	16,0		11,6	1	2	2
UJB211008A	6450759	376347	Amfibolit, fint medelkornig, gnejsig och något ådrad, mörkt grå	31	3,04	27,3	40,4	22,2	1	3	
UJB211009A	6449234	376572	Granitisk till granodioritisk ådrad ortognejs. Amfibolitiska boudiner och små pegmatitgångar.	37	2,71	15,8	35,4	10,7	1	3	3
UJB211009B	6449234	376572	Amfibolitiska boudiner i ortognejs. Mörkt grå till svart, fint medelkornig, gnejsig.	39	3,02	33,4		25,4	2	4	3,5

Bilaga 2. Strålning och andra geofysiska egenskaper för de provtagna bergarterna i projektområdet

ID bkv	Spek ID	Kkod	Bergart	N-Spek	K-medel	U-medel	Th-medel	Al-medel	Densitet(kg/m³)	K(uSI)
TEN170004	SPN180150	13	Granit, något gnejsig, gråröd, fint medelkornig till medelkornig, med ovala något utdragna strökorn av kalifältspat	3	4,7	1,2	3,7	0,6		
TEN170005	SPN180156	13	Granit, gråröd, finkornig till fint medelkornig, gnejsig, glimmerfattig	3	5,0	2,3	15,3	0,9		
SPN180142A	SPN180142	18	Granodiorit-kvartsmonzonit, ögonförande, massformig, gnejsiga xenoliter av sedimentär bergart	4	3,6	2,4	12,9	0,7		
SPN180144A	SPN180144	20	Gabbro-Monzogabbro, massformig, mörkt grå, fint medelkornig, jämnkornig	3	1,7	0,8	2,9	0,3		
SPN180145A	SPN180145	18	Grovporfyrisk granit-kvartsmonzonit, gnejsig, glimmerrik mellanmassa	3	4,1	2,3	7,5	0,7		
SPN180146A	SPN180146	23	Granit, röd, ojämnkornig, medelkornig, gnejsig	2	4,4	4,0	17,0	1,0		
SPN180147A	SPN180147	15	Kvartsmonzodiorit, grå-mörkgrå, ojämnkornig, svagt gnejsig	3	2,9	1,7	5,9	0,5		
SPN180148A	SPN180148	14	Granit-kvartssyenit, röd, något gnejsig, finkornig men relik grovkornig, kvartsfattig	3	5,9	0,8	2,8	0,7		
SPN180149A	SPN180149	18	Granodiorit-granit, rödgrå, grovporfyrisk, grovt medelkornig, glimmerrik förskiffring	3	4,6	4,2	13,3	0,9		
SPN180151A	SPN180151	23	Granit, gråröd, ojämnkornig, varierande kornstorlek, stänglig	2	4,3	3,5	13,1	0,9		
SPN180153A	SPN180153	19	Gabbro, huvudsakligen massformig, mörkt grå, grovt medelkornig	2	1,1	1,0	3,9	0,2		
SPN180155A	SPN180155	11	Gråvacka, grå, finkornig, bandad, kvartsrika led (sandsten)	4	2,4	3,5	19,4	0,8	2 774	385
SPN180161A	SPN180161	14	Granit-granodiorit, gråröd, ojämnkornig, folierad	2	4,7	4,8	23,6	1,2	2 640	807
PLI190001A	SPN190037	21	Amfibolit, mörkt grå, finkornig-medelkornig, folierad, granater	3	1,0	0,6	3,0	0,2	3 038	836

ID bkv	Spek ID	Kkod	Bergart	N-Spek	K-medel	U-medel	Th-medel	Al-medel	Densitet(kg/m ³)	K(uSI)
PLI190003A	SPN190038	23	Granit, gnejsig, rödgrå, porfyroklaster av kalifältspat	2	4,7	3,0	20,4	1,0	2 671	280
PLI190005A	SPN190040	35	Granodioritisk-granitisk gnejs, grå och delar som är ljusare grå, medelkornig, Na-omvandling	3	1,7	2,0	8,3	0,4	2 687	11 493
PLI190006A	SPN190041	23	Gnejsig granit, rödgrå, medelkornig, sulfidmineral i sprickor	3	4,0	2,9	12,3	0,8	2 656	10 874
PLI190007A	SPN190042	28	Kvartsmonzodioritisk gnejs, grå, varierande kornstorlek, stänglig med utdragna aggregat av kalifältspatsporfyroklaster	3	2,2	1,5	6,0	0,4	2 848	1 069
PLI190008A	SPN190043	23	Granit, röd, fint medelkornig, gnejsig	3	4,6	2,5	15,5	0,9	2 662	2 593
PLI190009A	SPN190044	33	Granitisk gnejs, mörk, spräckligt gråröd, medelkornig, magnetit	3	4,7	2,6	12,0	0,8	2 654	15 251
PLI190011A	SPN190045	23	Granit, gnejsig, jämnkornig, ådrad	3	5,0	3,9	15,9	1,0	2 647	444
SPN190152A	SPN190152	27	Granit, gråröd, fint medelkornig, ojämnkornig, gnejsig, biotitstrimmig	3	4,0	4,6	13,7	0,9	2 672	2 092
SPN190154A	CJK191004	21	Diabas, svagt deformerad, delvis amfibolitomvandlad, mörkt grå, ojämnkornig, grovt medelkornig,	3	0,9	0,5	2,1	0,2	3 093	4 4217
SPN190155A	SPN190155	23	Granit-syenit, leukokratisk, rödbrun, fint medelkornig, gnejsig	3	4,2	3,1	13,9	0,8	2 646	18 202
SPN190158A	SPN190158	23	Granit, gråröd, fint medelkornig, gnejsig, ådrad	3	4,2	2,7	17,0	0,9	2 608	2 257
SPN190171A	SPN190171	22	Leukogranit, röd, finkornig-fint medelkornig, gnejsig	3	4,8	1,7	14,4	0,9	2 614	1 977
TEN190006A	TEN190006A	37	Granodioritisk ortognejs, grå, medelkornig, något ojämnkornig, gnejsig och ådrad	3	3,4	3,5	13,0			
TEN190017A	SPN190181	8	Sandsten, grå, ljusfärgad, finkornig, lagrad/bankad	2	1,3	1,9	6,4	0,3		
TEN190018A	SPN190047	5	Ortocerkalksten, röd, finkornig, fossilförande	3	0,5	0,5	3,6	0,1		
TEN190059A	SPN190177	35	Gråröd, fint medelkornig till medelkornig, glimmerfattig granitisk gnejs	3	4,1	1,5	12,8	0,7		
TEN190060A	SPN190178	39	Amfibolit, gråsvart, finkornig till fint medelkornig, planfolierad, kvartsdioritisk	3	2,3	0,6	3,2	0,3		
TEN190061A	SPN190179	33	Ortognejs, granitisk. Gråröd, fint medelkornig till medelkornig gnejsig, småveckad	3	3,2	6,4	16,4	0,9		

