

Beskrivning till bergkvalitetskartan Uddevalla och Stenungsunds kommuner

Thomas Eliasson, Mattias Göransson
& Hossein Shomali



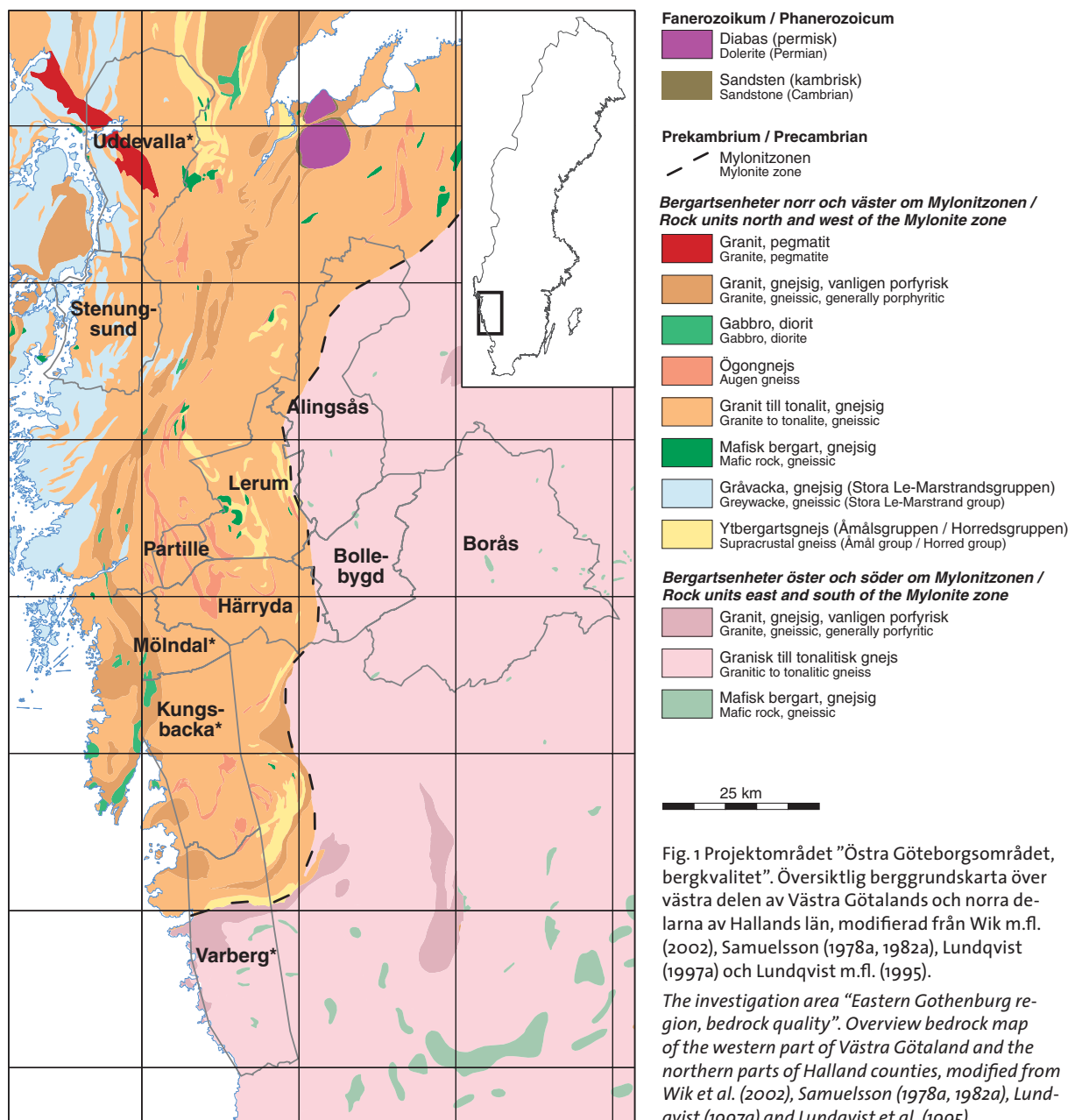
ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-780-0

Omslagsbild: Vägräcke av stenstolpar längs grusväg i Svartedalen 13 km sydöst om Stenungsund. Foto: Thomas Eliasson.
Road barrier consisting of rock poles along a gravel road in Svartedalen 13 km southeast of Stenungsund.

© Sveriges geologiska undersökning, 2007

INLEDNING

Bergkvalitetskartan är en tematisk karta som kompletterar SGUs berggrundskarta i skala 1:50 000. Det huvudsakliga ändamålet med kartan är att underlätta en utvärdering av det bästa användningsområdet för olika bergarter, som t.ex. ballast för väg, järnväg och betong. I samband med den kommunala över-
siktsplaneringen ska bergkvalitetskartan kunna erbjuda ett geologiskt underlag för framtida markan-
vändning och underlätta övergången från grus- till krossbergsproduktion. Bergkvalitetsundersökningen
i Uddevalla och Stenungsunds kommuner är en del av projektet "Östra Göteborgsområdet, bergkvalitet",
vilket startade år 2003 och slutfördes under 2006. Berggrunden i de två kommunerna är delvis likartad
och områdena gränsar till varandra varför de redovisas gemensamt. Undersökning av bergkvaliteten
inom hela projektområdet innefattar även kommunerna Alingsås, Bollebygd, Borås, Härryda, Kungs-
backa, Lerum, Mölndal, Partille och Varberg (fig. 1). Bergkvalitetskartor för delar av Stockholms- och
Göteborgsregionerna är redan utgivna (Persson 1998 m.fl. a, b, c, Persson m.fl. 2000 a, b, Eliasson m.fl.



2004a, b och Eliasson & Bastani 2004a, b). Under tiden 2003–2006 bedrev SGU kartering i övriga tätbefolkade områden: Dalarna, Gävle, Sundsvall, Umeå, Örebro, Östergötland och östra Mälardalen.

Arbetet med bergkvalitetskartan inom Uddevalla och Stenungsunds kommuner har föregåtts av en generell läges- och behovsanalys för stora delar av Västra Götalands och norra delen av Hallands län. I denna analys har potentiella avnämare såsom länsstyrelser, kommuner, myndigheter, entreprenörer och konsulter intervjuats angående undersökningsmetodik för bergkvalitet, vilka områden som bör prioriteras för undersökning och behovet av översiktlig bergkvalitetsinformation.

Undersökningsområdet inom Uddevalla kommun omfattar 512 km² med en befolkning på ca 49 000 invånare (hela kommunen). De västra delarna av kommunen, Skredsvik och Bokenäs, har inte karterats inom detta projekt. Undersökningsområdet inom Stenungsunds kommun omfattar ca 300 km² med en befolkning på ca 20 700 invånare (hela kommunen). I hela undersökningsområdena finns förutom de två centralorterna bl.a. samhällena Ammenäs, Fagerhult, Herrestad, Jörlanda, Ljungskile, Stora Höga, Strandnorum, Sunningen, Svartehallen, Svenshögen, och Ödsmål.

I kartområdet finns idag fyra stationära bergtäkter nämligen, Fröländ (6475500/1269450, granitpegmatit), Glimmingen (6474300/1278300, medelkornig till grovt medelkornig granit), Gategård (6446200/1268440, medelkornig granit), Sköllunga (6448600/1276100, medelkornig granit). Större mängder bergmaterial tas också ut i Kuröd (6476400/1278500, medelkornig till grovt medelkornig granit). Vissa av bergtäkterna exporterar idag bergmaterial till kustkommunerna Orust och Tjörn.

De tryckta berggrundskartorna i skala 1:50 000, 7A Marstrand NO/7B Göteborg NV (Samuelsson & Åhäll 1985), 7B Göteborg NO (Samuelsson 1985a), 8A Lysekil SO/8B Vänersborg SV (Samuelsson & Åhäll 1990), 8B Vänersborg SO (Samuelsson & Lundqvist 1985a), 8B Vänersborg NV (SGUs databaser) och 8B Vänersborg NO (Gorbatshev 1987) täcker bägge kommunerna. Beskrivningar till dessa berggrundskartor finns bara utgivna för 7B Göteborg NO (Samuelsson 1985b) och 8B Vänersborg SO (Lundqvist 1997b).

METODIK

Bergkvalitetskartan bygger på den tidigare genomförda berggrundskarteringen (se ovan) och grundar sig på en fältkontroll av de dominerande bergartsenheterna på ett antal valda lokaler. En del lokaler har undersökts närmare, och från var och en av dessa har ca 50–70 kg bergmaterial provtagits för teknisk analys. Dessutom har det gjorts mätningar av sprickplanens riktning samt en bedömning av spricktätheten. Polerade tunnslip har framställts av bergarter från varje provplats och petrografisk analys, ASR- (alkali-silikareaktivitet) och modalanalys av mineralfördelningen samt mikrofotografering har utförts. I de fall där berggrunden är heterogen (med avseende på mineralogi och kornstorlek), vilket är speciellt vanligt i ådergnejsområden, har i vissa fall mer än ett prov tagits. Gammastrålningsmätning har skett vid de flesta provlokaler, och dessutom gjorts på separata platser, för att bestämma radium- och gammaindex i bergmaterialet. Utöver de inom projektet provtagna lokalerna grundar sig bergkvalitetskartan på tidigare publicerade tekniska, petrografiska och geokemiska analyser från kommunala krossbergsinventeringar och SGUs berggrundskarteringar.

På bergkvalitetskartan är bergartsstrukturer som foliation eller gnejsighet ihopdragna till s.k. strukturella formlinjer och dessutom redovisas zoner med starkt deformerad berggrund, vilka kan representera bergartens interna svaghetsstrukturer efter vilken riktning uppsprickning lätt sker, t.ex. i samband med sprängning. Många av zonerna är tolkade från de flyggeofysiska kartorna (se bilaga 1). En tolkning av morfologiska lineament (långsträckta sänkor i naturen) har gjorts på kartunderlag i skala 1:50 000 från Lantmäteriets höjddatabas. Det är sannolikt att de antyder svaghetszoner som består av sprickor med varierande riktningar. Det är dock viktigt att notera att lineamenten inte i alla fall motsvarar verkliga sprickor, sprickzoner eller förkastningar.

Jorddjupsdata (avståndet till berggrundsytan) har erhållits från SGUs brunnarsarkiv och redovisas i tre klasser, nämligen <2, 2–5 och >5 meter. Totalt redovisas 1 020 brunnar i databasen och i 70 av dessa är

jorddjupet större än eller lika med 10 m. Ett största jorddjup på 52 m finns i en brunn vid Uddevallabron (6473368/1268580).

ALLMÄN GEOLOGI OCH GEOFYSIK

Berggrunden inom Uddevalla och Stenungsunds kommuner är relativt varierande och komplext uppbyggd med ytbergarter från två olika tidsperioder och djupbergarter av i huvudsak tre olikåldriga sviter (Tab. 3 och fig. 2). Gångbergarter av olika ålder uppträder också, bl.a. pegmatit och diabas. Bergarterna bildades ursprungligen för ca 1 620 till 1 100 miljoner år sedan. I samband med bergskedjebildningar för 1 620–1 550 och 1 150–900 miljoner år sedan utsattes berggrunden i sydvästra Sverige för stort tryck och upphettning, varvid bergarterna blev metamorfoserade (omvandlade) och i varierande grad gnejsiga, ådrade och veckade. Traditionellt har därför detta urbergsområde benämnts ”den sydvästsvenska gnejsregionen”.

Bergarterna inom kartområdet bildades till stora delar före den senaste bergskedjebildningen för 1 150–900 miljoner år sedan. Detta innebär att alla bergartsenheter, utom en del yngre pegmatiter och diabaser, är mer eller mindre folierade (gnejsiga eller förskiffrade) och i vissa områden i varierande grad omvandlade till ådergnejser (migmatitiserade).

De äldsta bergarterna i kartområdet påträffas i nordöstra delen av Uddevalla kommun. Där finns finkorniga bergarter av huvudsakligen vulkaniskt ursprung (fig. 2) som tillhör den ca 1 620 miljoner år gamla Åmålsgruppen (Lundqvist & Skiöld 1993). De ca 1 580 miljoner år gamla ytbergarterna i Stora Le–Marstrandsgruppen påträffas inom de västra delarna av kommunerna. De består huvudsakligen av förgnejsade sand- och lerstenar.

De äldsta djupbergarterna tillhör den s.k. 1600-sviten med dess olika varianter och i varierande grad migmatitiskt ådrade, gnejsiga graniter till tonaliter. De något yngre och därmed ej lika kraftigt omvandlade, granitiska gnejserna i den s.k. 1560-sviten förekommer företrädesvis i östra delen av Uddevalla kommun men även i begränsad omfattning i östra delen av Stenungsund kommun.

Det yngsta bergartsledet av betydelse är de endast i ringa grad deformerade ca 1 100 miljoner år gamla graniter och pegmatiter som uppträder i ett bälte som sträcker sig i nordvästlig-sydöstlig riktning genom Uddevalla kommun. Bergarterna framträder relativt tydligt med en högre magnetiseringsgrad än omgivningen på den magnetiska anomalikartan (fig. 3).

Tabell 3. Bergartsenheter inom kartområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner.

Bedrock units within the map area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund.

Bergartsenhet Rock unit	Antal prov No of samples	Bergartskod* Rock code
Granit–pegmatit (1100-sviten)	3	46
Granit, grovporfyrisk (1300-sviten)		52
Granit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten)	1	61
Granit, gnejsig (1560-sviten)	9	62
Granodiorit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten)	1	63
Granodiorit, gnejsig (1560-sviten)	7	64
Tonalit, gnejsig (1560-sviten)	5	65
Mafisk bergart, gnejsig (1560- och 1600-sviten)	2	66
Granit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)		71
Ögongnejs (1600-sviten)		72
Granodiorit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)	1	73
Tonalit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)	2	74
Ytbergartsgnejs, sedimentärt ursprung (Stora Le-Marstrandsgruppen)	7	80
Ytbergartsgnejs, vulkaniskt och sedimentärt ursprung (Åmålsgruppen)	3	81
Ytbergartsgnejs, mafisk vulkaniskt ursprung (Åmålsgruppen)		82

* Bergartskod (Bkod) baseras på bergartens stratigrafiskt läge och sammansättning.

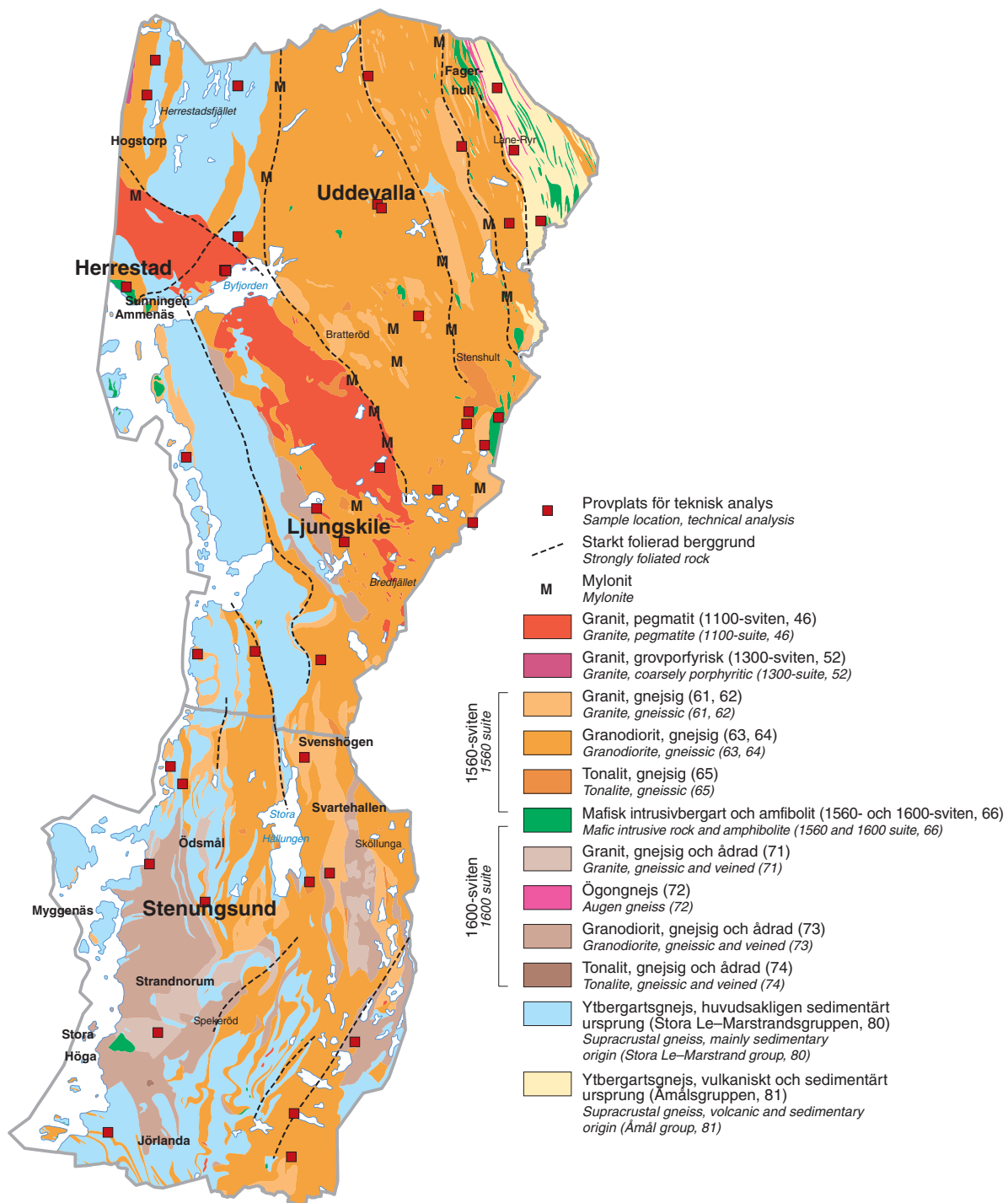


Fig. 2. Förenklad berggrundsgeologisk karta över projektområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner. Modifierad från Gorbatshev (1987), Samuelsson & Åhäll (1985), Samuelsson (1985a), Samuelsson & Åhäll (1990), Samuelsson & Lundqvist (1985) och SGUs lokala (1:50 000) berggrundsgeologiska kartdatabas (8B Vänersborg NV).