ID bkv	Spek ID	Kkod	Bergart	N-Spek	K-medel	U-medel	Th-medel	Al-medel	Densitet(kg/m³)	K(uSI)
TEN190062A	SPN190180	8	Kambrisk sandsten, Mickwitzia. Gråvit, skiktad, lagrad med rödbrunfärgade band och fläckar	1	0,3	0,4	2,4	0,1		
PLI210001A	PLI210001A	32	Leukogranitisk ortognejs, röd, finkornig, omkristalliserad, magnetit	3	4,5	5,4	20,4	1,1	2 617	414
PLI210002A	PLI210002A	33	Granitisk ortognejs, röd, medelkornig	2	4,2	2,3	11,2	0,8	2 646	19 001
PLI210004A	PLI210004A	32	Leukogranitisk ortognejs, röd, finkornig, omkristalliserad, magnetit	3	4,2	3,8	19,5	1,0	2 616	1 287
PLI210005A	PLI210005A	36	Ortognejs, granitisk-kvartsmonzonitisk, röd, medelkornig, magnetit	3	3,7	2,5	10,4	0,7	2 678	20 494
PLI210006A	PLI210006A	37	Ortognejs, granodioritisk-granitisk, grå, veckad, granitiska och pegmatitiska boudinerande ådror	3	3,0	2,9	10,9	0,7	2 723	320
PLI210008A	PLI210008A	37	Granodioritisk-granitisk gnejs, lite ådring, grå, hornblände	2	2,8	3,0	10,8	0,6	2 748	339
PLI210010A	PLI210010A	38	Kvartsmonzodioritisk ortognejs m. växelvisa band av amfibolit och granitisk ortognejs, grå, finkornig	3	2,3	1,4	7,7	0,5	2 868	11 038
PLI210010B	PLI210010B	31	Amfibolit, mörkt gröngrå, finkornig, bildar band i kvartsmonzodioritisk ortognejs	2	2,0	0,7	4,1	0,3	2 973	1 384
PLI210013A	PLI210013	32	Leukogranitisk ortognejs, fint medelkornig, röd, ådrad	3	4,7	5,2	25,9	1,2	2 619	3 606
PLI210014A	PLI210014A	37	Granodioritisk-granitisk ortognejs, grå, ådrad	1	3,5	3,5	13,4	0,8	2 688	151
PLI210014B	PLI210014B	38	Kvartsmonzodioritisk gnejs, mörkt grå, ojämnkornig, sulfider	3	2,8	2,6	7,5	0,5	2 863	518
SPN210020A	PLI210009	32	Leukokratisk, granitisk ortognejs.	2	4,7	6,4	22,0	1,2	2 617	649
SPN210154A	SPN210154	37	Granodioritisk-granitisk ortognejs, grå med röda fläckar, ådrad	4	3,1	3,7	14,8	0,8	2 635	1 258
SPN210159A	SPN210159A	38	Kvartsmonzodioritisk ortognejs med amfibolitenklaver, grå, medelkornig, ådrad	3	2,6	1,6	6,6	0,5	2 747	565
SPN210159B	SPN210159B	31	Amfibolit, enklav i kvartsmonzodioritisk gnejs, mörkt grå, finkornig, gnejsig	3	1,5	0,6	2,4	0,2	3 063	953
SPN210160A	SPN210160	33	Granitisk ortognejs, gråröd, fint medelkornig, ådrad, omkristalliserad	3	4,5	3,2	16,1	0,9	2 647	43 313
SPN210162A	SPN210162	38	Kvartsmonzodioritisk-granodioritisk ortognejs, grå, medelkornig, ådrad	3	2,1	1,2	8,5	0,4	2 821	832

ID bkv	Spek ID	Kkod	Bergart	N-Spek	K-medel	U-medel	Th-medel	Al-medel	Densitet(kg/m ³)	K(uSI)
SPN210163A	SPN210163	36	Porfyroklastisk granitisk ortognejs, rödgrå, fint medelkornig, ådrad, bevarad porfyrisk textur	3	3,8	2,1	11,7	0,7	2 681	14 452
SPN210164A	SPN210164	38	Porfyroklastisk granodioritisk-kvarts-monzodioritisk ortognejs, grå, fint medelkornig, glest ådrad	3	2,6	2,8	8,2	0,5	2 733	1 588
SPN210165A	SPN210165	33	Granitsk ortognejs, gråröd, ojämnkornig, ådrad	3	5,2	4,1	19,8	1,1	2 617	43
UJB211006A	PLI210003	37	Granodioritisk-granitisk ortognejs. Relativt mörkt grå. Saknar ådring generellt	3	3,0	3,4	9,3	0,6	2 725	-0,8
UJB211008A	SPN210058	31	Amfibolit, fint medelkornig, gnejsig och något ådrad, mörkt grå	1	0,9	0,6	2,2	0,2		
UJB211009A	SPN210157	37	Granitisk till granodioritisk ådrad ortognejs. Amfibolitiska boudiner och små pegmatitgångar.	3	3,9	2,7	15,9	0,8		

Bilaga 3. Modalanalyser

Innehållet av olika mineralfaser i bergarterna på provtagningsplatserna. Förkortningar av mineral som ingår i modalanalysen: Kvarts (Kv), kalifältspat (Kf), plagioklas (Pl), biotit (Bt), muskovit (Mu), Klorit (Kl), hornblände (Hbl), Pyroxen (Px), zirkon (Zr) Apatit (Ap), Titanit (Ti), epidot (Ep), Kalcit (Kc), granat (Ga), serpentin (Srp).