Simplified bedrock map of the project area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund. Modified from Gorbatshev (1987), Samuelsson & Åhäll (1985), Samuelsson (1985a), Samuelsson & Åhäll (1990), Samuelsson & Lundqvist (1985) and SGUs local (1:50 000) bedrock map database (8B Vänersborg NV).

Den magnetiska anomalikartan är karakteriserad av ett antal genomgående anomalistråk vars magnetiska intensitet är låg och jämn (fig. 3). Det magnetiska anomalifältet i området är nästan konstant och de flesta anomalier är på några få nT eller mindre. Anomalistrukturer har uppdelats i bandade, oregelbundna eller gånglika. Magnetiska susceptibiliteten som redovisas nedan anges i $\times 10^{-5}$ SI-enheter.

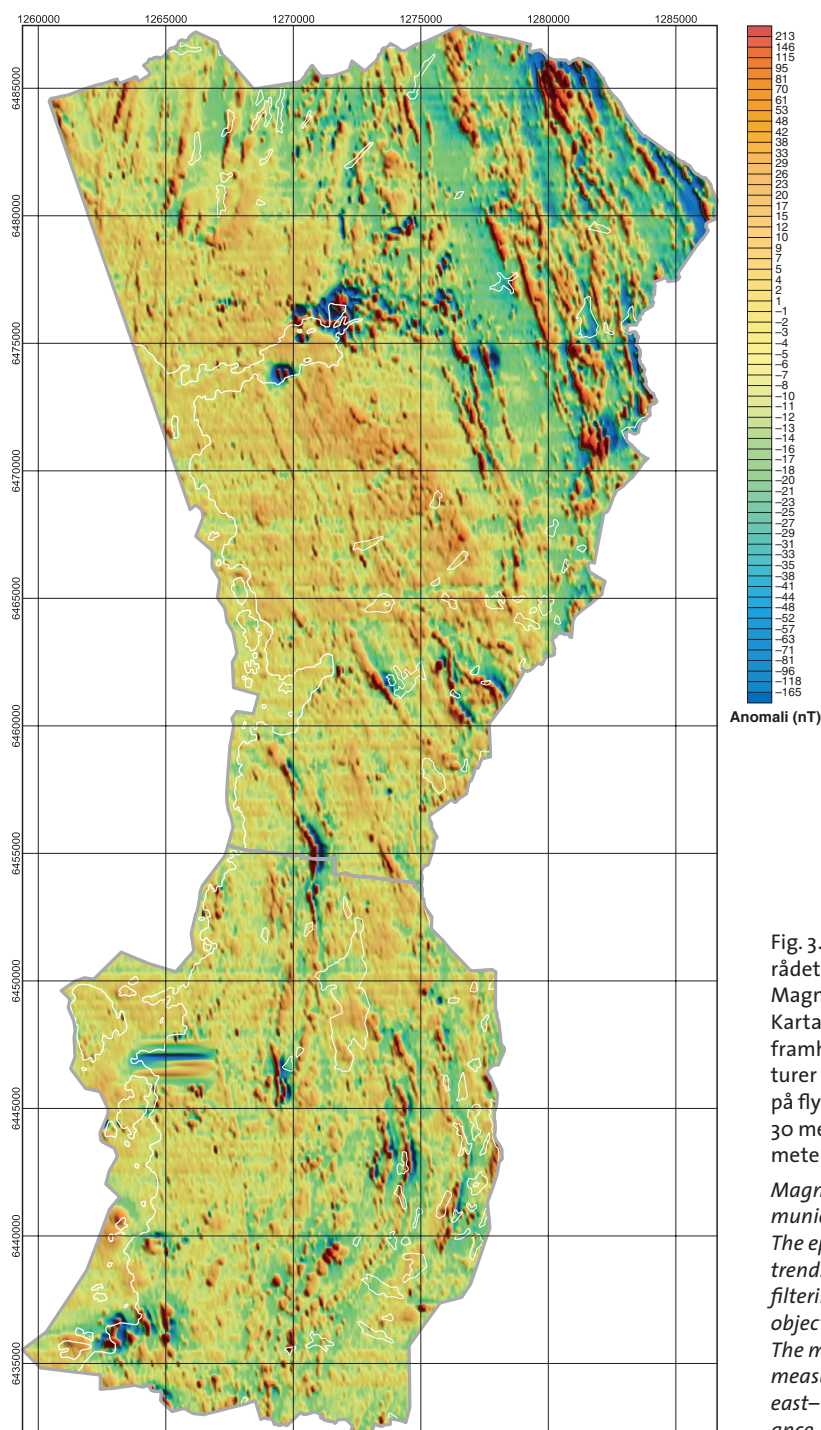


Fig. 3. Magnetisk anomalikarta över projektområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner. Magnetiska data är reducerade till epok 1965.o. Kartan visar magnetfältet efter filtrering för att framhäva anomalier orsakade av ytliga strukturer (på djup ned till ca 250 m). Den baseras på flygburna mätningar utförda 1970-talet på 30 meter flyghöjd med ett linjeavstånd av 200 meter och en öst-västlig flygriktning.

Magnetic anomaly map of the project area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund. The epoch 1965.o is used to remove the regional trend. The map shows the magnetic field after filtering to enhance anomalies caused by shallow objects (at depths of approximately 0–250 m). The map is based on the airborne magnetic field measurements carried out in the 1970s with an east-west flight-direction, 30 meter ground clearance, and a line spacing of 200 meter.

De bandade anomalierna som framträder på den magnetiska anomalikartan avspeglar de storskaliga plastiska deformationsstrukturerna i berggrunden. I många områden förekommer mer småskaliga och mycket svagt bandade anomalier. Dessa är vanligen orienterade i nordsydlig och nordvästlig riktning och avspeglar att de magnetiska bergartsleden ligger i relativt smala band, vilket ofta är fallet i gnejsområden.

I den nordöstra delen av kartområdet uppvisar den magnetiska anomalikartan ett bandat anomali-mönster som orsakas dels av de i nordnordväst orienterade och långsträckta enheterna av vulkaniska gnejser tillhörande Åmålsgruppen och dels av variationer i susceptibiliteten i olika bergartsled inom

1560-sviten och förekomster av metamorfoserade gabbroida bergarter (amfiboliter). De större områdena med Stora Le-Marstrandsgruppens ytbergartsgnejser (magnetisk susceptibilitet mellan 3 och 26) och ådrade granitoiderna i 1600-sviten har låg magnetisk intensitet (magnetisk susceptibilitet i intervallet 1 till 60). Granitoiderna tillhörande 1560-sviten har vanligen något högre magnetisk susceptibiliteten med karaktäristiska värden mellan 1 och 197.

De elektriska ledarna visas i blå- brun färgskala på den elektromagnetiska kartan (VLF, fig. 4), där blå färg visar på bättre ledningsförmåga. De mest frekventa riktningarna är nordöstliga beroende på att VLF-sändaren förstärker denna riktning varemot de flesta magnetiska lineament har nordvästlig riktning. Lineament som redovisas på bergkvalitetskartan är främst de relativt rätlinjiga och lågmagnetiska zonerna. Dessa zoner kan vara orsakade av förkastningar eller sprickzoner. Några magnetiska lineament kan även identifieras som tydliga anomalier på den elektromagnetiska kartan (VLF).

BERGARTERNAS UTSEENDE, SAMMANSÄTTNING OCH EGENSKAPER

Bergartsbeskrivning

De viktigaste bergartsenheterna i Uddevalla och Stenungsunds kommuner finns redovisade i tabell 3 och figur 2. Bergartskoden är en unik beteckning för de olika relevanta och identifierade bergartsgrupperna i området, som används för att gruppera, jämföra och tolka de olika analysresultaten. Bergartskoden används i tabellerna med mineralogiska och tekniska analyser. Tekniska analyser har gjorts på alla bergarter av betydelse inom kartområdet. Följande bergartsgrupper med begränsad utbredning har dock ej analyserats: Granit, grovporfyrisk (52), Granit, gnejsig och ådrad (71), Ögongnejs (72) och mafisk ytbergartsgnejs i Åmålsgruppen (82). Analyser av dessa bergartsgrupper har i flera fall i gjorts i samband med bergkvalitetsundersökningar i angränsande kommuner.

Ytbergartsgnejs av vulkaniskt och sedimentärt ursprung (Åmålsgruppen, Bkod 81 och 82)

Den äldsta bergartsgruppen, Åmålsgruppen, påträffas i nord-sydligt till nordnordöstligt orienterade, långsträckta enheter i nordöstra delen av Uddevalla kommun (fig. 2). Gruppen utgörs av lagrad, folierad och, på vissa platser, ådrad ytbergartsgnejs av vulkaniskt och, underordnat, sedimentärt ursprung (fig. 5A). En datering av en ryolit i Åmålsområdet visar att Åmålsgruppens bergarter avsattes för ca 1 620 miljoner år sedan (Lundqvist & Skiöld 1993). En övervägande del av de vulkaniska avsättningarna bildades ursprungligen genom förfastning av explosivt utslungad aska. Även ursprungligen vattenomlagrade, vulkaniska sediment har avsatts på många platser i Åmålsgruppen.

De vulkaniska leden är vanligen mycket finkorniga (fig. 5B) ryoliter till daciter (bergartskod 81). På många platser förekommer inlagringar av mafiska (kvarts-fältspatfattiga) led med andesitisk till basaltisk sammansättning (bergartskod 82). Glimmer- och amfibolhalten ökar betydligt i de mafiska bergartsleden.

Inom kartområdet är ytbergartsgnejsen till övervägande del relativt måttligt metamorfoserade. I de angränsande området i södra delen av Vänersborgs kommun och i norra delen av Lilla Edets kommun är ytbergartsgnejsen kraftigt gnejsomvandlad, veckad och ådrad vilket medför att dess tekniska egenskaper är sämre.

Ytbergartsgnejs av sedimentärt ursprung (Stora Le-Marstrandsgruppen, Bkod 80)

Stora Le-Marstrandsgruppens ytbergartsgnejser påträffas företrädesvis inom de västra delarna av kartområdet. De består huvudsakligen av omvandlade, lagrade gråvackor (oren sandsten med varierande mängd lerig till finkornig grundmassa) och smärre lager och linser med lerskiffrar vars ursprungsmaterial avsattes på havsbotten för drygt 1 580 miljoner år sedan. Ytbergartsgnejserna utgör en del av ett stråk, som sträcker sig från sydöstra Norge söderut över Stora Le och Marstrand till Göteborgs södra skärgård (fig. 1).

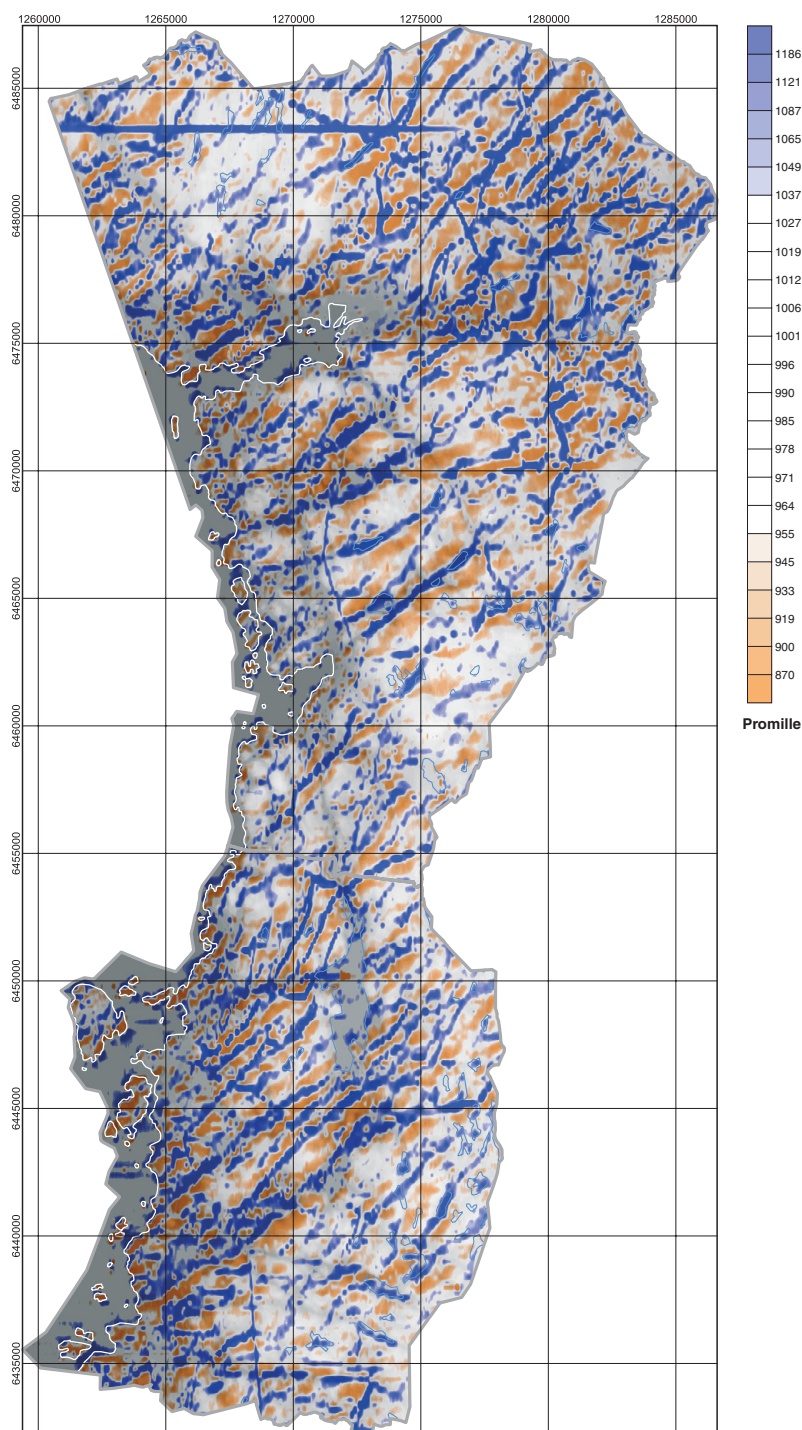
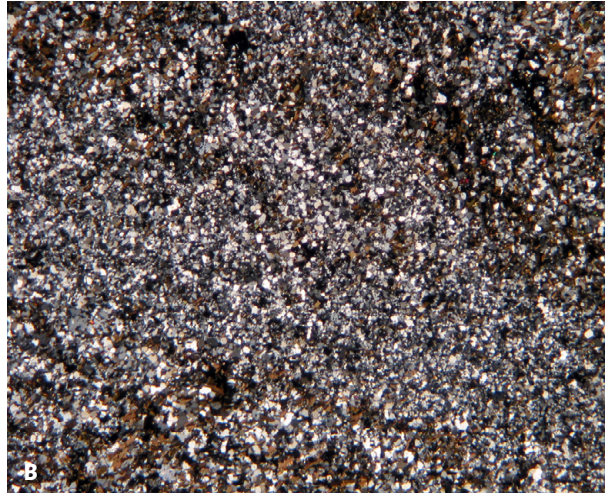


Fig. 4. Elektromagnetisk karta (VLF) över projektområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner. Kartan visar intensiteten av totalmagnetfältskomponenten av den elektromagnetiska signalen från en avlägsen radiosändare i VLF-bandet (very low frequency, 10–30 kHz) överlagd på höjddata. Mätningarna registrerar sekundära elektromagnetiska fält som förorsakas av induktion i elektriska ledare, exempelvis större sprickzoner i berggrunden men även kraftledningar och andra störkällor. 1000 promille motsvarar nollnivån och blå färg indikerar god ledningsförmåga. Kartan baseras på flygburna mätningar utförda 1970-talet på 30 meter flyghöjd med ett linjeavstånd av 200 meter och en öst–västlig flygriktning.