ID bkv	Kkod	Kv (%)	Kf (%)	Pl (%)	Bt (%)	Mu (%)	Kl (%)	Hbl (%)	Px (%)	Opak (%)	Fe-oxid (%)	Zr (%)	Ap (%)	Ti (%)	Ep (%)	Kc (%)	Ga (%)	Srp (%)	Övriga mineral (%)	Summa (%)
TEN170004	13	27,2	40,0	26,6	5,6		0,2			0,2					0,2				0,0	100
TEN170005	13	18,2	36,3	35,0	4,5	0,5	0,3			2,9			0,2	1,1	1,0				0,0	100
SPN180142A	18	26,6	11,2	40,5	18,4	2,9				0,2			0,2			0,2			0,0	100
SPN180144A	20			51,8	14,2			25,4		5,6			2,8	0,2					0,0	100
SPN180145A	18	28,1	21,9	27,8	19,7	0,9				0,4		0,1		0,3					0,7	100
SPN180146A	23	27,5	37,6	28,0	2,7		0,3	2,9		0,3					0,2				0,5	100
SPN180147A	15	6,5	6,5	54,0	19,7		0,4	7,2		1,2		0,1	1,1	1,7	1,2	0,1	0,3			100
SPN180148A	14	2,4	33,4	44,5	14,6					0,2		0,2		1,3	2,1	1,4				100
SPN180149A	18	20,2	21,2	31,9	21,2	0,6	0,4			0,1		0,1	0,3	1,0	2,8					100
SPN180151A	23	29,0	27,7	37,0	5,3							0,1		0,5	0,3					100
SPN180153A	19	1,0	0,2	48,8	7,4			34,4		5,8			1,8	0,2			0,4			100
SPN180155A	11	24,3		40,4	24,5	10,6											0,3			100
SPN180159A	13	25,4	32,6	34,6	4,6	1,4	0,2			0,6		0,2					0,2		0,2	100
SPN180161A	14	26,4	27,0	37,4	7,5		0,3			0,5				0,5					0,3	100
PLI190001A	21			35,4	7,8			47,8		2,1			0,5				5,1		1,3	100
PLI190003A	27	17,9	33,6	37,4	7,4			2,2		0,3		0,2					0,6		0,3	100
PLI190005A	35	0,6	16,0	73,1	0,2		0,8	2,2		3,5		0,2	0,3	3,0						100
PLI190006A	23	28,2	27,5	34,2	8,2		0,2			0,2		0,2		0,6	0,3				0,5	100
PLI190007A	28	14,1		49,0	12,0		2,9	16,6		0,3			0,8	0,5	3,0	0,5			0,3	100
PLI190008A	23	26,5	33,6	33,1	3,9			2,3						0,4	0,2					100
PLI190009A	33	21,1	34,2	31,5	8,0		0,2	2,9		0,5				1,6						100
PLI190011A	23	23,0	44,6	24,2	5,6		0,2	1,1		0,5		0,6	0,2							100
SPN190152A	27	17,4	21,8	48,6	8,6	0,2	0,2			0,3		0,3		1,0	1,3				0,3	100
SPN190154A	21			55,8	0,6			8,4	30	3,6									1,6	100
SPN190155A	23	30,4	39,4	27,3	1,1		0,3	0,2		1,1									0,2	100
SPN190158A	23	22,1	36,1	35,6	3,8		0,3			1,3			0,3						0,5	100
SPN190171A	22	28,0	38,6	29,6	1,4	0,4	0,4			1,0		0,4							0,2	100
SPN190174A	23	28,6	32,5	26,0	4,6		0,2	5,5		1,2		0,1	0,1	0,9	0,2				0,2	100
SPN190175A	21	1,4		29,9	8,0		0,2	57,9		0,5			0,2				1,1		0,8	100
TEN190006A	37	26,9	2,7	45,3	13,8		0,3	7,7					0,3	0,2	2,4				0,5	100

ID bkv	Kkod	Kv (%)	Kf (%)	Pl (%)	Bt (%)	Mu (%)	Kl (%)	Hbl (%)	Px (%)	Opak (%)	Fe-oxid (%)	Zr (%)	Ap (%)	Ti (%)	Ep (%)	Kc (%)	Ga (%)	Srp (%)	Övriga mineral (%)	Summa (%)
TEN190007A	33	26,6	35,4	33,3	4,2					0,2		0,2		0,3						100
TEN190008A	37	21,4	24,2	43,3	6,2		0,1	3,8				0,2	0,1	0,2	0,3	0,1				100
TEN190016A	38	14,9	10,1	47,0	9,3		0,3	15,5					0,5	1,1	1,3					100
TEN190017A	8	78,8	2,3	2,8	0,5	4,0	1,4			4,2	3,0	0,2				2,8				100
TEN190019A	37	19,1	22,4	50,7	4,4		0,7	0,7		0,7			0,5	0,5		0,2				100
TEN190027A	33	23,6	24,3	45,2	6,1		0,2			0,2						0,4				100
TEN190028A	33	28,5	20,2	45,1	5,6		0,3			0,2		0,2								100
TEN190029A	37	15,4	6,5	65,8	10,7		0,3	10,4					0,3	0,3	2,1					100
TEN190038A	37	21,8	16,2	45,9	8,6		0,6	4,8		0,2		0,3	0,2	0,3	1,1					100
TEN190059A	35	26,2	2,4	63,4	2,4		1,3			2,6		0,2		0,3	0,2				1,1	100
TEN190060A	39			64,0	19,9		0,2	13,5					1,0	1,5						100
TEN190061A	33	21,1	39,4	29,6	5,3		0,3	2,4		0,5			0,2	0,5	0,5	0,2			0,2	100
TEN190062A	8	62,5	15,0	8,5		1,0				2,0	9,0	0,5	0,5						1,0	100
PLI210001A	32	33,6	31,5	32,6	1,9					0,4										100
PLI210002A	33	27,3	33,2	33,9	3,2			0,3		0,3		0,1	0,1	1,4					0,1	100
PLI210004A	32	35,1	35,1	27,1	1,3		0,1			1,0				0,1						100
PLI210005A	36	15,4	26,8	46,8	4,8		0,7	2,9		0,8			0,3	1,4					0,1	100
PLI210006A	37	20,7	23,0	38,3	6,2		0,7	8,9					0,1	0,7	0,4				1,1	100
PLI210007A	31	3,8		24,4	5,2			62,2		0,9			0,6	2,6		0,2			0,2	100
PLI210008A	37	17,8	11,0	46,6	17,6		0,1	5,4					0,3	0,7					0,4	100
PLI210010A	38	11,6	11,1	46,5	0,4		0,1	28,1		0,8			0,8	0,5						100
PLI210010B	31	1,1	6,4	36,1	4,5		0,1	48,1		0,1		0,1	0,5	2,7					0,3	100
PLI210011A	33	25,9	35,7	31,1	4,7					0,7		0,1		1,7					0,1	100
PLI210013A	32	36,8	35,1	25,1	1,7					1,0		0,1							0,1	100
PLI210014A	37	27,4	13,3	49,3	8,6		0,1	0,4		0,3				0,3	0,3					100
PLI210035A	37	24,5	23,1	38	8,2		0,3	5,5		0,1		0,1	0,1	0,1						100
SPN210020A	32	34,8	34,3	28,1	1,8					0,5									0,4	100
SPN210154A	37	22,7	25,4	41,0	7,8		0,3	2,1				0,1	0,4	0,4						100
SPN210159A	38	3,4	31,8	41,8	3,0		0,1	17,0		0,1		0,1	0,7	1,2		0,4			0,3	100
SPN210159B	31	1,8	3,9	29,4	2,1		0,1	47,8	11,5	0,7		0,2	0,4	2,6						100
SPN210160A	33	27,5	49,5	17,5	0,2			4,0		0,8		0,2		0,3					0,2	100
SPN210162A	38	12,0	2,5	40,2	6,1		0,3	34,8		0,3			0,9	2,8					0,1	100
SPN210162B	10	20,0	8,2	71,5	0,1			0,1								0,1				100

ID bkv	Kkod	Kv (%)	Kf (%)	Pl (%)	Bt (%)	Mu (%)	Kl (%)	Hbl (%)	Px (%)	Opak (%)	Fe-oxid (%)	Zr (%)	Ap (%)	Ti (%)	Ep (%)	Kc (%)	Ga (%)	Srp (%)	Övriga mineral (%)	Summa (%)
SPN210163A	36	11,5	24,5	49,1	10,3		1,0	0,6		0,7			0,3	1,3	0,6				0,1	100
SPN210164A	38	9,8	11,7	57,7	10,9		0,3	7,7		0,1		0,3	0,7	0,8	0,1	0,1				100
SPN210165A	33	22,2	41,0	32,0	3,8		0,5					0,1		0,4						100
UJB211006A	37	18,5	17,6	43,4	5,3		0,8	11,9		0,4			0,4	0,7	0,4	0,1			0,4	100
UJB211006B	10	23,1	27,8	45,0	1,9		0,2	1,5						0,2		0,2				100
UJB211008A	31	1,0		31,6			1,7	62,4		1,1			0,3	1,0		0,8			0,1	100
UJB211009A	37	23,5	18,2	43,9	9,3		0,1	4,2		0,1			0,1	0,5						100
UJB211009B	39	0,3		31,4	15,5		0,3	49,4		0,4			0,1	2,4		0,1				100