Electromagnetic map (VLF) of the project area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund. The map shows amplitude of magnetic field of the electromagnetic signal from a remote transmitter in the VLF-band (very low frequency, 10–30 kHz) overlaid on topography data. In the VLF measurements the secondary electromagnetic fields are registered. The secondary field can be induced for example in fracture zones inside bedrock. 1000 per mil represents the zero level. Blue colour indicates zones with higher electrical conductivities. The map is based on airborne VLF measurements carried out in the 1970s with an east–west flight-direction, 30 meter ground clearance, and a line spacing of 200 meter.



Inom kartområdet är ytbergartsgnejserna vanligtvis mycket glimmerrika (ursprungligen leriga gråvackor) och i varierande grad ådrade. De ljusa ådrorna består i huvudsak av kvarts och fältspat tillsammans med mindre mängd glimmer. I nordvästra delen av Uddevalla kommun är dock omvandlingsgraden lägre och ytbergartsgnejserna är vanligen endast kvartsådrad. Den lägre omvandlingsgraden medför att mängden glimmer ej minskat som en följd av åderbildningen (notera den höga glimmerhalten i prov TEN040005A och TEN040012A).

De ursprungligen mer sandiga lagren i sedimentavsättningarna har givit upphov till bergartslager i ytbergartsgnejserna som är rikare på kvarts och fältspat (t.ex. TEN040013). Inlagringar av mörkt grå till svarta amfiboliter förekommer relativt sparsamt (fig. 5C) och utgörs troligen av ursprungliga mafiska lavar och pyroklastiska avsättningar. Gnejserna i Stora Le–Marstrandsgruppen har i många områden, speciellt i deformationszoner, en utpräglad skiffrighet som gör att bergarten lätt spricker upp (fig. 5D).

I området mellan Byfjorden i norr och Jörlanda i södra delen av Stenungsunds kommun har ytbergartsgnejserna blivit så intensivt ådrade att de helt förlorat sin ursprungliga struktur. På många platser är även de angränsande djupbergarterna ådrade i så hög grad att det är svårt att särskilja dessa från ytbergartsgnejserna. Vanligtvis innehåller dock ytbergartsgnejserna mer glimmer.

Granit, granodiorit och tonalit, gnejsig och ådrad (1600-sviten, Bkod 71, 73 och 74)

Berggrunden i Stenungsundsområdet, samt i ett antal mindre områden som ligger i ett stråk som sträcker sig från östra delen av Stenungsunds kommun upp mot Byfjorden, utgörs av grå, medelkorniga, gnejsiga graniter till tonaliter, mer eller mindre migmatitiskt ådrade (fig. 5F). De har bedömts tillhöra en svit med djupbergarter som är ca 1 600 miljoner år gamla vilket medför att de utsatts för metamorfos i samband med de båda bergskedjebildningar som påverkat berggrunden i regionen. Nyare undersökningar antyder att vissa områden som tolkats tillhöra 1600-svitens bergarter egentligen härrör från graniter till tonaliter som endast är ca 1 530 miljoner år gamla (K.-I. Åhäll, muntlig kommunikation 2006).

Berggrunden som byggs upp av sviten är relativt heterogen, med på många platser snabba växlingar mellan granitiska, granodioritiska och tonalitiska varianter. Bergarterna har på vissa platser decimeter- till meterstora inneslutningar av olika typer av metamafiska bergarter. Pegmatit- och aplitgångar av olika ålder förekommer också. Även halten av glimmer varierar stort i granitoiderna. Amfibol saknas i de undersökta proverna från kartområdet. Detta mineral är relativt vanligt förekommande i 1600-svitens granitoider öster om Göta älv och i Göteborgsområdet.

Fig. 5. A. Lagrad, kvartsådrad, vulkanisk ytbergartsgnejs tillhörande Åmålsgruppen med lager av ljus grå dacit och mörkt grå, basaltisk andesit (50 m öster om TEN050009, 6480982/1282720). Ulveröd, 2 km öster om Lane Ryr. B. Tunnslipsfotografi av en kvarts-fältspatrik vulkanisk bergart (dacit) tillhörande Åmålsgruppen. Sandbäcken (TEN040011, 6483850/1281950), 11 km nordöst om Uddevalla. Daciten är mycket finkornig (0,05 till 0,1 mm) innehåller och ca 12 volymprocent biotit (mörkt grönt). Bildbredd ca 5 mm. Korsade polarisatorer. C. Inlagringar av amfibolit i grå, ådrad ytbergartsgnejs tillhörande Stora Le–Marstrandsgruppen. Sunningen, 5 km västsydväst om Uddevalla (6474400/1267630). D. Vägskärrning i ytbergartsgnejs tillhörande Stora Le–Marstrandsgruppen. E6 vid Hammar, 12 km söder om Stenungsund (6432500/1265500). Större delen av skärningen följer gnejsigheten i ytbergartsgnejsen. Notera att avglidningar av bergssjok har skett längs foliationsplanen. E. Mörkt gröngrå, finkornig till fint medelkornig, gnejsig, granatförande amfibolit (TEN040001A, 6474650/1264800). Utby 8,5 km väster om Uddevalla. F. Grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, ådrad och veckad tonalit tillhörande 1600-sviten (TEN040032A, 6440180/1266253). Spekeröd, 5 km söder om Stenungsund.

A. Bedded, quartz veined, volcanogenic supracrustal gneiss in the Åmål group with layers of light grey dacite and dark grey basaltic andesite (50 m east of TEN050009, 6480982/1282720). Ulveröd, 2 km east of Lane Ryr. B. Photomicrograph showing a quartz-feldspar rich volcanic rock (dacite) belonging to the Åmål group. Sandbäcken (TEN040011, 6483850/1281950), 11 km north-east of Uddevalla. The dacite is very fine-grained (0,05 till 0,1 mm) and carries some 12 volume percent biotite. View is about 5 mm wide. Crossed polars. C. Lenses of amphibolite in a grey, veined supracrustal gneiss belonging to the Stora Le–Marstrand group. Sunningen, 5 km west-south-west of Uddevalla (6474400/1267630). D. A road cut in a supracrustal gneiss belonging to the Stora Le–Marstrand group. E6 at Hammar, 12 km south of Stenungsund (6432500/1265500). The major part of the section follows the gneissosity in the supracrustal gneiss. Note that small rockslides have occurred along foliation planes. E. Dark, greyish green, fine-grained to finely medium-grained, gneissic, garnet bearing amphibolite (TEN040001A, 6474650/1264800). Utby 8,5 km west of Uddevalla. F. Grey, medium-grained, gneissic, veined and folded tonalite belonging to the 1600-suite (TEN040032A, 6440180/1266253). Spekeröd, 5 km south of Stenungsund.

Ögongnejs (Bkod 72)

I anslutning till ytbergartsgnejserna i Åmålsgruppen i nordöstra delen av Uddevalla kommun finns ett antal långsträckta, smala enheter med ögongnejs. Denna består av i allmänhet röda, rundade, och grova (2–7 cm) ögon av mikroklin, omgivna av en grå, jämn- och medelkornig granodioritisk, vanligen glimmerrik mellanmassa. På många platser är ögongnejsen ovanligt kraftigt förgnejsad. Bergarten bedöms tillhöra den svit med 1 600 miljoner år gamla ögongnejser som finns på många andra platser i regionen.

Amfibolit (Bkod 66)

Ett antal mindre kroppar av metamorfoserade mafiska bergarter (metamafiter) finns i kartområdet. De äldsta av dessa uppträder som fin- till medelkorniga amfiboliter i mindre linser och skivor i Åmålsgruppens ytbergarter. Metamafiter förekommer också som mindre kroppar och skivor i granitoiderna tillhörande 1560- och 1600-sviterna. De är mörkt grå till svarta, fin till medelkorniga, gnejsiga och ibland glest ådrade. Foliationen är på många platser mer utpräglad i de yttre delarna av förekomsterna. Mineralinnehållet i metamafiterna utgörs till största delen av hornblände och plagioklas. Granat förekommer ofta som ett underordnat mineral (fig. 5E).

Granit, granodiorit och tonalit, gnejsig (1560-sviten, Bkod 61, 63 och 64)

En svit med ca 1560 miljoner år gamla granitiska till tonalitiska, djupbergarterna (den s.k. 1560-sviten) förekommer inom hela kartområdet. Till skillnad från 1600-svitens bergarter är dessa vanligen fria från migmatitiska ådror. Bergarterna är i allmänhet grå till gråröda, medelkorniga, gnejsiga och på många platser porfyriska. De olika bergarterna övergår vanligtvis gradvis i varandra. Granodioriter dominerar.

I östra Uddevalla kommun byggs större delen av berggrunden upp av endast svagt, eller mycket svagt, gnejsiga varianter av graniter och granodioriter tillhörande 1560-sviten (fig. 6A). Berggrunden i de områden, som på kartan (fig. 2) är markerade som granitiska, varierar ofta mellan granit och granodiorit. Inom vissa områden är bergarterna också porfyriska med ovala till linsformade fältspatströkorn. Tonaliter (fig. 6B), vanligen med höga halter av mörka mineral (biotit, hornblände och klorit), förekommer i mindre omfattning. De granitiska leden är vanligen rödaktiga och glimmerfattiga (fig. 6C).

Det vanligaste mörka mineralet är biotit. Hornblände förekommer främst i granodioriter och tonaliter. Muskovit uppträder i de flesta prov som sekundära korn i plagioklas. Granodioriterna och tonaliterna innehåller ofta relativt mycket epidot (se tab. 1).

Berggrunden har på många platser decimeter- till meterstora, inneslutningar (enklaver) av finkornig till fint medelkornig mafiska bergarter (fig. 6A). Inneslutningarna är rundade, om bergarten är svagt gnejsig och mer tillplattad ju gnejsigare bergarten blir. En åldersbestämning på ett bergprov taget i norra Uddevalla har gett en ålder på ca 1 555 miljoner år (Lundqvist, pågående arbete).

Granit, grovporfyrisk (1300-sviten, Bkod 52)

För 1 330 till 1 300 miljoner år sedan intruderade ett antal graniter och, underordnat, gabbroider berggrunden i regionen. Till denna grupp hör t.ex. de vanligen porfyriska Hästefjords- och Ursandsgraniterna nordväst om Vänersborg och den relativt uranrika s.k. RA-graniten som finns i Göteborgsområdet och längs Göta älv. Rödgrå till gråröd, grovporfyrisk gnejsig granit tillhörande denna svit förekommer endast i ett litet område i nordvästra delen av kartområdet.

Granit-pegmatit (1100-sviten, Bkod 46)

Från norra delen av bredfjället öster om Ljungskile sträcker sig en större granit-pegmatitkropp mot nordväst upp mot Saltkällan (utanför undersökningsområdet) nordväst om Hogstorp. Bergarten har granitisk sammansättning, kornstorleken varierar från mycket grovkornig (pegmatitisk) inom vissa partier till

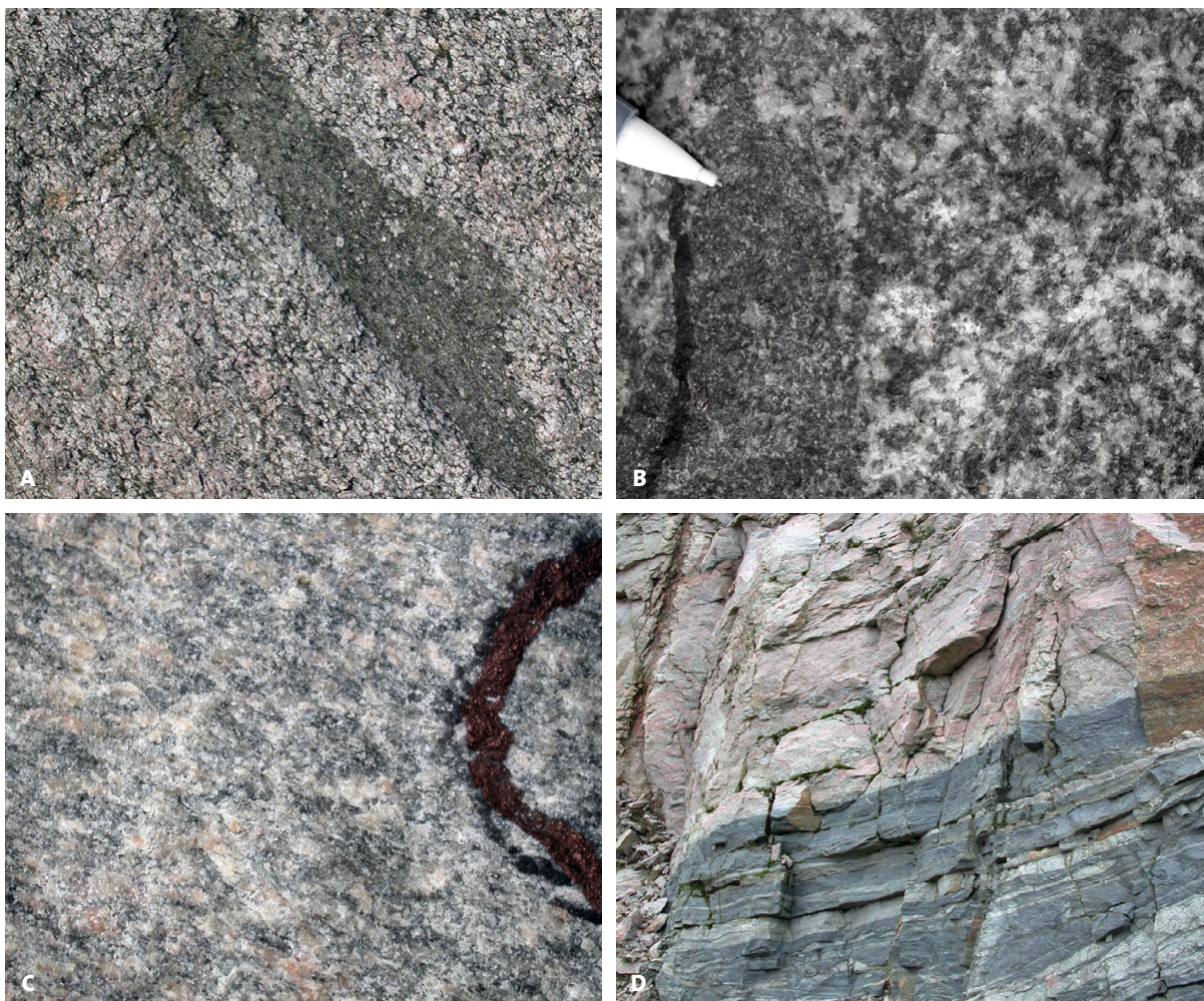


Fig. 6. **A.** Rödgrå, medelkornig, gnejsig granit tillhörande 1560-sviten. Graniten innehåller enstaka decimeterstora mafiska inneslutningar (enklaver). In nedre vänstra delen av bildfältet är graniten kraftigt folierad. Kuröd, östra Uddevalla (6477000/1275700, 1,5 km sydväst om TENo40015A). **B.** Grå, medelkornig, svagt gnejsig tonalit tillhörande 1560-sviten. Bergarten innehåller enstaka mafiska inneslutningar (TENo40030A, 6468882/1280631). Stenshult, 10 km sydöst of Uddevalla. **C.** Rödgrå, medelkornig, gnejsig, glimmerfattig granit tillhörande 1560-sviten (TENo50003A, 6434435/1272424). Ranebo, 13 km sydöst om Stenungsund. **D.** Skiva av mörkt grå ytbergartsgnejs i röd till gråröd, granit-pegmatit tillhörande 1100-sviten. Bergtäkt (Frölandskrossen) ca 2,5 km väster om Uddevalla (TENo40027A, 6475435/1269385 och TENo40028A, 6475430/1269339). Granit-pegmatiten är mycket svagt deformerad.

A. Reddish grey, medium-grained, gneissic granite belonging to the 1560-suite. The granite carries some decimetre large mafic enclaves. In the lower left of the view the granite is strongly foliated. Kuröd, eastern Uddevalla (6477000/1275700, 1,5 km south-west of TENo40015A). **B.** Grey, medium-grained, weakly gneissic tonalite belonging to the 1560-suite. The rock carries some small large mafic enclaves (TENo40030A, 6468882/1280631). Stenshult, 10 km south-east of Uddevalla. **C.** Reddish grey, medium-grained, gneissic, mica-poor granite belonging to the 1560-suite (TENo50003A, 6434435/1272424). Ranebo, 13 km south-east of Stenungsund. **D.** Sheet of dark grey supracrustal gneiss in a red to reddish grey pegmatite granite belonging to the 1100-suite. A rock quarry (Fröland quarry) some 2,5 km west of Uddevalla (TENo40027A, 6475435/1269385 and TENo40028A, 6475430/1269339). The pegmatite granite is very weakly deformed.

medelkornig inom andra. Färgen varierar från röd till vit. Karaktären på övergångarna mellan granit och pegmatit varierar från gradvisa till skarpa.

Granit-pegmatitkroppen innehåller rikligt med brottstycken av omgivande berggrund d.v.s. ådrade och migmatitiserade gnejser tillhörande Stora Le–Marstrandgruppen (fig. 6D), gnejsiga granitoider tillhörande 1560-sviten och metamafiter. Dessutom förekommer det rikligt med gångar av pegmatiten i omgivande bergarter (fig. 7). En åldersdatering på granit-pegmatit har preliminärt gett en ålder på ca 1 000 miljoner år. I bergtäkten i Fröland strax väster om Uddevalla utgörs den övervägande delen av det utbrutna berget av granit-pegmatit.

Tabell 1. Mineralfördelning (volymprocent) och kornstorlek (mm) hos bergarter från kartområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner. Bkod är en grupperingskod som baseras på bergartens stratigrafiskt läge och sammansättning. "Övrigt" innefattar t.ex. allanit, granat, prehnit, pumpellyit, zirkon och oidentifierade finkorniga mineral. Med kornstorlek avses storleksintervallet för huvuddelen av de enskilda mineralerna som bygger upp bergarten. Det dominerande kornstorleksintervallet anges först. s = mineral som förekommer i liten mängd (<0,2 %).

Modal composition (volume percent) and grain size (mm) of rocks from the map area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund. Bcode is a grouping parameter based on the stratigraphic position and composition of the rock. "Other" contains allanite, garnet, prehnite, pumpellyite, zircon and unidentified, fine-grained minerals. Grain size refers to the size-fraction of the main part of the individual grains that build up the rock. The dominating grain size-fraction is shown first. s = accessory mineral (<0.2%).

Prov	Bergartsbeskrivning	Bkod	Kornstorlek (mm)	Kvarts	Kalifältspat	Plagioklas	Biotit	Muskovit	Klorit	Amfibol	Titanit	Opak	Apatit	Granat	Epidot	Kalcit	Övrigt
Sample	Rock description	Rcode	Grain size (mm)	Quartz	Potassium feldspar	Plagioclase	Biotite	Muscovite	Chlorite	Amphibole	Titanite	Opaque phases	Apatite	Garnet	Epidote	Calcite	Other
MG0045012A	Granit, grå, medelkornig, gnejsig	62	0,1–0,5 1,6–5,0	33,7	24,2	31,9	7,8	1,2	0,5		0,2	s					0,5
MG0045015A	Granit, röd, fint medelkornig, svagt gnejsig	46	0,5–2,4	31,9	27,4	33,5	1,3	3,1	1,9			0,4	0,1				0,3
TEN040001A	Amfibolit, mörkt grön, finkornig till fint medelkornig, gnejsig	66	0,8–1,8	2,6		28,3	0,6		0,6	64,1	1,8	0,6	0,5				0,2
TEN040002A	Granit, röd, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig	62	0,1–0,5 1,9–3,2	36,5	31,5	25,7	1,4	2,8	0,3			s	0,2		1,4	0,2	0,2
TEN040005A	Tonalitisk ybergartsgnejs, grå till mörkt grå, finkornig till fint medelkornig, kraftigt folierad, mycket glimmerrik	80	0,2–1,9	34,4		12,4	15,0	36,8				0,8		0,2	0,3		0,2
TEN040006A	Granodiorit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, glimmerrik. Glest småporfyrisk.	63	0,1–0,3 0,6–2,4	34,0	10,4	24,9	23,7		0,5		0,2	0,2	0,2	3,8	0,9	1,2	0,2
TEN040008A	Tonalitisk ybergartsgnejs, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, ådrad, glimmerrik	80	0,2–0,5 (1,2–3,0)	51,0		23,4	9,1	15,2	0,1		0,1	0,4					0,1
TEN040010A	Granodiorit, grå till rödgrå, fint medelkornig, glest småporfyrisk, gnejsig	64	0,2–1,5 2,4–3,2	26,2	7,6	36,0	8,4	10,3			0,3	s				11,0	0,2
TEN040011A	Dact, grå till mörkt grå, finkornig, något skiktad, svagt gnejsig	81	0,03–0,2	ca 30	ca 20	ca 35	ca 12				ca 2	s				ca 1	
TEN040012A	Tonalitisk ybergartsgnejs, grå, finkornig till fint medelkornig, kraftigt folierad, glimmerrik	80	0,3–1,2	31,9	2,1	26,3	8,0	30,4	0,3			s				0,7	0,3
TEN040013A	Tonalitisk ybergartsgnejs, grå, fint medelkornig, gnejsig, relativt glimmerrik	80	0,3–0,8 (2,0–2,4)	26,5	1,7	46,1	21,9	0,4			1,0	s	0,1	0,6	1,0	0,3	0,4
TEN040014A	Granitisk vulkanisk bergart, ljust röd till rödgrå, finkornig, gnejsig, tunt bandad	81	0,04–0,2 0,4–1,4	ca 30	ca 35	ca 32	ca 2,5		ca 0,5		s	s					
TEN040015A	Granit till granodiorit, grå till rödgrå, medelkornig, ställvis glest småporfyrisk, svagt gnejsig	64	0,1–0,4 0,8–2,5	20,0	22,6	25,7	18,8	0,9			0,6						11,4
TEN040016A	Granodiorit, grå, fint medelkornig, gnejsig	64	0,4–1,1	31,7	17,0	35,3	13,3					0,1					2,7
TEN040017A	Tonalitisk ybergartsgnejs, mörkt grå, finkornig till medelkornig, relativt kraftigt folierad, ådrad, bandad, glimmerrik	80	0,3–3,0	36,8	0,4	34,9	21,7	3,3	0,7			1,8			0,3	s	
TEN040018A	Granodiorit, grå, fint medelkornig, gnejsig. Stråkvävs mylonitiska zoner.	64	0,3–0,8 (1,6–3,0)	23,6	8,4	38,2	15,2	0,3	1,0	3,9	0,3		0,2				8,9
TEN040019A	Granit, ljust grå-röd, medelkornig till grovt medelkornig, svagt gnejsig	62	0,2–0,5 1,5–3,0	34,5	25,2	24,7	8,4	1,1	0,2		0,8	s	0,1		4,8		0,2
TEN040020A	Gabbro/amfibolit, mörkt grön, finkornig till fint medelkornig, gnejsig, pyritförande	66	0,2–0,5	6,1	0,2	18,8	1,1	0,2	2,8	61,4	1,8	5,1	0,5		1,4		0,8
TEN040021A	Granit, röd, finkornig till medelkornig, kraftigt gnejsig till protomylonitisk	62	0,2–0,4 0,7–2,5	36,0	33,8	25,4	2,1	2,1	0,1			s					0,4

Prov	Bergartsbeskrivning	Bkod	Kornstorlek (mm)	Kvarts	Kalifält- spat	Plagio- klas	Biotit	Musko- vit	Klorit	Amfibol	Titanit	Opak	Apatit	Granat	Epidot	Kalcit	Övrigt
Sample	Rock description	Rcode	Grain size (mm)	Quartz	Potassium feldspar	Plagioclase	Biotite	Muscovite	Chlorite	Amphibole	Titanite	Opaque phases	Apatite	Garnet	Epidote	Calcite	Other
TEN040022A	Granodiorit, grå till mörkt grå, fint medelkornig, gnej-sig. Ställvis småporfyrisk.	64	0,3–2,0	18,4	9,5	41,8	18,6	0,2	0,2	5,5	0,6	s	0,8		4,5		
TEN040023A	Granit, röd, finkornig till medelkornig, stänglig, folie-rad, relativt glimmerfattig	62	0,2–0,4 0,9–2,0	40,7	27,4	27,0	4,7		0,1			s			0,1		
TEN040024A	Tonalit, grå, finkornig till medelkornig, gnej-sig	65	0,2–0,4 0,7–1,8	27,9	1,9	47,4	14,4	0,1			0,9	s			6,9	0,4	
TEN040025A	Tonalit, grå, fint medelkornig, ställvis småporfyrisk, gnej-sig, heterogent ådrad	65	0,6–2,4	24,2	0,6	48,0	18,7			3,0	0,3	0,3			4,9		
TEN040026A	Granodiorit, grå, medelkornig, gnej-sig, tunt ådrad	64	1,0–3,0	33,7	6,7	43,6	12,6	1,3	1,2		0,1	s	0,1		0,4		0,1
TEN040027A	Granit, just röd, fint medelkornig, ställvis svag folia-tion	46	0,2–1,2	28,4	34,2	32,3	2,1	1,5	0,8			0,2			0,5		
TEN040028A	Pegmatit, röd till gråröd, granitisk. Ställvis svagt fo-lierad.	46	0,2–0,5 1,0–5,0	26,8	15,8	53,6	0,6	1,7	0,3		1,1			0,2			
TEN040029A	Granit, grå till rödgrå, grovt medelkornig till grovkor-nig, grovporfyrisk, gnej-sig	61	0,1–0,4 1,0–5,0	20,0	33,7	26,7	11,1	1,2	0,4			0,3	0,7		5,5		0,3
TEN040030A	Tonalit, grå till mörkt grå, fint medelkornig till medel-kornig, gnej-sig	65	0,1–0,3 0,9–3,2	22,6	1,3	43,5	19,4			3,0	1,6	s			7,9	0,8	
TEN040031A	Granit, rödgrå, fint medelkornig, ådrad, gnej-sig	62	0,1–0,4 0,8–2,6	35,5	24,7	30,4	7,5	0,9				s			0,5		0,5
TEN040032A	Tonalit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnej-sig, ställvis rikligt ådrad	74	0,1–0,3 0,5–1,2	45,7	1,1	21,5	15,5	14,8	0,2		0,1	0,2	0,4		0,4		0,1
TEN040033A	Tonalitisk ytbergartsgnejs, grå, finkornig till fint medelkornig, gnej-sig, ådrad, bandad	80	0,4–1,5	35,6	4,8	38,5	10,9	8,7	0,6		0,6	0,1	0,2				
TEN040034A	Granit, grå, fint medelkornig, gnej-sig, glest ådrad	62	0,5–2,0	35,3	24,3	31,7	5,0	1,7	1,1			s	0,2		0,2	0,5	
TEN050001A	Tonalit, grå till mörkt grå, fint medelkornig till medel-kornig, gnej-sig. Ställvis ådrad och bandad.	74	0,4–1,2 (2,0–4,0)	26,9	1,5	49,5	6,0	1,1	7,3		0,3	s	0,2	0,2	7,1		
TEN050002A	Granodioritisk ytbergartsgnejs, grå, finkornig till fint medelkornig, ådrad, bandad. Mycket glimmerrik	80	0,3–1,6	17,2	10,5	19,3	14,1	36,5	1,6			0,2			0,6		
TEN050003A	Tonalit, grå, fint medelkornig till medelkornig, svagt gnej-sig	65	0,3–0,8 1,6–3,0	34,8	0,2	50,9	10,5	0,8	1,0		0,2	s			1,5		0,2
TEN050004A	Granit, rödgrå, fint medelkornig till medelkornig, svagt gnej-sig och gnej-sig	62	0,1–0,4 1,2–1,6	30,8	28,5	34,2	4,8	0,9	0,3						0,5		
TEN050005A	Granit, gråröd till röd, fint medelkornig, gnej-sig, biotit-fattig, ställvis bandad.	62	0,4–1,2	36,6	33,5	26,7	2,3	0,2	0,3			0,2				0,3	
TEN050006A	Tonalit, grå till mörkt grå, fint medelkornig till medel-kornig, gnej-sig	65	0,3–1,2	34,6	1,0	42,2	16,3		0,6		0,2				4,9		0,2
TEN050007A	Granodiorit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnej-sig, rikligt ådrad	73	0,3–1,4 (2,0–3,5)	30,3	18,2	36,7	6,7	5,4	0,3			s		0,7	1,1	0,6	
TEN050008A	Granodiorit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnej-sig	64	0,5–1,6	32,1	8,9	48,5	8,9	1,3				s	0,1	0,1			
TEN050009A	Dact, grå, finkornig, folierad, bandad	81	0,04–0,1	ca 10	s	ca 50	ca 20	s	ca 5		ca 0,5			ca 2	ca 12		ca 0,5



Fig. 7. Gångar av granit-pegmatit i ytbergarts-gnejs tillhörande Stora Le–Marstrandsgruppen. Bergskärning strax norr om Uddevalla-bron (6478400/1267700). Notera utfällningarna av oxihydroxider (sannolikt främst av järn) från det utsipprande grundvattnet.

Dykes of granite pegmatite belonging to the 1100-suite in supracrustal gneiss belonging to the Stora Le-Marstrand group. Road cut immediately north of the Uddevalla Bridge. Note the precipitation of iron oxo-hydroxides from the out-seeping groundwater.

Diabas

I södra delen av Uddevalla finns två diabasgångar, en med västlig och en med västnordvästlig orientering. Den senare kan följas ytterligare 8 km åt ostsydost in i Lilla Edets kommun. Gångarna är brantstående och deras bredd varierar mellan 0,5 och 4 m. Diabasen är massformig till svagt förskiffrad, finkornig till fint medelkornig och vanligen kraftigt uppsprucken (Lundqvist 1997a).

Petrografisk analys

Bergartsprovernas mineralsammansättning och ingående mineralens mängdförhållanden har bestämts genom punkträkning av en yta på ca 25 × 20 mm med transmissionsmikroskopi. Vanligen räknades mellan 600 och 700 punkter. Mineralsammansättningen i tre prover av vulkaniska bergarter uppskattades med hjälp av bedömningsmallar p.g.a. att bergarterna är så finkorniga att punkträkning inte var möjlig att göra. Resultaten ges i tabell 1. Förhållandena mellan de viktigaste bergartsbildande mineralen kvarts, kalifältspat (mikroklin) och plagioklas bestämmer hur bergarterna ska benämnas. Kvarts- och glimmer-innehållet är av speciell betydelse för bergartens tekniska egenskaper. Dessutom noteras förekomsten av olika mineral som finns i betydligt mindre mängder, s.k. accessorier. För att uppskatta mängden sulfider identifierades opaka mineral (malmmineral) med reflektionsmikroskopi.

Vidare har en uppskattning av ingående mineralkorns storlek och bedömning av grad sammanväxning (kornfogning) av mineralkornen genomförts. En textur med hög grad av sammanväxning mellan mineralkornen är gynnsam för en bergarts sprödhet och hårdhet. Flertalet av de undersökta prov har en relativt hög grad av sammanvuxna korngränser. De två mafiska bergarterna har däremot relativt raka korngränser. I områden med mylonitiserad berggrund har mineralen vanligen en mer dynamiskt omkristalliserad kornstruktur och en högre grad av sammanväxning.

Skiktssilikater (glimmer m.m.)

Andelen fri glimmer (bestämd enligt VVMB 613 (2001) för material 0,125–0,25 mm) får ej överstiga 50 % för obundna vägmateriäl. Om andelen är mellan 30 och 50 %, får inte bärlagret trafikerats av tung trafik (Vägverket 2004). Även omvandlingsmineral som klorit, serpentin och epidot är intressanta i bedömningen av bergartens beständighet. Information om mineralsammansättningen redovisas i tabell 1.

Ytbergarterna i Stora Le–Marstrandgruppen har generellt mycket hög glimmerhalt (mängd biotit och muskovit) med ett medelvärde för de 7 undersökta proverna på ca 33 volymprocent. Av de tre undersökta bergarterna tillhörande 1600-sviten innehåller ett prov (TEN040032A) ca 30 volymprocent glimmer. Glimmerhalten är allmänt jämförelsevis låg i de granitiska varianterna av bergartsprover från 1560-sviten.

Klorit förekommer i liten mängd i 31 av de undersökta proverna. En ådergnejs (TEN050001A) innehåller dock ca 7 volymprocent klorit. Klorit är ett s.k. skiktlikat som, liksom glimmer, lätt spaltas upp längs skiktplanen.

Opaka mineral (sulfider m.m.)