Bilaga 4. Innehållet av ett utvalt antal spårelement i de olika bergarterna på provtagningsplatserna

ID	Kkod	Labb- metod	C	S	MnO	As	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Zn	Sn	Zn
			C-IR07	S-IR08	ME- ICP06	ME- MS42	ME- MS42	ME- 4ACD81	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS42	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- 4ACD81
			%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TEN170004	13	ALS 2019	0,01	0,01	0,04	0,1	< 0,05	23	0,02	1,7	4,3	5	<0,005	< 1	< 1	0,7	78
TEN170005	13	ALS 2019	0,01	0,01	0,08	0,1	0,11	23	0,04	1,4	1,2	3	< 0,005	< 1	< 1	2,1	62
SPN180142A	17	ALS 2018	0,03	0,03	0,04	0,3	< 0,05	33	0,03	8,5	37,1	9	0,009	1	4	0,9	76
SPN180144A	19	ALS 2018	0,01	0,05	0,17	0,2	< 0,05	5	0,07	22,8	25,5	51	0,008	3	51	0,5	182
SPN180145A	17	ALS 2018	0,02	0,01	0,08	0,4	< 0,05	23	0,04	7,7	6,3	10	< 0,005	1	6	0,7	104
SPN180146A	23	ALS 2018	0,01	0,02	0,1	0,3	< 0,05	38	0,12	1,4	4,6	5	0,009	2	1	2,7	142
SPN180147A	18	ALS 2018	0,02	0,07	0,21	0,3	< 0,05	11	0,05	9,5	4,8	2	0,005	2	3	0,5	137
SPN180148A	14	ALS 2018	0,04	0,02	0,08	0,2	< 0,05	15	0,03	4,3	7,4	4	0,011	< 1	2	0,3	59
SPN180149A	17	ALS 2018	0,02	0,03	0,09	0,6	0,08	20	0,16	10,4	15	14	0,011	4	7	1,5	107
SPN180151A	23	ALS 2018	0,01	0,01	0,08	0,1	< 0,05	18	0,06	2,8	4,3	6	< 0,005	2	2	1,8	55
SPN180153A	19	ALS 2018	0,01	0,16	0,22	0,1	< 0,05	3	0,04	14,1	29,5	3	0,008	1	5	0,3	121
SPN180155A	11	ALS 2018	0,03	0,01	0,04	0,3	< 0,05	40	0,05	10,6	0,6	34	0,013	3	22	0,7	79
SPN180159A	13	ALS 2018	0,02	0,01	0,07	0,3	0,21	21	0,11	1,4	0,7	3	0,006	2	< 1	2,4	74
SPN180161A	14	ALS 2018	0,01	0,01	0,06	0,2	0,05	22	0,02	3,2	0,6	5	0,008	2	2	2,2	54

ID	Kkod	Labb- metod	C	S	MnO	As	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Zn	Sn	Zn
			C-IR07	S-IR08	ME- ICP06	ME- MS42	ME- MS42	ME- 4ACD81	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS42	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- 4ACD81
			%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
PLI190001A	21	ALS 2019	0,01	0,06	0,13	0,2	0,09	3	0,03	19,1	26,9	20	< 0,005	1	88	0,4	123
PLI190003A	27	ALS 2019	0,02	0,01	0,12	< 0,1	0,06	27	0,48	0,4	4,2	3	< 0,005	5	5	3,3	175
PLI190005A	35	ALS 2019	0,02	< 0,01	0,11	0,5	0,07	5	0,03	1,4	0,2	3	< 0,005	1	1	1,1	54
PLI190006A	23	ALS 2019	0,02	0,01	0,09	0,2	0,05	17	0,04	3	0,6	6	< 0,005	1	1	1,2	65
PLI190007A	28	ALS 2019	0,02	0,03	0,23	0,2	0,05	12	0,12	14,2	22,7	23	< 0,005	1	23	0,6	157
PLI190008A	23	ALS 2019	0,01	0,01	0,1	0,1	< 0,05	31	0,16	1,3	4,3	5	< 0,005	1	3	2,8	129
PLI190009A	33	ALS 2019	0,03	0,02	0,1	< 0,1	< 0,05	26	0,07	1,5	3,6	6	< 0,005	2	2	1,7	83
PLI190011A	23	ALS 2019	0,01	< 0,01	0,08	< 0,1	< 0,05	30	0,07	0,8	0,3	5	< 0,005	1	< 1	2,9	100
SPN190152A	27	ALS 2019	0,02	0,01	0,08	0,2	0,07	20	0,02	4,8	0,3	3	< 0,005	< 1	< 1	1,5	61
SPN190154A	21	ALS 2019	0,24	0,14	0,2	< 0,1	< 0,05	6	0,03	26,2	71,5	65	< 0,005	< 1	103	0,5	130
SPN190155A	23	ALS 2019	0,12	0,01	0,05	0,4	< 0,05	8	0,03	0,6	1,4	2	< 0,005	< 1	< 1	2,5	87
SPN190158A	23	ALS 2019	0,03	0,01	0,05	0,7	< 0,05	20	0,01	2,8	2,3	4	< 0,005	< 1	< 1	1,3	45
SPN190171A	22	ALS 2019	0,02	0,01	0,05	0,4	0,07	29	0,03	0,7	0,6	3	< 0,005	< 1	< 1	1,2	34
SPN190174A	23	ALS 2019	0,02	0,01	0,09	0,4	< 0,05	28	0,1	1,5	6,6	3	< 0,005	< 1	< 1	3,3	116
SPN190175A	21	ALS 2019	0,03	0,12	0,2	< 0,1	< 0,05	7	0,1	27,2	45,6	34	< 0,005	1	112	0,3	131
TEN190006A	37	ALS 2019	0,03	0,01	0,09	0,1	< 0,05	20	0,03	5,2	0,3	8	< 0,005	1	4	0,7	58

ID	Kkod	Labb- metod	C	S	MnO	As	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Zn	Sn	Zn
			C-IR07	S-IR08	ME- ICP06	ME- MS42	ME- MS42	ME- 4ACD81	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS42	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- 4ACD81
			%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TEN190007A	33	ALS 2019	0,03	0,01	0,07	< 0,1	< 0,05	22	0,07	0,7	0,2	7	< 0,005	1	1	1,5	34
TEN190008A	37	ALS 2019	0,02	< 0,01	0,1	0,3	0,06	18	0,09	3,4	0,2	5	< 0,005	1	1	0,9	63
TEN190016A	38	ALS 2019	0,03	0,01	0,12	0,1	0,05	12	0,02	9,4	4,8	41	< 0,005	1	26	0,4	73
TEN190017A	8	ALS 2019	0,18	0,01	0,02	0,7	0,06	3	< 0,01	1,3	1,1	7	< 0,005	1	3	< 0,2	7
TEN190018A	5	ALS 2019	10,15	0,01	0,18	0,4	0,31	4	0,05	3	1,2	3	< 0,005	1	16	< 0,2	15
TEN190019A	37	ALS 2019	0,02	0,01	0,09	0,2	< 0,05	12	0,02	4,5	0,9	4	0,007	< 1	< 1	1,1	58
TEN190027A	33	ALS 2019	0,08	0,02	0,08	0,5	< 0,05	19	0,02	2,4	1,7	3	0,005	1	< 1	0,9	61
TEN190028A	33	ALS 2019	0,01	< 0,01	0,05	0,4	0,05	17	0,01	2,2	1,3	5	0,005	< 1	< 1	0,9	36
TEN190029A	37	ALS 2019	0,02	0,02	0,12	0,4	0,05	13	0,02	9,6	14,1	9	< 0,005	1	6	0,8	74
TEN190038A	37	ALS 2019	0,02	< 0,01	0,09	0,9	0,13	16	0,01	6,6	0,7	7	0,006	1	4	0,8	66
TEN190059A	35	ALS 2019	0,07	< 0,01	0,04	0,5	0,05	6	0,02	1,7	3,1	3	0,005	< 1	1	1,5	25
TEN190060A	39	ALS 2019	0,07	0,16	0,18	0,4	0,06	11	0,08	15,1	24,5	2	0,005	< 1	6	0,6	95
TEN190061A	33	ALS 2019	0,03	< 0,01	0,1	0,3	0,06	24	0,05	3,7	0,3	5	< 0,005	< 1	< 1	1,1	67
TEN190062A	8	ALS 2019	0,41	< 0,01	0,05	0,3	0,08	7	0,02	5,1	38,7	7	0,008	1	10	< 0,2	31
PLI210001A	32	ALS 2022	0,03	< 0,01	0,04	0,2	< 0,05	21	< 0,01	1,2	0,4	3	< 0,005	< 1	3	0,9	17
PLI210002A	33	ALS 2022	0,01	0,01	0,08	0,2	< 0,05	20	0,04	2,8	5,7	5	< 0,005	1	5	1,7	57

ID	Kkod	Labb- metod	C	S	MnO	As	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Zn	Sn	Zn
			C-IR07	S-IR08	ME- ICP06	ME- MS42	ME- MS42	ME- 4ACD81	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS42	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- 4ACD81
			%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
PLI210004A	32	ALS 2022	0,03	< 0,01	0,03	0,2	< 0,05	16	< 0,01	0,7	0,2	6	< 0,005	< 1	2	0,6	6
PLI210005A	36	ALS 2022	0,02	0,02	0,13	0,2	< 0,05	12	0,04	2,4	9,8	4	< 0,005	1	1	0,7	82
PLI210006A	37	ALS 2022	0,04	< 0,01	0,09	0,2	< 0,05	20	0,16	7	14,4	21	< 0,005	1	15	0,7	80
PLI210007A	31	ALS 2022	0,02	0,17	0,22	0,2	< 0,05	6	0,08	25,3	76	32	< 0,005	1	67	0,4	129
PLI210008A	37	ALS 2022	0,04	< 0,01	0,09	0,1	< 0,05	11	0,02	10,3	0,8	26	< 0,005	< 1	13	0,9	65
PLI210010A	38	ALS 2022	0,04	< 0,01	0,2	0,2	< 0,05	6	0,03	11,2	7,6	3	< 0,005	1	6	0,5	107
PLI210010B	31	ALS 2022	0,04	< 0,01	0,2	0,2	< 0,05	8	0,04	21,1	108,5	41	< 0,005	1	52	0,4	128
PLI210011A	33	ALS 2022	0,01	< 0,01	0,07	0,2	< 0,05	12	0,03	0,7	0,5	4	< 0,005	< 1	< 1	1,7	51
PLI210013A	32	ALS 2022	0,04	< 0,01	0,04	0,1	< 0,05	22	0,01	1,3	0,6	6	< 0,005	1	< 1	1,1	21
PLI210014A	37	ALS 2022	0,04	0,03	0,07	0,1	< 0,05	22	0,06	5,2	6,2	6	< 0,005	1	1	0,7	69
PLI210014B	38	ALS 2022	0,12	0,01	0,19	0,2	< 0,05	18	0,15	11,6	5,6	5	< 0,005	1	7	0,5	141
PLI210019A	38	ALS 2023	0,06	< 0,01	0,19	0,2	< 0,05	27	0,09	14,9	192	12	< 0,005	1	10	0,7	180
PLI210035A	37	ALS 2022	0,05	< 0,01	0,1	0,2	< 0,05	13	0,02	6,2	14,4	20	< 0,005	< 1	8	0,9	69
SPN210013A	35	ALS 2022	0,01	< 0,01	0,03	0,1	< 0,05	7	0,01	1	0,6	4	< 0,005	1	2	1,9	33
SPN210020A	32	ALS 2022	0,03	< 0,01	0,03	0,2	< 0,05	20	< 0,01	1	0,3	5	< 0,005	4	< 1	1,2	16
SPN210071A	39	ALS 2022	0,11	< 0,01	0,15	0,1	< 0,05	3	0,02	4,8	8,6	325	< 0,005	1	137	< 0,2	69

ID	Kkod	Labb- metod	C	S	MnO	As	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Zn	Sn	Zn
			C-IR07	S-IR08	ME- ICP06	ME- MS42	ME- MS42	ME- 4ACD81	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS42	ME- MS41	ME- MS41	ME- MS41	ME- 4ACD81
			%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SPN210154A	37	ALS 2022	0,01	< 0,01	0,07	0,1	< 0,05	19	0,04	3,5	0,3	6	< 0,005	1	1	1,2	43
SPN210159A	38	ALS 2022	0,07	0,05	0,11	0,2	< 0,05	23	0,03	6,1	38,2	7	< 0,005	2	4	0,6	73
SPN210159B	31	ALS 2022	0,06	0,13	0,28	0,2	< 0,05	10	0,06	18,4	131,5	84	< 0,005	< 1	78	0,3	157
SPN210160A	33	ALS 2022	0,05	0,02	0,05	0,1	< 0,05	18	0,01	2,3	10,8	5	< 0,005	12	2	1,5	26
SPN210162A	38	ALS 2022	0,03	0,12	0,16	0,1	< 0,05	13	0,04	14,2	54,5	28	< 0,005	1	33	0,7	95
SPN210163A	36	ALS 2022	0,04	0,01	0,1	0,2	< 0,05	18	0,03	5	9,9	5	< 0,005	1	1	0,9	71
SPN210164A	38	ALS 2022	0,04	0,04	0,08	0,3	< 0,05	15	0,02	7,4	57,9	8	< 0,005	2	6	0,7	63
SPN210165A	33	ALS 2022	0,04	< 0,01	0,03	0,1	< 0,05	23	0,02	3,4	1,9	6	< 0,005	1	< 1	0,9	30
TEN210221A	38	ALS 2023	0,03	< 0,01	0,24	0,3	0,09	7	0,06	11,7	0,8	3	0,006	< 1	2	0,7	104
UJB211006A	37	ALS 2022	0,09	0,01	0,08	0,2	0,09	10	0,02	8,9	32,6	20	0,011	1	15	0,8	49
UJB211008A	31	ALS 2022	0,07	0,15	0,21	0,3	0,08	5	0,05	19,6	103	44	0,008	1	82	0,4	114
UJB211009A	37	ALS 2022	0,02	0,01	0,09	0,2	0,09	18	0,04	5,9	15,8	9	0,008	1	7	1,1	52