Sulfider som kommer i kontakt med vatten och syre vid t.ex. uppkrossning kan oxideras, varvid pH-värdet i vattnet sänks. Detta sker vanligen genom att det (i första skedet) bildas järnsulfater och svavelsyra. Vid oxidationen kan även metaller gå i lösning i lakvattnet. Lakvatten med lågt pH-värde och höga metallkoncentrationer kan orsaka skador på miljön. Vägverket anger att förekomst av ”surt berg”, dvs. berg med sulfidmineral, skall studeras inom vägutredningsområden. Normalt korrelerar svavelhalten i bergmaterialet mot mängden sulfidmineral. Vid en svavelhalt högre än 0,3 viktsprocent i bergmaterialet, vilket ungefärlig motsvarar 0,3 volymprocent pyrit, rekommenderas att speciella åtgärder vidtas. Vid t.ex. lagring och användning av ballast med höga sulfidhalter bör tillgången på syresatt vatten minskas genom tex. övertäckning eller deponering under grundvattenytan. Hög svavelhalt skall också undvikas om materialet planeras att användas till betong. Om sulfidinnehållet är högt bör materialet analyseras kemiskt för att bestämma totalhalten av svavel.

Generellt är halten av opaka mineral, och därmed innehållet av sulfidmineral, tämligen låg. Den relativa mängden sulfider i 9 bergartsprover med mer än eller lika 0,3 volymprocent opaka mineral redovisas i tabell 4. Pyrit är det dominerande opaka mineralet i sju av bergarterna. Högst halt av pyrit (ca 3 till 4 volymprocent) finns i en amfibolit från Stora Djurhult (TEN040020A) 10 km sydöst om Uddevalla. Även en amfibolit från Utby (TEN040001A) 8,5 km väster om Uddevalla uppvisar en något förhöjd halt av sulfider. Proven av ytbergartsgnejserna från främst Ranneberg (TEN040017A, 6 km nordväst om Ljungskile) och till viss del Krokevattnet (TEN040005A, 11 km nordväst om Uddevalla) innehåller relativt mycket pyrit. I granitproven MGO040015A (1100-sviten) och TEN050005A (1560-sviten) utgörs den övervägande delen av opaka mineralen av oxiderna ilmenit respektive magnetit. Dessa material kan därför användas utan att några speciella skyddsåtgärder behöver vidtas.

Tabell 4. Relativa mängder opaka mineral i prover med en totalhalt av opaka mineral >0,3 volymprocent, uppskattade vid reflektionsmikroskopering; +++ = dominerande, ++ = underordnat, + = spår. Opak = Totalhalt av opaka mineral i volymprocent bestämt genom punkträkning (se tab. 1).

Relative amounts of opaque minerals in samples where the total amount of opaque minerals is >0.3 volume percent, estimated in reflected light: +++ = dominating, ++ = less common, + = trace amount. Opaque = Total content of opaque minerals in volume percent, determined by point counting (see tab. 1).

Prov	Opak %	Oxider / Oxides			Sulfider / Sulphides	
Sample	Opaque %	Magnetit Magnetite	Ilmenit Ilmenite	Övrigt Other	Pyrit Pyrite	Kopparkis Chalcopyrite
MGO045015A	0,4		+++	+ (rutil)		
TEN040001A	0,6		+++		+++	
TEN040005A	0,8				+++	
TEN040008A	0,4			+ (götit)	+++	
TEN040017A	1,8				+++	+
TEN040020A	5,1		++		+++	
TEN040025A	0,3	+			+++	
TEN040032A	0,3				+++	
TEN050005A	0,4	+++			+	

Geofysiska parametrar

Den mineralogiska sammansättningen i bergarten avspeglas av de geofysiska egenskaperna. Detta gäller framför allt den magnetiska susceptibiliteten som återger förekomsten av magnetit. Spridningen av den magnetiska susceptibiliteten inom de olika bergarterna är mycket stor men variationerna i anomalimönstret beror snarare på den strukturella överpräglningen än på bergartskontakter.

Densitetsmätningar är en indikator på bergartens mineralsammansättningen. Bergarter med låg densitet (t.ex. 2,60–2,70 g/cm³) domineras av ”lättare” mineral som kvarts och kalifältspat, vilka är vanliga i en granit och bergarter med hög densitet (t.ex. 2,78–3,00 g/cm³, tonalit, amfibolit och mafit) domineras av ”tyngre” mineral som plagioklas, biotit och hornblände. Densiteten ger också en snabb uppskattning av huruvida bergarten tenderar att deformeras sprött (vilket är vanligare i lätta graniter). I tabell 2 anges bergartsprovets densitet för alla de olika prover där teknisk analys genomförts.

Bergarternas strålningsegenskaper redovisas nedan i kapitlet ”Berggrundens strålningsegenskaper”.

BERGGRUNDENS STRUKTURER, DEFORMATIONSZONER OCH SPRICKOR

De typer av deformation som berggrunden varit utsatt för är i princip av två slag: 1) Plastisk deformation 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 har gett upphov till sprickor och förkastningar.

Plastisk deformation har skett under två perioder med bergskedjebildning och sammanhörande regionalmetamorfos (storskalig omvandling av berggrunden). Samtliga bergarter i kartområdet är på grund av detta mer eller mindre gnejsiga. De äldre bergartsenheter är på många platser, främst i Stenungsunds kommun och i de sydvästra delarna av Uddevalla kommun, migmatitiskt ådrade (t.ex. fig. 5C och 5F). Ådrorna består i huvudsak av kvarts och fältspat tillsammans med små mängder av glimmer.

De olika bergartsleden i kartområdet utgörs vanligen av relativt långsträckta, i västnordvästligt till nord-sydligt orienterade enheter (fig. 2 och 3). I västra och södra delen av Stenungsunds kommun vrider sig det storskaliga strukturmönstret till nordvästliga och västliga riktningar. Orientering av gnejsighet och ådring i bergarterna följer i stort detta storskaliga mönster. Gnejsighetens stupning är företrädesvis flack till medelbrant mot öster. På många platser är gnejsigheten och ådringen veckad runt nordligt eller nordnordostligt strykande, subhorisontella eller flackt mot norr flackt stupande veckaxlar.

Efter regionalmetamorfosen har samtliga bergarter drabbats av stråkviss, plastisk deformation som resulterat i bildningen av plastiska skjuvzoner, i vilka bergarterna blivit mer eller mindre mylonitiserade. Detta anges som starkt förskifrad berggrund på bergkvalitetskartan. De flesta plastiska skjuvzoner följer till stora delar det storskaliga strukturmönstret på berggrundskartan. I nordöstra delen av Uddevalla kommun finns en större överskjutningszon (revers förkastning på bergkvalitetskartan) där de äldre vulkaniska gnejserna är överskjutna åt öster över yngre granitoider tillhörande 1560-sviten.

Spröd deformation (förkastningsrörelser) har i ett senare stadium skett längs många av de plastiska deformationszonerna och givit upphov till kvarts- eller epidotläkta rivningsbreccior och sprickrika zoner. Det geofysiska och topografiska underlagsmaterialet antyder strykningens riktningar i främst nordnordväst och nordost samt, underordnat, i nordväst. I södra delen av Uddevalla kommun och i Stenungsunds kommun dominerar linament med nordvästliga, västliga och nordliga strykningens riktningar.

Sprickorienteringar och spricktäthet har bedömts på ett flertal provlokaler. Tätheten anges som antal sprickor per meter (SPM, se tab. 2). Sprickornas orientering (strykning och stupning) anges i ett urval av stereogram där sprickplanen anges som storcirklar och de associerade polerna till planen visas med konturnering för att spegla frekvensen av antalet mätningar med samma orientering. Sprickornas orientering varierar i olika delar av kartområdet beroende på berggrundens geologiska och tektoniska utveckling. Dominerande sprickorienteringar visas i tabell 5.

Tabell 2. Tekniska analysvärden och användbarhetsklassificering av prover från Uddevalla och Stenungsunds kommuner för väg, järnväg och betong (se text). Bkod är bergartskod, ρ_s är korndensitet, K_k är kulkvarnsvärde, LA är Los Angeles-värde, M_{DE} är micro-Devalvärde, RA är radiumindeks, GA är gammaindeks, SPM är sprickor per meter, ASR är sprickor per meter, ASR är alkaliskareaktivitet.

Technical analyses and classification of samples from the municipalities of Uddevalla and Stenungsund for pavement constructions (mainly wearing courses), as railway trackbed ballast, and as concrete ballast. Rode = rock code, ρ_s = particle density, STT = studded tyre test value, LA = Los Angeles value, M_{DE} = micro-Deval value, RA = radius index, GA = gamma index, JPM = joints per meter, ASR = alkali silica reactivity.

Prov	Sample	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	Bkod	N-S-koordinat	O-V-koordinat	ρ _s g/cm ³	K _n %	LA %	M _{De} %	RA	GA	SPM	ASR	Bergvalitetsklassning ¹		
														Rock quality classification		
Rock description (field observation)														Väg	Järnväg	Betong
														ASR	JPM	RA
MGO045012A		Granit, grå, medelkornig, gnejsig	62	6477126	1259346	2,66	13,0	21,7	8,3	0,03	0,41		2	2	1	1,5
MGO045015A		Granit, röd, fint medelkornig, svagt gnejsig	46	6466296	1276514	2,63	10,6	21,8	6,6	0,19	0,69		1	2	1	1
TEN040001A		Amfibolit, mörkt grön, finkornig till fint medelkornig, gnejsig	66	6474650	1264800	2,91	21,5	20,0	16,4	0,03	0,13	2		3	1	2
TEN040002A		Granit, röd, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig	62	6481150	1280300	2,63	7,5	18,9	4,8	0,25	0,93	1	1	1	1	1
TEN040005A		Tonalitiskytbergartsgnejs, grå till mörkt grå, finkornig till fint medelkornig, kraftigt folierad, mycket glimmerrik	80	6485133	1266136	2,71	50,2	40,2	32,2	0,17	0,78	10	2	3	3	2
TEN040006A		Granodiorit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, glimmerrik. Glest småporfyrisk.	63	6483527	1265750	2,75	20,9	24,7	14,7	0,16	0,82	3	2	3	3	1
TEN040008A		Tonalitiskytbergartsgnejs, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, ådrad, glimmerrik	80	6476975	1269950	2,71	18,7	19,7	13,1	0,26	0,81	4	1	3	3	1
TEN040010A		Granodiorit, grå till rödgrå, fint medelkornig, glest småporfyrisk, gnejsig	64	6484400	1274975	2,75	10,5	15,9	7,8			2-3	1	1,5	1,5	1
TEN040011A		Dacit, grå till mörkt grå, finkornig, något skittad, svagt gnejsig	81	6483850	1281950	2,73	6,4	11,6	4,2	0,09	0,40	1-3	2	1	1	1
TEN040012A		Tonalitiskytbergartsgnejs, grå, finkornig till fint medelkornig, kraftigt förskiffrad, glimmerrik	80	6483950	1269950	2,69	25,0	22,0	16,4			3-6	2	3	3	1
TEN040013A		Tonalitiskytbergartsgnejs, grå, fint medelkornig, gnejsig, relativt glimmerrik	80	6483950	1269945	2,69	16,7	16,9	12,6	0,12	0,54	2-4	2	2	2	1
TEN040014A		Granitisk vulkanisk bergart, i just röd till rödgrå, finkornig, gnejsig, tunt bandad	81	6477702	1283962	2,61	9,2	24,5	6,7	0,23	1,18	4-6	1	1	2	1
TEN040015A		Granit till granodiorit, grå till rödgrå, medelkornig, ställvis glest småporfyrisk, svagt gnejsig	64	6478466	1276416	2,72	13,9	24,9	10,3	0,27	0,81	1-2	2	2	2	1
TEN040016A		Granodiorit, grå, fint medelkornig, gnejsig	64	6457405	1273793	2,76	17,6	22,9	12,6	0,10	0,44	1-2	1	2,5	1,5	1
TEN040017A		Tonalitiskytbergartsgnejs, mörkt grå, finkornig till medelkornig, kraftigt folierad, ådrad, bandad, glimmerrik	80	6466771	1267568	2,71	19,7	23,4	14,0	0,26	0,98	3-5	2	3	3	3
TEN040018A		Granodiorit, grå, fint medelkornig, gnejsig. Stråkvävis mylonitiska zoner.	64	6464408	1273589	2,74	14,8	18,7	10,6	0,14	0,53	2-4	2	2	1	1
TEN040019A		Granit, i just grå-röd, medelkornig till grovt medelkornig, svagt gnejsig	62	6473311	1278305	2,70	10,3	18,6	7,2			1-3	2	1,5	1	1
TEN040020A		Gabbro/amfibolit, mörkt grön, finkornig till fint medelkornig, gnejsig, pyritförande	66	6468621	1281997	3,06	18,3	20,7	15,6	0,13	0,29	1-2		2,5	1	3
TEN040021A		Granit, röd, finkornig till medelkornig, kraftigt gnejsig	62	6467329	1281365	2,61	7,8	22,1	4,7	0,09	0,82	4	2	1	1	1
TEN040022A		Granodiorit, grå till mörkt grå, fint medelkornig, gnejsig. Ställvis småporfyrisk.	64	6462863	1274877	2,77	18,8	25,6	14,3	0,18	0,60	1-2	2	3	2	1
TEN040023A		Granit, röd, finkornig till medelkornig, stänglig, folierad, relativt glimmerfattig	62	6463757	1280812	2,62	10,8	26,1	6,9	0,13	0,84	4	1	2	1,5	1
TEN040024A		Tonalit, grå, finkornig till medelkornig, gnejsig	65	6465262	1279184	2,76	18,4	24,5	14,0	0,13	0,50		2	2,5	1	1

Prov	Sample	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	Bkod	N-S-koordinat	O-V-koordinat	ρ _s g/cm ³	K _k %	LA %	M _{DE} %	RA	GA	SPM	ASR	Bergkvalitetsklassning ¹		
														Rock quality classification		
Rock description (field observation)														Väg	Järnväg	Betong
														Road	Railway	Concrete
TEN040025A		Tonalit, grå, fint medelkornig, ställvis småporfyrisk, gnejsig, heterogent ådrad	65	6457806	1270743	2,80	24,5	26,3	19,9	0,07	0,36	1	1	3	2	1
TEN040026A		Granodiorit, grå, medelkornig, gnejsig, tunt ådrad	64	6457672	1268090	2,68	19,7	24,8	11,1	0,19	0,80		1	3	1	1
TEN040027A		Granit, ljus röd, fint medelkornig, ställvis svag foliation	46	6475435	1269385	2,62	8,1	18,1	4,9			2	2	1	1	1
TEN040028A		Pegmatit, röd till gråröd, granitisk. Ställvis svagt folierad.	46	6475430	1269339	2,62	12,8	28,8	6,5	0,56	0,93	2-4	2	2	2	1
TEN040029A		Granit, grå till rödgrå, grovt medelkornig till grovkornig, grovporfyrisk, gnejsig	61	6468325	1280532	2,70	13,7	24,8	9,7	0,13	0,68	1-2	2	2	1	1
TEN040030A		Tonalit, grå till mörkt grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig	65	6468882	1280631	2,83	13,4	15,5	10,6	0,11	0,48		2	2	2	1
TEN040031A		Granit, rödgrå, fint medelkornig, ådrad, gnejsig	62	6452893	1273033	2,65	13,0	28,5	8,4	0,13	0,75		2	2	2	1
TEN040032A		Tonalit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, ställvis rikligt ådrad	74	6440180	1266253	2,71	19,3	23,4	13,5	0,17	0,74	3	2	3	3	1
TEN040033A		Tonalitisk ybergartsgnejs, grå, finkornig till fint medelkornig, gnejsig, ådrad, bandad	80	6452484	1266837	2,70	23,9	28,3	17,1	0,19	0,82		2	3	2	1
TEN040034A		Granit, grå, fint medelkornig, gnejsig, gles ådrad	62	6451676	1267398	2,65	10,5	19,9	7,2	0,17	0,65	1-1,5	2	1,5	1	1
TEN050001A		Tonalit, grå till mörkt grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig. Ställvis ådrad och bandad.	74	6439346	1274471	2,73	23,4	22,4		0,07	0,35	1-2	2	3	1	1
TEN050002A		Granodioritisk ybergartsgnejs, grå, finkornig till fint medelkornig, ådrad, bandad. Mycket glimmerrik	80	6435558	1263947	2,70	14,0	17,8		0,17	0,69	1-3	3	2	1	3
TEN050003A		Tonalit, grå, fint medelkornig till medelkornig, svagt gnejsig	65	6434435	1272424	2,69	10,9	19,4		0,17	0,44	1-2	2	2	1	1
TEN050004A		Granit, rödgrå, fint medelkornig till medelkornig, svagt gnejsig och gnejsig	62	6436434	1272557	2,64	11,5	22,8				4-15	2	2	1	1
TEN050005A		Granit, gråröd till röd, fint medelkornig, gnejsig, biotitfattig. Ställvis bandad.	62	6447547	1274200	2,62	11,2	27,6		0,17	0,89	2-4	2	2	1,5	1
TEN050006A		Tonalit, grå till mörkt grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig	65	6447141	1273266	2,74	16,5	23,2		0,08	0,37	1	2	2	2	1
TEN050007A		Granodiorit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, rikligt ådrad	73	6447975	1265867	2,67	16,9	26,6		0,25	0,70	2-3	2	2	1	1
TEN050008A		Granodiorit, grå, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig	64	6446206	1268439	2,66	13,6	28,6		0,30	0,75	2-5	2	2	1,5	1
TEN050009A		Dacit, grå, finkornig, förskiffrad, bandad	81	6480982	1282720	2,72	11,0					2-4	2	2	2	1
MGO055553		Granit, röd, finkornig		6475400	1269400	2,62	9 ²	32 ³								
MGO055554		Pegmatit, röd, grovkornig		6475400	1269400	2,60	11 ²	47 ³								
MGO055555		Granodiorit, grå, gnejsig, ådrad		6477600	1282500	2,71	27 ²	25 ³								
MGO055556		Granodiorit, grå, gnejsig		6478300	1276600	2,75	16 ²	32 ³								

¹ Kvalitetsklassning av bergartsprover avseende tillämpning som vägmakadam, järnvägsamakadam och betongballast, se vidare bilaga 2 för definition av klassningen.

² Kulvarnsvärdet beräknat genom slipvärdet ($K_k = 7,7N - 4,5$).

³ Los Angelesvärdet beräknat genom sprödhetsstalet ($LA = (\text{sprödhetsstalet} - 26,1)/0,82$).

Tabell 5. Dominerande sprickorintereringar

Dominating fracture orientations

Strykning / Strike	Stupning / Dip
~ Nordost (NO) / north-east (NE)	Brant / Steep
~ Nordnordost (NNO) / ~ North-northeast (NNE)	Parallellt foliationen, varierande flack till brant / Parallel foliation, varying shallow to steep
~ Västnordväst (VNV) / ~ West-northwest (WNW)	Brant / Steep
~ Nord-syd (N-S) / ~ North-south (N-S)	Brant / Steep



Fig. 8. Regelbundet uppsprucken svagt gnejsig granit i Glimmingens bergtäkt 5 km sydöst om Uddevalla (TENo40019, 6474311/1278305). Den helt dominerande sprickgruppen är orienterad i 50/85.
Regularly fractured, weakly gneissic granite in Glimmingen quarry 5 km south-east of Uddevalla (TENo40019, 6474311/1278305). The strike of the dominating fracture set is roughly north-east, with an approximately vertical dip (average orientation 50/85).

I allmänhet finns en grupp av sprickor som är mer eller mindre parallell med gnejsigheten i berggrunden (fig. 5D) med en dominerande strykning från nordnordväst till nord-syd och med en normalt tämligen flack till ibland ställvis brant stupning. Vanligen finns också en grupp av sprickor som stryker i det närmaste vinkelrätt mot foliationen. Den på många platser klart dominerande sprickorienteringen är dock nordöstlig med brant stupning (fig. 8). Vidare finns vid flera lokaler en eller flera grupper av sprickor som är mer eller mindre parallella med riktningen på närliggande större lineament identifierade från den geofysiska eller den topografiska informationen (se stereogrammen i kartmarginalen). De jämförelsevis låggradigt metamorfoserade ytbergartsgnejserna i nordvästra delen av Uddevalla kommun har vanligtvis en utpräglad småsprickighet och klyvbarhet parallellt med lagringen och foliationen.

BERGGRUNDENS STRÅLNINGSEGENSKAPER

Gammaprägningskartorna som visar halterna av kalium, uran och torium har tillsammans med berggrundsinformationen legat till grund för planering av gammastrålningsmätningar på berghällar. Vid dessa mätningar har den totala gammastrålningen samt halten av kalium-40, radium-226 och thorium-232 bestämts. Radiumindex och gammaindex har beräknats för samtliga mätpunkter och lagrats i SGUs databaser.

Enligt rekommendationer från de nordiska ländernas strålskyddsinstitutioner bör gammaindex för byggnadsmaterial vara mindre än 2,0 och radiumindex mindre än 1,0. Undantagsnivån är för gammaindex 1,0 och för radiumindex 0,5 (The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden 2000, Åkerblom m.fl. 1990, jfr. BFS 1990). Radiumindexet beräknas genom bestämning av urankoncentrationen i materialet. En uranhalt på 16,2 ppm motsvarar 200 Bq/kg radium-226, vilket i sin tur motsvarar radiumindex 1,0.

Gammaindex m_γ är beräknat enligt:

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

där, C_K , C_{Ra} och C_{Th} är koncentrationen av ^{40}K , ^{226}Ra respektive ^{232}Th , alla i enheten Bq/kg (The Radiation protection authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden 2000). Halterna av kalium, uran och torium kan omräknas till Bq/kg enligt följande:

1 % K = 313 Bq/kg

1 ppm U = 12,35 Bq/kg

1 ppm Th = 4,06 Bq/kg

Figur 9 visar uranhalt beräknade från flygburna radiometrisk data inom kartområdet. Områden med relativ förhöjd uranhalt framträder som små prickar med mörkt röda färgnyanser. Uranhalten varierar lite inom stora delar av kartområdet. I Uddevalla kommun framträder dock granit–pegmatitkroppen som ett område med något förhöjd uranhalt. Gammastrålningsmätningar på marken visar dock att de höga uppmätta uranhaltarna bara till viss del orsakas av uran i berggrunden. Gammastrålningsmätningar har genomförts på 40 mätpunkter inom kartområdet, varav 35 är från lokaler där prover tagits för teknisk analys (se tab. 2). Vid varje mätpunkt utfördes normalt 3 till 5 mätningar på bergarten. Data från ytterligare 57 mätningar (Sundevall, muntlig kommunikation, 2006) inom kartområdet presenteras tillsammans med ovanstående på bergkvalitetskartan och finns i SGUs databaser.

De flesta bergarter inom Uddevalla och Stenungsunds kommuner har låg gammastrålning (tab. 2 och 6). Gammaindex och radiumindex är lägre än 2,0 respektive 1,0 (motsvarar 200 Bq/kg ^{226}Ra) vid samtliga lokaler. Ett för området relativt högt radiumindex (0,89) förekommer i granit–pegmatitkroppen väster om Uddevalla (gammaindex är 1,23) och ett relativt högt gammaindex (1,4) förekommer också i granit–pegmatiten sydöst om Uddevalla (radiumindex är 0,32). De relativt höga gammaindexen på lokalerna orsakas av att granit–pegmatiten innehåller en hög koncentration av torium.

Tabell 6. Sammanställning av gammastrålningsmätningar (medelvärden) inom kartområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner
Summary of the measured gamma-radiation (mean-value) within the map area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund.

Bkod* Rcode	Bergartsenhet Rock unit	K/P %	U ppm	Th ppm	Radium- index	Gamma- index	Antal Number
46	Granit–pegmatit (1100-sviten)	4,7	6,1	3,5	0,38	0,81	3
61	Granit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten)	3,1	2,1	13,1	0,13	0,68	1
62	Granit, gnejsig (1560-sviten)	3,8	2,6	10,5	0,16	0,72	10
63	Granodiorit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten)	3,9	2,7	15,2	0,16	0,82	1
64	Granodiorit, gnejsig (1560-sviten)	2,7	2,5	9,5	0,15	0,58	6
65	Tonalit, gnejsig (1560-sviten)	2,3	2,0	7,8	0,12	0,48	1
66	Mafisk bergart, gnejsig (1560- och 1600-sviten)	1,3	1,3	1,0	0,08	0,21	2
71	Granit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)	3,1	4,0	10,4	0,25	0,70	1
73	Granodiorit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)	2,6	2,0	9,3	0,12	0,54	2
80	Ytbergartsgnejs, sedimentärt ursprung (Stora Le- Marstrandsgruppen)	3,0	3,1	14,1	0,19	0,73	6
81	Ytbergartsgnejs, vulkaniskt och sedimentärt ursprung (Åmålsgruppen)	3,6	2,6	14,9	0,16	0,79	2

* Bkod = Bergartskod. Denna baseras på bergartens stratigrafiskt läge och sammansättning.

TEKNISKA ANALYSER

Vid lokaler med en bergart som är representativ för ett större området har ca 55 till 80 kg berg provtagits för bergmaterialtester omfattande kulkvarnsanalys, Los Angeles-analys, micro-Devalanalys och alkalililikareaktivitet. Berget som provtagits har ej varit vittrat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket. Samtliga bergprover har tagits på platser där tillräckligt med lossprängd sten eller friska blottningar fun-

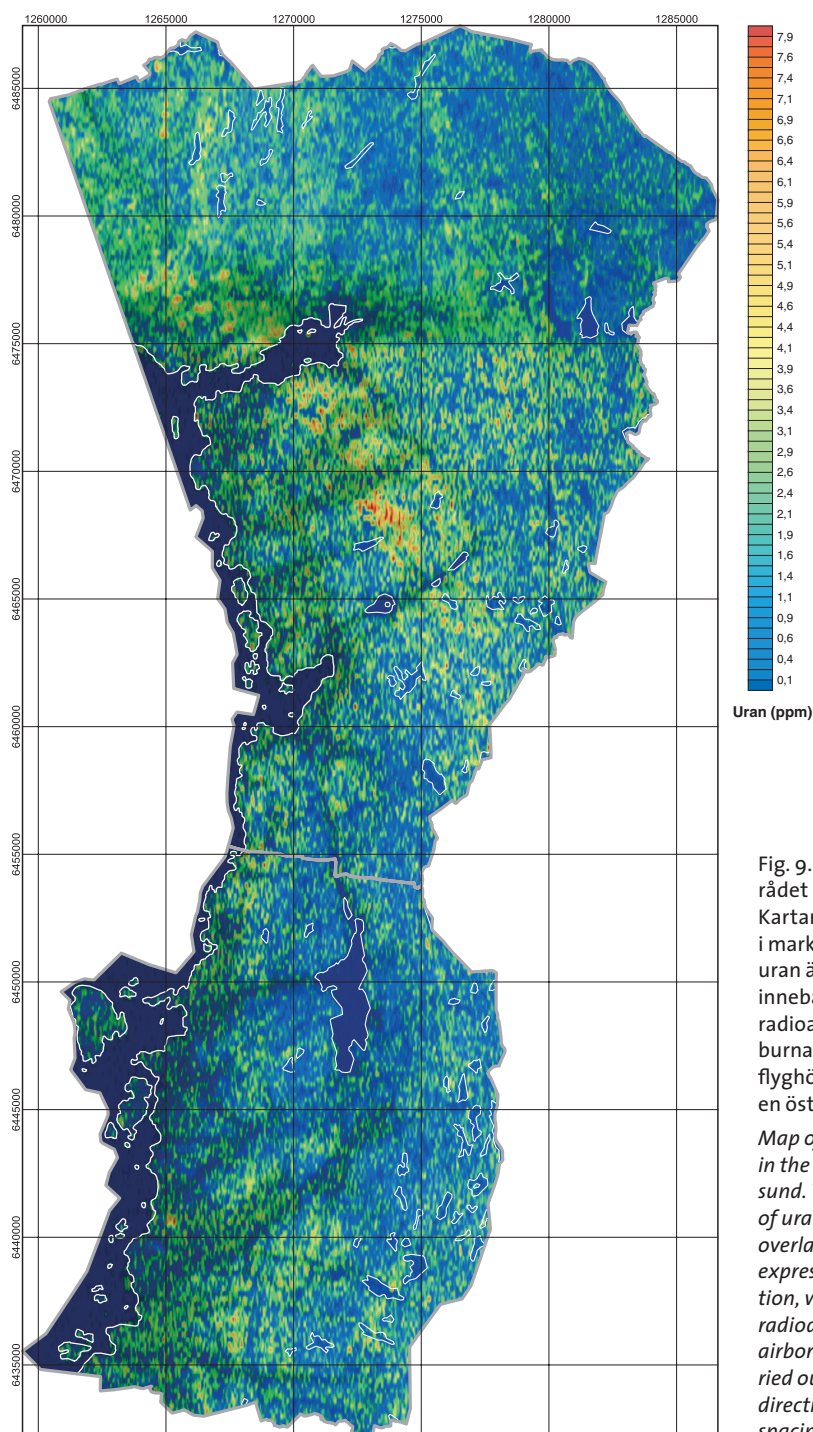


Fig. 9. Karta över markens uranhalt i projektområdet i Uddevalla och Stenungsunds kommuner. Kartan visar den beräknade fördelningen av uran i markens ytskikt överlagd på höjddata. Halten uran är uttryckt i ppm ekvivalent uranhalt, vilket innebär att den är beräknad under antagande av radioaktiv jämvikt. Kartan är baserad på flygburna mätningar utförda 1970-talet på 30 meter flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 meter och en öst-västlig flygriktning.

Map of Uranium concentration of the project area in the municipalities of Uddevalla and Stenungsund. The map shows the calculated distribution of uranium in the uppermost layer of the ground overlaid on topography data. The concentration is expressed in ppm equivalent uranium concentration, which is calculated under the assumption of radioactive equilibrium. The map is based on the airborne gamma-spectrometry measurements carried out in 1970 decade with an east-west flight-direction, 30 meter ground clearance and a line spacing of 200 meter.

nits, dvs. i bergsskärningar längs vägar eller vid byggplatser. Provtagning har skett med slägga och spett. Vid provtagning av de olika bergartsleden har stor vikt lagts vid att provmaterialet varit petrografiskt och bergtekniskt representativt för bergmaterialet vid provlokalen. Vid provtagning i bergtäkter har specifika bergprover tagits ut varför dessa provers egenskaper kan avvika från bulkmaterialets. En jämförelse med bergtäkternas produktionsdata och SGUs provresultat har gjorts i syfte att säkerställa klassificeringen av berget i dessa områden. Totalt har 41 prover från 37 olika lokaler tagits inom ramen för detta projekt. Gammalspektromettermätning har skett vid de flesta av dessa lokaler.

Utöver de inom projektet provtagna bergarterna har även de analyser som gjorts i närliggande kommuner: Ale (Eliasson m.fl. 2004a), Göteborg (Persson m.fl. 2000 b), Lilla Edet (Eliasson m.fl. 2004b),

Vänernsberg (Eliasson & Bastani 2004a), Trollhättan (Eliasson & Bastani 2004b), Lerum (Bergström m.fl., opublicerad), Härryda (M. Göransson m.fl., opublicerad), Mölndal (M. Göransson m.fl., opublicerad) och analysmaterial från kommunala krossbergsinventeringar (Ahlin 1987, 1996, Geologkonsult 1995) ingått i tolkningsmaterialet.

Kulkvarnsanalys

Kulkvarnsanalyserna har utförts enligt FAS Metod 259-02 (Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige vilket motsvarar SS-EN 1097-9 (Nordiska kulkvarnsmetoden). Krossning har utförts i en rotationskross med 30 mm utloppsspalt och i en laboratoriekäftkross med utloppsspalt inställd på 16 mm. Grovsiktning har skett i en maskinskak och finsiktning enligt FAS-metod 221-98. Analyserad fraktion är 11,2–16 mm. Harpsiktning har skett med spaltvidden 6,3 mm för att avlägsna de flisigaste kornen och erhålla ett flisighetstal (jfr. FAS-metod 209-98) som motsvarar storproduktionsdrift, då materialet nöts under längre tid. Analys har i första hand gjorts på enkelprov. Då analysresultaten hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden (se appendix 2) har dubbelprov utförts. Kulkvarnsvärdena (K_k) presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheter redovisas i tabell 7.

Kulkvarnsvärdet är ett mått på bergets nötningsmotstånd. De bästa resultaten ger Åmålsgruppens bergarter (6–11 %). I synnerhet bergarter med vulkaniskt ursprung (t.ex. TEN040011A, 6483850/1281950, $K_k = 6,4$ %) ger bra till mycket bra abrasionsvärden och skulle kunna lämpa sig som högrepresterande makadam för slitlagerytor med höga ÅDT-tal (årsdygnstrafik). En noggrann geologisk kartering bör dock göras eftersom vulkaniter ofta är heterogena med avseende på de tekniska egenskaperna. Även en del av 1100- och 1560-graniterna erhåller goda till mycket goda kulkvarnsvärden (8–13 %). Gemensamt för de bästa graniterna är att de vanligen deformerats plastiskt och utvecklat ett ojämnkornigt matrix vilket stärker och ”sammansvetsar” bergarten. Glimmerhalten är förhållandevis låg (mindre än 10 volymprocent) i bergproverna med lågt kulkvarnsvärde. Områdets sämsta bergarter är de i väster liggande, glimmer-

Tabell 7. Medelvärden av kulkvarnsvärde, Los Angeles-värde och micro-Devalvärde för de analyserade bergartsenheter i Uddevalla och Stenungsunds kommuner.