Bilaga 5. En kvalitativ undersökning av det relativa innehållet av olika opaka mineral från ett urval av de provtagna bergarterna i projektområdet

Förekomsten av opaka mineral är uttryckt från I (1) till IIIII (5) i ett prov, där I är endast spår av mineralet och IIIII betyder att mineralet är mycket vanligt bland de opaka mineralen i provet. Observera att undersökningen visar ett relativt innehåll, så ett värde på 5 behöver inte betyda att mineralet förekommer rikligt i provet, utan det betyder endast att det är vanligt bland de opaka mineral som förekommer. Förkortningar för ämnen och mineral som presenteras i tabellen: biotit (Bt), muskovit (Mu), klorit (Kl), svavel (S), magnetit (Mt), hematit (He), ilmenit (Ilm), rutil (Ru), pyrit (Py), kopparkis (Kk), magnetkis (MKs), zinkblände (ZnB).

ID	Kkod	Bt+Mu+Kl vikt-%	Opak vikt-%	S volym-%	Mt	He	Fe-oxid	Ilm	Ru	Py	Kk	MKs	ZnB
PLI190001A	21	7,8	2,1	0,06				IIII	II	II	II	II	II
PLI190003A	23	7,4	0,3	0,01	II	IIII			II	II	I		
PLI190005A	35	1,0	3,5	< 0,01	III	IIII	II	I	I				
PLI190006A	23	8,3	0,2	< 0,01	IIII	II	II		II	I			
PLI190007A	28	14,9	0,3	0,03	II	IIII				III	II	I	I
PLI190008A	23	3,9	Närvaro	0,01	I	IIII	III		II				
PLI190009A	33	8,2	0,5	0,02	IIII	I			III	III	I	I	
PLI190011A	23	5,8	0,5	< 0,01	IIII	III	II						
SPN180142A	18	21,3	0,2	0,03	II		I	III	IIII		III	II	
SPN180144A	20	14,2	5,6	0,05		II	I	IIII	III	III	II		I
SPN180145A	18	20,6	0,4	0,01	II	IIII	IIII		IIII			I	
SPN180146A	23	3,0	0,3	0,02	III	IIII	II		II	II	II		
SPN180147A	15	20,1	1,2	0,07	IIII	III		II	I	IIII	I	I	
SPN180148A	14	14,6	0,2	0,02	IIII	III		III		II	II		
SPN180149A	18	22,3	0,1	0,03		III	III	II	III	III			
SPN180151A	23	5,3	Närvaro	0,01	IIII	II		I	II	I	I		I
SPN180153A	19	7,4	5,8	0,16	IIII	III		IIII	II	IIII	II	II	I

ID	Kkod	Bt+Mu+Kl vikt-%	Opak vikt-%	S volym-%	Mt	He	Fe-oxid	Ilm	Ru	Py	Kk	MKs	ZnB
SPN180155A	11	35,1	Närvaro	0,01				IIII	II	II		II	
SPN180159A	13	6,2	0,6	0,01	IIII	IIII	II		II				
SPN180161A	14	7,8	0,5	0,01	II	III	II		IIII				
SPN190152A	27	9,0	0,3	0,01	IIII	III	II		II	II			
SPN190154A	21		Närvaro	0,14	IIII			IIII		I	II	IIII	
SPN190155A	23	1,4	1,1	0,01	IIII	II	II		II	I	I		
SPN190158A	23	4,1	1,3	0,01	II	IIII	IIII		IIII				
SPN190171A	22	0	1,0	0,01	III	IIII	IIII	II	III				
SPN190174A	23	4,8	1,4	0,01	III	IIII	IIII	II	II	I	II	II	
SPN190175A	21	8,2	0,5	0,12				IIII	II	III	I		I
TEN170004A	13	5,8	0,2	0,01		IIII	III		II	I			
TEN170005A	13	5,3	2,9	0,01	II	IIII	IIII						
TEN190006A	37	14,1	Närvaro	0,01	IIII	II		I		I			
TEN190007A	33	4,2	0,2	0,01	IIII	I	II	III	III	II			
TEN190008A	37	6,3	Närvaro	< 0,01	IIII	II	II			II	I		
TEN190016A	38	9,6	Närvaro	0,01						IIII	II		
TEN190017A	8	5,8	4,2	0,01			IIII	I	IIII	I	II	I	
TEN190018A	5		Närvaro	0,01	I	III	IIII		III	I			
TEN190018B	5		Närvaro	0,01					II	II	IIII		
TEN190019A	37	5,1	0,7	0,01	IIII		II	I		II			
TEN190027A	33	6,3	0,2	0,02	IIII	III	III		IIII	I	I		
TEN190028A	33	5,9	0,2	< 0,01	II	IIII	III		IIII	II			
TEN190029A	37	11,0	Närvaro	0,02	III					IIII	IIII		
TEN190038A	37	9,3	0,2	< 0,01	IIII	IIII	II						
TEN190059A	35	3,7	2,6	< 0,01	III	IIII	II		IIII	I			
TEN190060A	39	20,0	Närvaro	0,16	III	I		III	II	IIII	II	I	
TEN190061A	33	5,6	0,5	< 0,01	IIII		II			II			
TEN190062A	8	1,0	2,0	< 0,01	I		IIII		III	II	I		
PLI210001A	32	1,9	0,4	< 0,01	IIII	IIII		IIII		IIII			
PLI210002A	33	3,2	0,3	0,01	IIII	II	III			II	II		
PLI210004A	32	1,5	1,1	< 0,01	IIII	III		II		III	II		

ID	Kkod	Bt+Mu+Kl vikt-%	Opak vikt-%	S volym-%	Mt	He	Fe-oxid	Ilm	Ru	Py	Kk	MKs	ZnB
PLI210005A	36	5,5	0,8	0,02	IIII			I		II	I	I	
PLI210006A	37	6,9	Närvaro	< 0,01	IIII	IIII					II		
PLI210007A	31	5,2	0,9	0,17		II		IIII		II	II	I	I
PLI210008A	37	17,8	Närvaro	< 0,01	III					II	III		
PLI210010A	38	0,5	0,8	< 0,01	III	IIII		III		II	I		
PLI210010B	31	4,7	0,1	< 0,01	IIII	IIII	III						
PLI210011A1	33	4,3	0,7	< 0,01	IIII	III						I	
PLI210011A2	33		0,2	< 0,01	IIII	II	II	II					
PLI210013A	32	1,7	1,0	< 0,01	IIII	IIII		II		III			
PLI210014A	37	8,7	0,3	0,03	III		II				II	I	
PLI210014B1	38	5,2	Närvaro	0,01		I					II		
PLI210014B2	38		0,1	0,01	II		II			II	II		
PLI210019A		11,0	0,1	< 0,01	IIII	IIII	III				I		
PLI210035A1	37	10,4	0,1	< 0,01	I	I	II			II	IIII		
PLI210035A2	37		0,1	< 0,01	I	II	II				IIII		