Mean values for the results of the studded tyre, Los Angeles and micro-Deval tests of rock units within the municipalities of Uddevalla and Stenungsund.

Bkod* Rcode	Bergartsenhet Rock unit	Kulkvarnsvärde % Studded tyre test value %			Los Angeles-värde % Los Angeles value %			Micro-Devalvärde % Micro-Deval value %		
		Spridning Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov No of samples	Spridning Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov No of samples	Spridning Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov No of samples
46	Granit–pegmatit (1100-sviten)	8–13	10,5	3	18–29	22,9	3	5–7	6,0	3
61	Granit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten)		13,7	1		24,8	1		9,7	1
62	Granit, gnejsig (1560-sviten)	8–13	10,6	9	19–28	22,9	9	5–8	6,8	7
63	Granodiorit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten)		20,9	1		24,7	1		14,7	1
64	Granodiorit, gnejsig (1560-sviten)	10–20	15,6	7	16–25	23,1	7	8–14	11,1	6
65	Tonalit, gnejsig (1560-sviten)	11–24	16,8	5	16–26	22,0	5	11–20	14,9	3
66	Mafisk bergart, gnejsig (1560- och 1600-sviten)	18–22	19,9	2	20–21	20,4	2		16,0	2
73	Granodiorit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)		16,9	1		26,6	1			
74	Tonalit, gnejsig och ådrad (1600-sviten)	19–23	21,4	2	22–23	22,9	2		13,5	1
80	Ytbergartsgnejs, (Stora Le-Marstrandsgruppen)	14–50	24,0	7	17–40	24,0	7	13–32	17,6	6
81	Ytbergartsgnejs, (Åmålsgruppen)	6–11	8,9	3	12–24	18,1	2	4–7	5,5	2

* Bkod = Bergartskod. Denna baseras på bergartens stratigrafiskt läge och sammansättning.

rika ytbergartsgnejserna tillhörande Stora Le-Marstrandgruppen ($K_k = 14\text{--}50\%$). Även 1600-svitens tonaliter ($K_k = 19\text{--}23\%$) liksom de mafiska bergarterna ($K_k = 18\text{--}21\%$) ger dåliga kulkvarnsvärden. Generellt sett ger 1560-svitens bergarter lägre (bättre) kulkvarnsvärden än 1600-svitens bergarter.

Los Angeles-analys

Krossning och siktning för Los Angeles-analys har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Detta har givit ett flisighetstal (samtliga bergartsmaterial) på 1,30–1,40, vilket gör laboratoriekrossat material jämförbart med material erhållet från storproduktionsdrift. Los Angeles-värdet (LA-värdet) har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-2. Resultaten presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheterna redovisas i tabell 7.

LA-värdet är ett mått på bergartens sprödhet. Spridningen av LA-värdena är, liksom för kulkvarnsvärdena, stor inom varje bergartsenhet. Alla prover utom en glimmerrik ytbergartsgnejs (TEN040005A) ger bra till godkända resultat ($LA < 30\%$). Det bästa resultatet, 11,6 %, erhåller en finkornig dacit tillhörande Åmålsgruppen (TEN040011A).

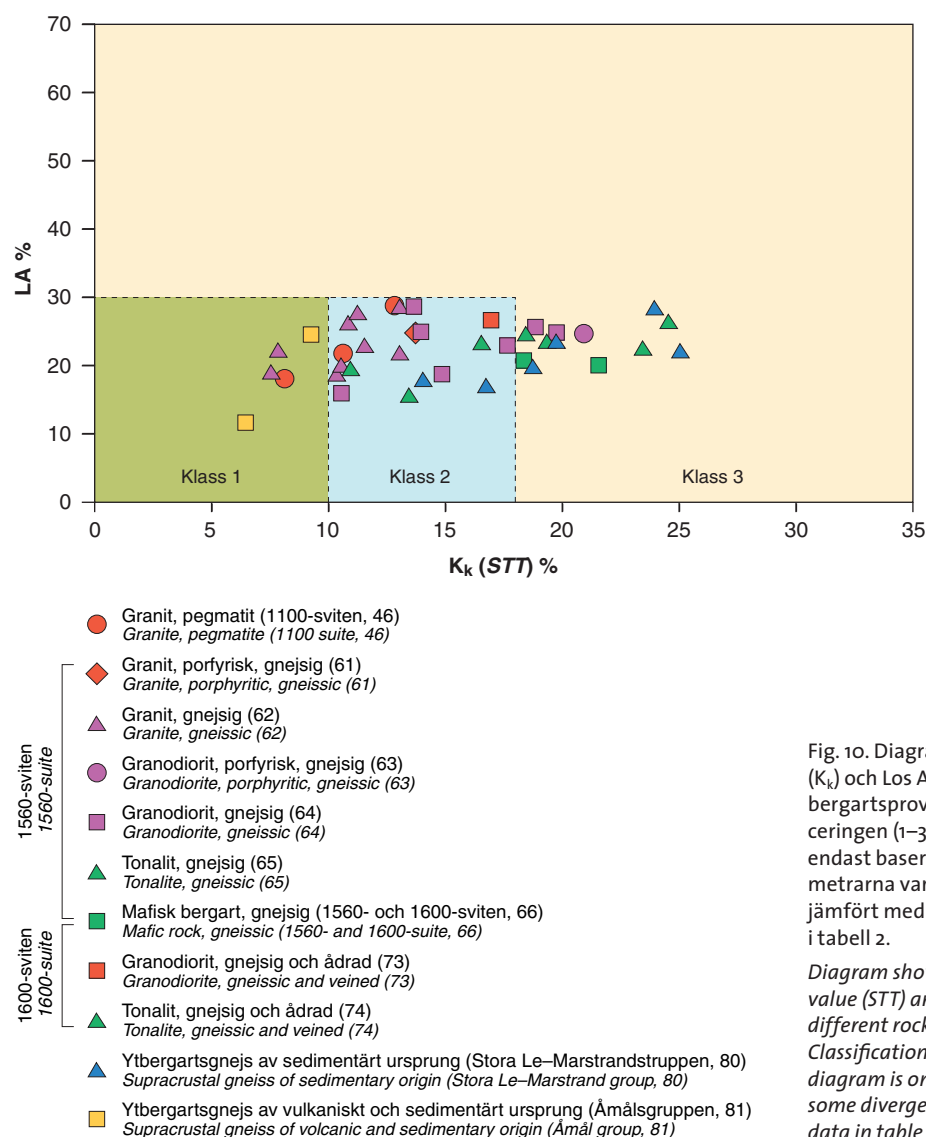


Fig. 10. Diagram som visar kulkvarnsvärde (K_k) och Los Angeles-värde (LA) för de olika bergartsproverna i kommunen. Klassificeringen (1–3) avser vägmakadam och är endast baserad på de ovanstående två parametrarna varför vissa avvikelser kan finnas jämfört med de övriga data som redovisas i tabell 2.

Diagram showing the studded tyre test value (STT) and Los Angeles-value (LA) for the different rock samples of the municipality. Classification (1–3) for road-material in the diagram is only based on LA and STT why some divergences may occur compared to the data in table 2.

Micro-Devalanalys

Micro-Devalvärdet (M_{DE}) är ett mått på bergets nötningsmotstånd och metoden är snarlik kulkvarnsmetoden. Obundna lager i vägkonstruktioner är kravsatta med M_{DE} -metoden och inom de närmsta åren kan denna helt komma att ersätta kulkvarnsmetoden, varför en lokal korrelation mellan de två metoderna anses vara nödvändig att göra. Krossning och siktning har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Micro-Devalvärdet (M_{DE}) har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-1. Då analysresultaten hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden (se bilaga 2) har dubbelprov utförts. Resultaten presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheterna redovisas i tabell 7.

Micro-Devalvärdena följer kulkvarnsvärdena mycket väl och korrelationen mellan dessa metoder för analysresultaten från kartområdet är $M_{DE} = 0,68 \times K_k + 0,3$ ($R^2 = 0,95$). Denna kan jämföras med den korrelation som erhöles av Stenlid (2000), $M_{DE} = 0,86 \times K_k - 2,71$ ($R^2 = 0,95$) och Bergström m.fl. (opublicerad), $M_{DE} = 0,77 \times K_k - 1,51$ ($R^2 = 0,97$).

Alkalisilikareaktivitet (ASR)

Alkalisilikareaktivitet (ASR) är en benägenhet (risk) att kvarts (kiseldioxid) i bergmaterial (ballasten) löses upp av starkt basiska, alkalina porlösningar i betong och bildar en alkalisilikagel (Lagerblad & Trädgårdh 1992). Gelen kan i vissa fall expandera och därmed innebära risk för att betongen spricker. Exempel på reaktiv kvarts och ogynnsamma texturer är i fallande reaktivitetsskala: Opal (amorf kvarts), cristobalit, tridymit, deformerad kvarts ("ribbon quartz"), suturerade kornfogar och mikrokristallin kvarts. En tregradig indelning har gjorts enligt RILEM AAR-1 (RILEM 2000a): 1. mycket osannolikt alkalireaktiv, 2. osäker eller potentiell risk, 3. mycket sannolikt alkalireaktiv. Resultaten presenteras i tabell 2.

Tunnslip av 37 prover har undersökts. Resultaten presenteras i tabell 2. Endast en bergart har bedömts tillhöra ASR-klass 3, nämligen en ytbergartsgnejs från sydvästra delen av Stenungsunds kommun (TEN050002A). Denna bergart bör testas vidare med expansionsförsök av betongprismor (RILEM, AAR-3, RILEM 2000b) för att avgöra dess lämplighet som betongballast. Starkt deformerade, mylonitiserade bergarter från t.ex. Bratteröd (6472000/1273500) strax söder om Uddevalla bedöms dock vara mycket alkalisilikareaktiva och bör undvikas som betongballast.

SAMMANSTÄLLNING AV BERGKVALITETSKARTAN

Med utgångspunkt från de analyser som gjorts på olika platser och som ansetts väl representera berggrunden inom undersökningsområdet har en karta över fördelningen av de olika bergkvalitetsklasserna gjorts. Med tanke på berggrundens heterogenitet blir sammanställningen helt naturligt översiktlig. Vanligen urskiljs områden med tre kvalitetsklasser, nämligen 1. god, 2. mindre god och 3. dålig kvalitet. Mer än 50 % av makadamproduktionen i Sverige går till vägbyggnation varför berggrund som är direkt olämplig för detta ändamål mindre intressant för tåktverksamhet. Därför baseras ytindelningen på bergkvalitetskartan främst på kulkvarnsvärdena i relation till de krav som ställs i ATB VÄG 2004 (Vägverket 2004). En bedömning har parallellt gjorts av övriga analysresultat (jfr Persson & Schouenborg 1995) såsom Los Angeles-värde, potentiell förekomst av alkalisilikareaktivt material samt geofysisk information. Det är viktigt att bergkvalitetskartan kompletteras med detaljundersökningar vid prospektering och planering för uttag av berg. Samtliga bergprover inom kartområdet, också de från lokaler där berggrunden är heterogen, är av enskilda bergartsled. De tekniska egenskaperna för enskilda prover från bergtäkter och markberedningsområdet med blandad berggrund kan följaktligen avvika från vad som erhålls i bergmaterial uttaget genom storproduktionsdrift.

Åmålgruppens bergarter har klassats som klass 1-material och utgör kommunernas bästa bergmaterial. I synnerhet de mycket finkorniga vulkaniska bergartsleden ger emellanåt mycket bra (6–11 %)

kulkvarnsresultat (en dacit ger det bästa resultatet, 6,2 %, ca 3 km nordnordöst om Lane-Ryr kyrka, TEN040011A). I västra delarna av Uddevalla och Stenungsunds kommuner dominerar berggrunden av Stora Le–Marstrandsgruppens ytbergartsgnejser. Dessa är ofta glimmerrika och ådergnejsomvandlade vilket gör att de tekniska egenskaperna är dåliga till mycket dåliga ($K_k > 18$ %). Enstaka kvarts-fältspat-rika lager (ursprungligen sandiga led) ger ibland något bättre resultat. Även finkorniga och deformerade granitoider kan ge kulkvarnsvärden under 10 % och har föranlett några klass 1-områden. Starkt deformerad berggrund har i många sammanhang bedömts vara av bättre kvalitet gentemot omgivande mindre deformerad berggrund på grund av den förres mer komplexa, starkare kornfogar.

Av de tre olika granitoidsviterna (1600-sviten, 1560-sviten och 1100-sviten) ger de i nordöst liggande, deformerade och glimmerfattiga varianterna av 1560-graniterna bäst resultat ($K_k = 7,8$ %, 2 km nordöst om Öresjö, TEN040021 och $K_k = 7,5$ %, 1 km nordväst om Lane-Ryr kyrka, TEN040002A). Även de i allmänhet grovt medelkorniga till grovkorniga, unga 1100-graniterna har varit utsatta för viss deformation vilket inverkar positivt på bergarternas sprödhetsegenskaper. De äldsta 1600-granitoiderna är i allmänhet kraftigt ådrade till migmatitiserade och är ibland svåra att skilja från intilliggande ytbergartsgnejser. Överlag har de något sämre tekniska egenskaper än de yngre granitoiderna.

De flesta bergarter i kommunerna bedöms klara M_{DE20} för vattenbyggnadssten. Enstaka glimmerrika varianter av gnejser från Stora Le–Marstrandsgruppen bedöms inte klara kategori M_{DE30} . Bergarter med densitet lägre än $2,63 \text{ g/cm}^3$ bedöms inte finnas i projektområdet (bilaga 2).

REFERENSER

- Banverket, 2004: BVS 585.52, *Makadamballast för järnväg*, Eva-Lotta Olsson, 2004-09-01, 29 s.
- Boverket, 2004: *Boverkets handbok om betongkonstruktioner*, BBK 04, 271 s.
- BFS, 1990: Nybyggnadsregler ändringar. *Boverkets författningssamling, BFS 1990:28, nr. 2*. Stockholm, ISBN 91-38-12510-2, 41 s.
- Swedish concrete association, 1991. Durable concrete structures. *Concrete Report No. 1 (E)*. *Swedish Concrete Association*, 55 s.
- Eliasson, T. & Bastani, M., 2004a: Beskrivning till bergkvalitetskartan Vänersborgs kommun. *Sveriges geologiska undersökning Ba 72 Bk*, 28 s.
- Eliasson, T. & Bastani, M., 2004b: Beskrivning till bergkvalitetskartan över Trollhättans kommun. *Sveriges geologiska undersökning Ba 71 Bk*, 22 s.
- Eliasson, T., Bastani, M. & Göransson, M., 2004a: Beskrivning till bergkvalitetskartan Ale kommun. *Sveriges geologiska undersökning Ba 69 Bk*, 22 s.
- Eliasson, T., Bastani, M. & Göransson, M., 2004b: Beskrivning till bergkvalitetskartan över Lilla Edets kommun. *Sveriges geologiska undersökning Ba 70 Bk*, 24 s.
- FAS-metod 209-98: Bestämning av flisighetstal. *Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige*, 6 s.
- FAS-metod 210-01: Bestämning av sprödhetstal. *Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige*, 5 s.
- FAS-metod 221-98: Bestämning av kornstorleksfördelning genom siktningsanalys. *Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige*, 7 s.
- FAS-metod 244-99: Bestämning av LT-index. *Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige*, 5 s.
- FAS-metod 259-02: Bestämning av kulkvarnsvärde. *Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige*, 5 s.
- Gorbatshev, R., 1987: Berggrundskartan 8B Vänersborg NO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 156*.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1985: Suggested method for determining point load strength. International society for rock mechanics, commission on testing methods. *International journal of rock mechanics and mining sciences and geotechnical abstracts* 22, 51–60.
- Lagerblad, B. & Trädgårdh, J., 1992: Alkalisilikareaktioner i svensk betong. *Cement och Betong Institutet. CBI rapport 4:92*, 74 s.
- Lagerblad, B., & Trädgårdh, J., 1995: Ballast för betong. *Cement och Betong Institutet. CBI rapport 4:95*, 78 s.