Bilaga 6. Sammanfattning av de viktigaste petrografiska egenskaperna för provtagna bergarter i projektområdet

Grad visas på en skala från 1 till 5, där 1 är opåverkad och 5 är starkt påverkad. Förkortningar: biotit (Bt), plagioklas (Pl), kvarts (Kv), hornblände (Hbl), kalifältspat (Kf)

ID	Kkod	Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
		Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)		Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia-tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloritiseri- sering)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn-fogsom-vandling	Grad av sprick- och kornfogsom-vandling (1–5)	
PLI190001A	21	0,1–0,5	1–3	Pl, Gr	ojämn-kornig, porfy-risk			2	Bt, Hbl		3		1	
PLI190003A	23	0,1–1,5			ojämn-kornig	raka, runda, pusslade	2	1	Bt			oxider, glimmer	1	
PLI190005A	35	0,5–1			ojämn-kornig	raka, runda	1–2	1	mörka mineral		1–2	oxider, glimmer	2	amfibol omvand-lad till klorit och opaka mineral
PLI190006A	23	0,1–1			ojämn-kornig	raka, runda, pusslade, oregel-bundna	3–5	2	Bt, titanit, opaka mineral	2	1–2	oxider, glimmer	2	myrmekit
PLI190007A	28	0,5–1			ojämn-kornig	raka, runda	3–5	2	Bt (klorit)	5	3	oxider	1	
PLI190008A	23	0,1–0,5	0,5–2	Kf	ojämn-kornig, por-fyrisk	raka, runda	3–4	2	Bt, klorit, titanit, opaka mineral	1–2	1–2	Fe-oxyhy-droxider, glimmer	2–3	

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)	Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia- tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloriti- sering)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn- fogsom- vandling	Grad av sprick- och kornfogsom- vandling (1–5)		
PLI190009A	33	0,1–0,5			ojämn- kornig	pusslade, oregelbund- na	1–2	2	Bt, klorit, titanit, opaka mineral	1	1	oxider, glimmer	1–2	pertitisk Kf
PLI190011A	23	0,1–0,5				runda	3–4	1	mörka mineral	3–4	1–2	oxider	3	
PLI210001A	32	0,5–1,5			ojämn- kornig	raka, oregel- bunda	2–4	1	Bt		2		2–3	
PLI210002A	33	0,2–1,5			ojämn- kornig	raka, oregel- bunda	2–3	2	Bt, aggregat av Kv	1–2	2–3	oxider, glimmer	2–3	
PLI210004A	32	0,5–2,0			ojämn- kornig	raka, oregel- bunda	3	1		2	2–3	oxider, glimmer	2–3	
PLI210005A	36	0,2–0,5			ojämn- kornig	raka, oregel- bunda	2–3	2	Bt och Hbl		2–3	glimmer	2	
PLI210006A	37	0,2–1,5			ojämn- kornig	raka, runda, oregel- bundna	2–4	2	Bt och Hbl	2	2–3	Fe-oxider	1–2	antipertit
PLI210007A	31	0,5–2,0			ojämn- kornig, seriat	raka, oregel- bunda	3	3	Hbl, aggregat av Pl	1	2	1–2	1	i större korn
PLI210008A	37	0,5–2,0			ojämn- kornig, seriat	runda, pusslade, oregelbunda	3	3	Bt, aggregat av Kv	1	1–2	Fe-oxider	2–3	
PLI210010A	38	0,2–2,0			ojämn- kornig, seriat	raka, oregel- bunda	2–3	3	Hbl, aggregat av Kv	1	2–3	Fe-oxider	2–3	
PLI210011A	33	0,2–2,0			ojämn- kornig	raka, runda, oregel- bundna	3–4	2	Bt	1–2	1–2	2–3	2–3	
PLI210013A	32	0,2–2,0			ojämn- kornig	raka, runda, oregel- bundna	3–4	2	Bt, aggregat av Kv	1	2–3	2–3	2–3	

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)	Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia- tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloritise- ring)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn- fogsom- vandling	Grad av sprick- och kornfogsom- vandling (1–5)		
PLI210014A	37	0,25–2,5			ojämn- kornig	raka, runda, pusslande, oregel- bundna	1–3	2	Bt, aggregat av Kv	1	1–2	1–2	1–2	
PLI210019A		0,2–2,0			ojämn- kornig	raka, runda	1–2	2	Bt och Hbl	1	3	1	1	
PLI210035A	37	0,2–2,0			ojämn- kornig, seriat	raka, runda, pusslande, oregel- bundna	2–3	2	Bt, aggregat av Kv	1	1	1	1	
SPN180142A	18	0,5–1			ojämn- kornig	raka, runda	3–4	2			2–3	Fe- oxyhy- droxider, glimmer	1–2	myrmekit
SPN180144A	20	0,1–0,3			ojämn- kornig								1	
SPN180145A	18	0,2–0,5	10–30	Kf	ojämn- kornig, por- fyrisk	raka, runda	2–5				1–3	lokalt spröda sprickor, oxider, glimmer	3–4	myrmekit, antipertit
SPN180146A	23	0,1–0,5			ojämn- kornig	raka, runda	2–4	2	Bt, titanit, opaka mineral			lokalt spröda sprickor, oxider, glimmer	3	myrmekit
SPN180147A	15	0,1–0,3	1–2	Kf	ojämn- kornig, por- fyrisk	raka, runda, pusslade	3	2	mörka mineral, klorit		2–3	Fe- oxyhy- droxider, glimmer	1	myrmekit
SPN180148A	14	0,2–0,5	10–30	Kf	ojämn- kornig, por- fyrisk	raka, runda	1–5				1–3	oxider, glimmer	1–2	myrmekit

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)		Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia-tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloriti-sering)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn-fogsom-vandling	Grad av sprick- och kornfogsom-vandling (1–5)	
SPN180149A	18	0,2–0,5	10–30	Kf	ojämn-kornig, por-fyrisk	raka, runda, flikiga, oregel-bundna	2–4				1–3	oxider, glimmer	3	myrmekit, flusspat?
SPN180151A	23	0,1–0,5			ojämn-kornig, seriat	raka, runda	2–4	1	Bt		1–2	sprickzon över flera korn, Fe-oxyhy-droxider, glimmer	3	myrmekit
SPN180153A	19	0,1–1			ojämn-kornig						1–3	Fe-oxy-hydroxi-der	1–2	Bt som kärnor i amfibol
SPN180155A	11	0,2–0,5			ojämn-kornig	raka, runda	2–5	3			2	oxider, glimmer	2	kalcit sekundärt i Pl
SPN180159A	13	0,1–0,5	0,5–2	Kf	ojämn-kornig, por-fyrisk	raka, runda	1–2	2–3	Bt		2–3	Fe-oxyhy-droxider, glimmer	3–5	myrmekit
SPN180161A	14	0,1–1			ojämn-kornig	raka, runda	3	2–3	mörka mineral, Bt	1–2	2	oxider	3	
SPN190152A	27	0,1–1	1–1,5		ojämn-kornig, seriat	oregel-bundna	2–3	2	Bt, ag-gregat av Kv och fältspat	2	2	parti med mikro-sprickor	2–4	
SPN190155A	23	0,2–2			ojämn-kornig, seriat	oregel-bundna	2–3	3	Bt, aggregat av Kv	1	2	Fe-oxider, opaka mineral	2	
SPN190158A	23	0,25–1,5	1,5–2,5		ojämn-kornig, seriat	raka, oregel-bundna	2–3	2	Bt, aggregat av Kv	2	2		2	