- Lundqvist, I., 1997a: Beskrivning till berggrundskartan 8B Vänersborg SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 160*, 104 s.
- Lundqvist, I., 1997b: Beskrivning till berggrundskartan 6B Kungsbacka SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 187*, 88 s.
- Lundqvist, I. & Skiöld, T., 1993: U-Pb zircon dating of volcanic rocks of the Åmål Group, western Sweden. I T. Lundqvist: Radiometric dating results. *Sveriges geologiska undersökning C 823*, 24–31.
- Lundqvist, T., Bygghammar, B., Stephens, M.B., Beckholmen, M. & Norling, E., 1995: *Berg och jord*. Sveriges Nationalatlas (digitalt format, karta publicerad i skala 1:1 250 000).
- McEnroe, S.A., Harrison, R.J., Robinson, P., Goila, U. & Jercinovic, M.J., 2001: Effect of fine-scale microstructures in titanohematite on acquisition and stability of natural remanent magnetization in granulite facies metamorphic rocks, southwest Sweden: implications for crustal magnetism. *J. Geophys. Res.* 106, 30523–30546.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Pamnert, M., 1998a: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 202 Bk*, 16 s.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Pamnert, M., 1998b: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 203 Bk*, 15 s.
- Persson, L., Göransson, M., Lundqvist, S., Pamnert, M. & Sträng, T., 1998c: Beskrivning till bergkvalitetskartan 11G Västerås SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 204 Bk*, 18 s.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Sträng, M., 2000a: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 209 Bk*, 22 s.
- Persson, L., Eliasson, T., Göransson, M., Kero, L., Lundqvist, S. & Sträng, M., 2000b: Beskrivning till bergkvalitetskartan över Göteborgs kommun. *Sveriges geologiska undersökning Ba 59 Bk*, 20 s.
- Persson, L. & Schouenborg, B., 1995: Kvalitetsklassning av bergarter N Stockholm, del 2. SP, *Sveriges Provning- och Forskningsinstitut, Byggnadsteknik, SP Rapport 1995:49*, 42 s.
- Persson, L. & Schouenborg, B., 1996: Quality classification of rock in Sweden. *European Aggregates. Official Journal of UEPG, Union Européenne des Producteurs de Granulats. UEPG*, 2–3/96, 32–37.
- RILEM Recommended test method AAR-1, 2000a: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method, *Materials and structures* 36, 480–496.
- RILEM Recommended test method AAR-3, 2000b: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – method for aggregate combinations using concrete prisms, *Materials and structures* 33, 290–293.
- Samuelsson, L., 1978a: Berggrundskartan 7B Göteborg SO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 117*.
- Samuelsson, L., 1978b: Beskrivning till berggrundskartan 7B Göteborg SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 117*, 85 s.
- Samuelsson, L., 1985a: Berggrundskartan 7B Göteborg NO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 136*.
- Samuelsson, L., 1985b: Beskrivning till berggrundskartan 7B Göteborg NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 136*, 101 s.
- Samuelson, L. & Lundqvist, I., 1985: Berggrundskartan 8B Vänersborg SO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 160*.
- Samuelsson, L. & Åhäll, K.-Å., 1985: Berggrundskartan 7A Marstrand NO/7B Göteborg NV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 146*.
- Samuelsson, L. & Åhäll, K.-Å., 1990: Berggrundskartan 8A Lysekil SO/8B Vänersborg SV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 173*.
- Stenlid, L., 1996: Klassificering av bergarter med Los Angeles-trumma. *Slutrapport SBUF projekt nr 2135*. Skanska Mellansverige AB, Väglaboratoriet Bålsta. 84 s.
- Stenlid, L., 2000: Utvärdering av micro-Devalmetoden. *Slutrapport SBUF projekt nr 5002*. Skanska Sverige AB, Vägtekniskt Centrum Nord, Bålsta. 16 s.
- Svensk Standard, 1997a: SS-EN 1097-1: Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval). *Standardiseringen i Sverige*, 11 s.

- Svensk Standard, 1997b: SS-EN 1097-2: Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 2: Bestämning av motstånd mot sönderdelning. *Standardiseringen i Sverige*, 29 s.
- Svensk Standard, 2000: SS-EN 1367-1: Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing. *Standardiseringen i Sverige*, 14 s.
- Svensk Standard, 2002: SS-EN 13383-1: Armourstone – Part 1: Specification. *Standardiseringen i Sverige*, 40 s.
- Svensk Standard, 2003: SS-EN 13450: Makadamballast för järnväg. *Standardiseringskommissionen i Sverige*, 35 s.
- Svensk Standard, 2004a: SS 137003: Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige. *Standardiseringen i Sverige*, 19 s.
- Svensk Standard, 2004b: SS-EN 933-4: Ballast - Geometrisk egenskap – Del 4: Bestämning av kornform - LT-index. *Standardiseringen i Sverige*, 11 s.
- Svensk Standard, 2004c: SS-EN 1097-6: Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption. *Standardiseringskommissionen i Sverige*, 3 s.
- Svensk Standard, 2004d: SS-EN 1097-9: Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 9: Bestämning av motstånd mot nötning av dubbdäck (Nordiska kulkvarnsmetoden). *Standardiseringen i Sverige*, 12 s.
- The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 2000: *Naturally occurring radioactivity in the Nordic countries – recommendations*. ISBN 91-89230-00-0, 81 s.
- Trädgårdh, J. & Lagerblad, B., 1996: Influence of ASR cracking on the frost resistance of concrete. *Cement och Betong Institutet. CBI rapport 1:96*, 48 s.
- Wik, N.-G., Lundqvist, I., Selinus, O., Sivhed, U., Sundberg, A. & Wikström, A., 2002: Malmer, industriella mineral och bergarter i Västra Götalands län, inklusive kommunerna Habo och Mullsjö. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 108*, 231 s.
- VVMB 613, 2001: Bestämning av glimmerhalt i materialets finfraktion, Vägverkets metodbeskrivningar till ATB Väg, *VV Publ. 2001:100*, Borlänge, 8 s.
- Vägverket 2004: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion *ATB VÄG 2004 Publ 2004:111*, 541 s.
- Åkerblom, G., Petterson, B. & Rosén, B., 1990: Markradon. Handbok för undersökning av markradonförhållanden. *Byggforskningsrådets rapport R85:1988, reviderad utgåva 1990*, 160.

GEOFYSISK METODIK

Kartområdet Uddevalla och Stenungsunds kommuner är täckta med moderna flyggeofysiska mätningar (magnetiska, elektromagnetiska och radiometrisk) samt med tyngdkraftsmätningar. Flygmätningarna utfördes under åren 1975 till 1979 med 200 meters linjeavstånd, 16–40 meters mätpunktsavstånd och 30 eller 60 meters flyghöjd (60 m från och med 1995). Flyggeofysiska mätningar används bl. a. för geologisk kartering (litologi och strukturer i berggrunden) och regionaltektonisk forskning. Mer specifikt kan flyggeofysiska data användas bl.a. vid en bedömning av potentiella sprickzoner i berggrunden, för att lokalisera områden med förhöjd gammastrålning samt för att planera de geofysiska markmätningarna. Markbundna undersökningar blir vanligen mest effektiva när de används för att undersöka avvikelser som upptäckts med flyggeofysiska mätningar.

Vid flygmagnetiska mätningar uppmäts det jordmagnetiska fältets totalintensitet. Flygmagnetiska undersökningar visar lokala och regionala störningar av magnetfältet orsakade av magnetiska mineral i berggrunden, huvudsakligen magnetit. Störningar i det magnetiska mönstret kan t.ex. indikera förkastningar i berggrunden. Lågmagnetiska linjära zoner indikerar ofta sprickzoner i berggrunden.

Vid flygelektromagnetiska mätningar (VLF) uppmäts den magnetiska komponenten av signalen från en avlägsen radiosändare i VLF-bandet (very low frequency, 10–30 kHz). Metoden används för att detektera elektriskt ledande strukturer i berggrunden såsom vattenfyllda sprickzoner eller förekomst av elektriskt ledande mineral som t.ex. grafit och magnetkis. Fram till början av 1990-talet registrerades vanligen endast VLF-fältet från en sändare. En nackdel med dessa data är att responsen är beroende av riktningen till sändaren, dvs. ledande strukturer som sträcker sig vinkelrät mot riktningen till sändaren kan inte identifieras. Vid flygmätningarna över kartområdet utnyttjades endast en sändare (fig. 4). Numera utförs VLF-mätningar med två sändare samtidigt och den riktningsberoende effekten har eliminerats. Det är möjligt att beräkna jordens elektriska resistivitet från VLF-data vilket innebär att det nu är lättare att urskilja resistiva bergartsenheter från mer konduktiva strukturer. Kombinationen av VLF-data och magnetiska data är även ett utmärkt underlag för uppföljning av till exempel grafit- och magnetkisförande stråk i områden med metasedimentär berggrund.

Flygstrålningsdata baseras på gammastrålning från sönderfall av de naturliga radioaktiva grundämnena kalium (^{40}K), uran (^{238}U) och torium (^{232}Th) inom de översta decimetrarna av marken. Ett användningsområde för de radiometrisk flygmätningarna är att identifiera områden med förhöjd gammastrålning (fig. 9). Halten av framförallt uran kan påverka bergartens användbarhet till betongballast.

Vid SGUs tyngdkraftsmätningar mätes den vertikala komponenten av gravitationsfältet. Avvikelser i fältet från ett referensfält (referensgeoidfält), s.k. Bougueranomali, avspeglar variation av berggrundens densitet. Mätningarna används främst vid berggrundskartläggning och vid prospektering efter malmer.

KVALITETSKLASSNING AV PROVER

En bedömning har gjorts av användbarheten av analyserade prover (tab. 2) till betongballast, makadamballast för järnväg och vägmakadam (jfr Persson och Schouenborg 1995, 1996). Erhållna tekniska analyser har även jämförts med det stora antal som redovisats av Stenlid (1996), Eliasson & Bastani (2004a, b), Eliasson m.fl. (2004a, b) och av Persson m.fl. (2000b).

Kulkvarns- och micro-Devalanalys har utförts som enkelprov i de fall resultatet inte hamnat inom intervallen 9–11 och 17–24 % för kulkvarn samt 19–26 % för micro-Deval, då dubbelprov analyserats.

En god korrelation finns mellan sprödhetstal (s, 8–11 mm, FAS-metod 210-01) och LA-värde (LA, 10–14 mm), $s = 0,82 \times LA + 26,1$ alt. $s = 20,9 \times \ln(LA) - 19,2$, (Stenlid 1996) av vilken anledning det förra kan uppskattas med hjälp av det senare.

Vägmakadam

Kvalitetsklassningen för användning av stenmaterial i väg grundar sig på av Vägverket (2004) fastställda krav i ATB VÄG 2004. Följande generella indelning har använts som utgångspunkt för klassindelningen för vägmakadam:

1	Berget bedöms kunna användas både som slitlager*, massabeläggningar, bärlager och förstärkningslager. Kulkvarnsvärde <10 % och Los Angeles-värde <30 %. * = Ej till slitlayerskikt för vägar med höga ÅDT-tal (motorvägar etc.) för vilka det krävs <7 % K _k . Se vidare krav i ATB VÄG 2004.
1,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 1 och 2.
2	Färre beläggningstyper för slitlager än klass 1, massabeläggningar, bärlager och förstärkningslager. Kulkvarnsvärde <18 % och Los Angeles-värde <30 %. Se vidare krav i ATB VÄG 2004.
2,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 2 och 3.
3	Produktion som slitlager och massabeläggningar är starkt begränsad till obefintlig. Bärlager och förstärkningslager är fortfarande möjligt. Kulkvarnsvärde >18 % eller Los Angeles-värde >30 %. Se vidare krav i ATB VÄG 2004.

Makadamballast för järnväg

Kvalitetsklassningen för användning av stenmaterial som makadamballast för järnväg grundar sig på krav uppställda av Banverket (2004). Kraven är en nationell av Eu:s produktstandard för ”Makadamballast för järnvägar” (SS-EN 13450). Glimmerhalten bör vara låg (<25 %), då glimmer vanligtvis sänker hållfastheten, minskar bergartens förmåga att motstå vittring samt ger olämplig kornform vid alltför höga koncentrationer. Kvartsrika bergarter ska undvikas på grund av arbetsmiljöskäl. Motstånd mot fragmentering skall minst uppfylla kraven för kategori LA_{RB}20 (Los Angeles-värde ≤20 viktsprocent), bestämd på fraktion 31,5–50 mm (vilket ungefär motsvarar ett LA-värde på 30 %, bestämd på 10–14 mm). Vattenabsorptionen (enligt SS-EN 1097-6) får inte överstiga 1 %. Den färdiga produkten bör ha en så kantig, kubisk form som möjligt. LT-index (SS-EN 933-4) ska vara lägst 20. Detta krav är en mildring mot det tidigare LT (3) kravet (FAS-metod 244-99). Vidare finns krav på kornlängden införda i BVS 585.52 (Banverket 2004).

Klass 1 uppfyller alla nämnda krav, medan klass 2 har sämre tekniska egenskaper eller hög glimmerhalt vilket bl.a. påverkar frostbeständigheten. Klass 3 har dåliga tekniska egenskaper (framförallt hög till mycket hög sprödhet). Följande generella indelning har använts som utgångspunkt för klassindelningen för makadamballast för järnväg:

1	Berget bedöms vara lämpligt som makadamballast för järnväg. Berget bedöms klara alla av Banverket föreskrivna krav för makadamballast (BVS 585.52) såsom sprödhetsal <50 % alt. Los Angeles-värde (fraktion 10–14) <30 %, glimmerhalt <15 % (utan olämplig textur som spaltbara glimmerplan), ej kvartsit, vattenabsorption <1 %.
1,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 1 och 2.
2	Berget bedöms kunna användas som makadamballast för järnväg. Glimmerhalt > 15 % alternativt heterogena partier med lokalt kraftigt förhöjd glimmerhalt. Svårt att uppfylla övriga krav enligt klass 1.
2,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 2 och 3.
3	Berget bedöms inte kunna användas som makadamballast för järnväg. Berget bedöms inte klara alla av Banverket föreskrivna krav för makadamballast (BVS 585.52) såsom sprödhetsal <50 % alt. Los Angeles-värde (fraktion 10–14) <30 %, glimmerhalt <25 %, ej kvartsit, vattenabsorption <1 %.

Betongballast

Kvalitetsklassningen av berg för betong är främst baserad på en samlad bedömning av kvalitativa parametrar. Det som har legat till grund för klassningen är strålning, mineralsammansättning (t.ex. glimmerinnehåll), omvandlingsgrad, förekomst av alkalisilikareaktivt material och sulfider (se vidare Lagerblad & Trädgårdh 1995, Trädgårdh & Lagerblad B 1996, EN 206-1, SS 137003, SS-EN 1097-6, Swedish concrete association 1991 och Boverket 2004). Tre klasser har använts (1–3). Klass 1 omfattar bergarter med normalt goda egenskaper för betongberedning, klass 2 bergarter har tämligen goda egenskaper men bör ej användas i betongaggressiv miljö utan förprovning, klass 3 bergarter har generellt dåliga egenskaper och bör undvikas eller eventuellt förprovas. Bergarter för högtrafikerade betongvägar kräver materialkvalitet motsvarande kvartsit eller porfyr. Följande generella indelning har använts som utgångspunkt för klassindelningen för betongballast:

1	Berget bedöms vara lämpligt som betongballast. Berget bedöms klara föreskrivna krav eller rekommendationer såsom låg till moderat glimmerhalt, låg halt av vittringsbenägna och skadliga mineral (sulfider, salter, svällare, alkalisilikareaktiva mineral (se RILEM AAR-1) etc.), låg porositet, vattenabsorption <1,0 %. Ballasten bör dessutom ej överstiga 1,0 i radiumindex eller 2,0 i gammaindex.
1,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 1 och 2.
2	Berget bedöms kunna användas som betongballast. Heterogena partier med lokalt kraftigt förhöjd glimmerhalt. Svårt att uppfylla övriga krav enligt klass 1.
2,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 2 och 3.
3	Berget bedöms inte kunna användas som betongballast. Berget bedöms inte klara föreskrivna krav eller rekommendationer såsom låg till moderat glimmerhalt, låg halt av vittringsbenägna och skadliga mineral (sulfider, salter, svällare, alkalisilikareaktiva mineral (se RILEM AAR-1) etc.), låg porositet, vattenabsorption <1,0 %, radiumindex <1,0 eller <2,0 i gammaindex.

Vattenbyggnadssten

Vid användandet av vattenbyggnadssten (grova aggregat som används i vattenmiljö t.ex. som erosionskydd vid havskust, i sjöar eller vid vattendrag) finns olika krav på bl.a. microDevalvärdet, densitet, tryckhållfasthet och vattenabsorption beroende på vilken typ av hyraulisk miljö som ett bergmaterial skall placeras i (SS-EN 13383-1, Svensk Standard 2002). Om vattenabsorptionen för ett bergmaterial som ska användas som vattenbyggnadssten överskrider 0,5 % ($WA_{0,5}$) krävs normalt att en frys-töprovnings (SS-EN 1367-1, Svensk Standard 2000) utförs. Vattenbyggnadssten skall också vara fri från framträdande diskontinuiteter såsom sprickor, ådror, lamineringar, foliationsplan, bergartskontakter m.m. vilka anses kunna resultera i en uppsprickning av aggregatet i samband med avlastning, utplacering eller belastning.