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)	Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia- tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloritit- sering)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn- fogsom- vandling	Grad av sprick- och kornfogsom- vandling (1–5)		
SPN190171A	22	0,1–1	1–1,75		ojämn- kornig, seriat	oregelbunda	2–3	3	Bt, aggregat av Kv	3	2	Fe-oxider	2	
SPN190174A	23	0,1–1	1–2,5		ojämn- kornig, porfy- risk	raka, oregel- bundna	3–4	2	Bt, Hbl	1	2	mikro- sprickor i större korn	2	
SPN190175A	21	0,1–1	1–1,5		ojämn- kornig, seriat			3	Bt, Hbl, aggregat av Pl	1	2			
SPN210020A	32	1–1,5	1,5–2,5		ojämn- kornig	oregelbunda	2	1	Bt	1	2		2	
SPN210154A1	37	0,2–2,5			ojämn- kornig	raka, runda, oregel- bundna	3–4	2	Bt, aggregat av Kv	1	2–3	1–2	1–2	
SPN210159A1	38	0,5–1,5			ojämn- kornig			2	Bt, Hbl	1	2			
SPN210159A2	38	0,2–0,75			ojämn- kornig	runda, oregelbunda	2–3			2	3–4		3	
SPN210159A2	38	0,2–0,75	0,75–1,5		ojämn- kornig, seriat	runda, oregelbunda	3	2	Bt, aggregat av Kv och Pl	1	4		3	
SPN210159B1	31	0,1–2,5			ojämn- kornig			1		–	3–4		2	
SPN210159B2	31	0,2–1			ojämn- kornig			2	Bt, Hbl	1	3		1	
SPN210160A	33	0,2–1,5	1,5–2,5		ojämn- kornig	runda, oregelbunda	3	1	Bt	1	2–3	Fe-oxider	2	
SPN210162A1	38	0,1–0,7	1,0–3,0		ojämn- kornig, seriat	raka, oregel- bundna	2	2	Hbl, aggregat av Kv	1	2–3	sprickor i större korn	2	
SPN210162A1	38	0,1–8			ojämn- kornig, seriat	runda, oregelbunda	2	2	Bt, aggregat av Kv	1	2–3	sprickor i större korn	2	

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)	Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia- tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloritise- ring)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn- fogsom- vandling	Grad av sprick- och kornfogsom- vandling (1–5)		
SPN210163A	36	0,25–1,5			ojämn- kornig	raka, oregel- bundna	2–3	2	Bt	2	2–3	muskovit, sericit	2–3	
SPN210164A	38	0,5–2,0			ojämn- kornig, seriat	raka, oregel- bundna	2–3	3	Bt, aggregat av fält- spat	2	2–3	sprickor i större korn	2	
SPN210165A1	33	0,5–2,0			ojämn- kornig	raka, oregel- bundna	2–3	2	Bt	2	3	muskovit, sericit, sprickor i större korn	2–3	
SPN210165A2	33	0,5–2,0			ojämn- kornig, seriat	raka, oregel- bundna	2–3	3	Bt, aggregat av Kv	1	2	Fe- oxider, sprickor i större korn	2–4	
SPN210013A	32	0,2–2,5			ojämn- kornig	puss- lade, oregel- bundna	2–4	2	Bt, aggregat av Kv	1	2		2	
TEN170004A	13	0,2–1	2	Pl	ojämn- kornig, seriat	raka, runda	1–2	2–3	Bt, aggregat av Kv		1–2			fläckig pertit, myrmekit
TEN170005A	13	0,1–0,5	1–2	Pl	ojämn- kornig	runda	1–2	1	svag foliation, Bt			mikro- sprickor, Fe- oxider, glimmer	2	porfyriskt ur- sprung?, myrmekit
TEN190006A	37	0,1–0,5	1–2	Hbl	medel- kornig	runda	2	1	Bt	1	2	mikro- sprickor, Fe- oxider, glimmer	3	fläckig antipertit, myrmekit

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)		Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia- tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloriti- sering)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn- fogsom- vandling	Grad av sprick- och kornfogsom- vandling (1–5)	
TEN190007A	33	0,1–0,5	1–1,5	Hbl	medel- kornig	runda	2–3	1	Bt			mikro- sprickor med glimmer finns i Kv och Pl, men i mindre antal i Kf.		myrmekit
TEN190008A	37	0,1–0,5	1–2	Kf	ojämn- kornig	runda	1–2	1–2	Bt		2	mikro- sprickor, Fe- oxider, glimmer	1–2	myrmekit
TEN190016A	38	0,2–0,5	1–1,5	Hbl	medel- kornig, ojämn- kornig	runda	1	1	Bt		3			myrmekit
TEN190019A	37	0,1–0,5			jämn- kornig	runda	1	1–2	Bt	1	2	mikro- sprickor i Kv		myrmekit
TEN190027A	33	0,1–2			ojämn- kornig, seriat	runda	1–2	2	Bt		1	inter- mineral spricka fylld med glimmer, kalcit		bred ådra i slip, myrmekit, sekundär kalcit
TEN190028A	33	0,1–0,5			jämn- kornig	runda, pusslade	1–2	2	Bt		2	mikro- sprickor		Kf är mikroklin, myrmekit, sekundär kalcit

		Kornstorlek			Textur	Deformation kvarts		Foliation		Omvandling		Sprickor		Övrigt
ID	Kkod	Grundmassans dominerande kornstorlek (mm)	Strökorn (kornstorlek, mm)	Strökorn (typ)		Kvarts, kornfogar	Kvarts, intern stress, grad (1–5)	Folia- tion, grad (1–5)	Foliation, element	Biotit (främst kloriti- sering)	Plagioklas (saussurit eller sericit)	Typ av sprick- och korn- fogsom- vandling	Grad av sprick- och kornfogsom- vandling (1–5)	
TEN190029A	37	0,1–0,5	1–1,5	Hbl	ojämn- kornig	runda	1–2	2	Bt			rikligt med mikro- sprickor, glimmer		myrmekit
TEN190038A	37	0,1–0,5	1–2	Hbl	ojämn- kornig	runda, raka, pusslade	1–2	1	Bt		2	Fe-oxy- hydroxi- der		myrmekit
TEN190059A	35	0,5–2			seriat	runda, raka	2–3	1–2		3	1	mikro- sprickor, glimmer, Fe-oxy- hydroxi- der	3	
TEN190060A	39	0,5–1,5			jämn- kornig	raka, runda	1–2	1	Bt		2	mikro- sprickor, glimmer	1	sekundär kalcit
TEN190061A	33	0,5–4			ojämn- kornig, seriat	runda	1–2	2	Bt	1	1	mikro- sprickor, glimmer, Fe-oxy- hydroxi- der	3	myrmekit