

Beskrivning till bergkvalitetskartan del av Mölndals kommun

Mattias Göransson, Ulf Bergström
& Hossein Shomali



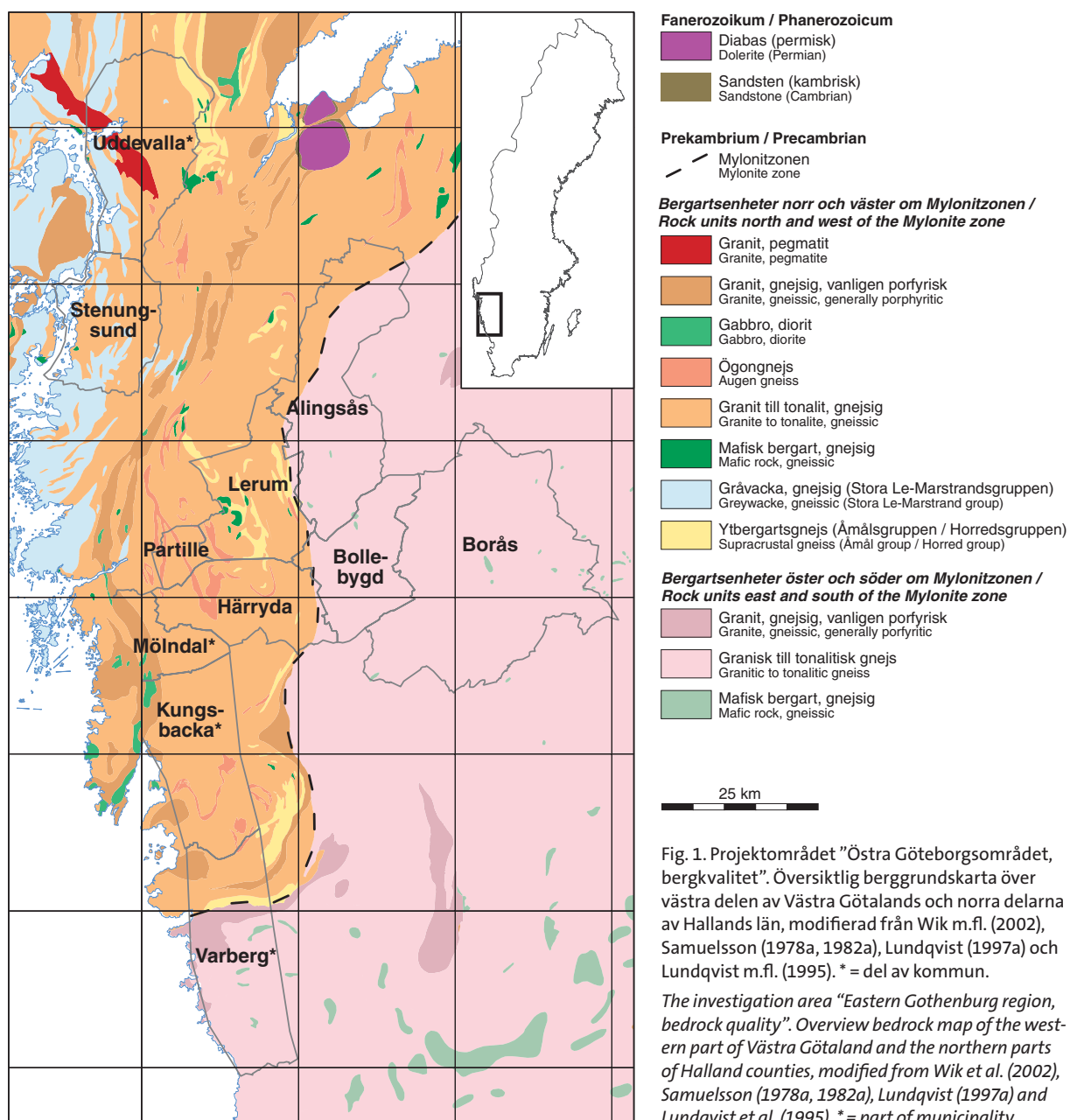
ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-777-0

Omslagsbild: Röd, finkornig, granit (RA-granit) genomslagen av decimeter- till meterbreda mafitgångar. Sprickplanen följer ofta de öppna kontaktytorna mellan bergarterna. Kållereds bergtäkt, 6392079/1276576. Foto Mattias Göransson.

© 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 översiktsplaneringen ska bergkvalitetskartan kunna erbjuda ett geologiskt underlag för framtida markanvändning och underlätta övergången från grusproduktion till krossbergsproduktion. Bergkvalitetsundersökningen i Mölndals kommun är en del av projektet "Östra Göteborgsområdet, bergkvalitet", vilket påbörjades år 2003 och slutfördes under 2006. Undersökningen av bergkvalitet inom hela projektområdet innefattar även kommunerna Alingsås, Bollebygd, Borås, Härryda, Kungsbacka, Lerum, Partille, Stenungsund, Uddevalla och Varberg (fig. 1). Bergkvalitetskarter över delar av Stockholms- och Göteborgsregionerna är redan utgivna (Persson 1998a, b, c, Persson m.fl. 1998a, b, c, Persson m.fl. 2000a, b, c, Eliasson & Bastani 2004a, b och Eliasson m.fl. 2004a, b).



Arbetet med bergkvalitetskartan inom Mölndals kommun har föregåtts av en generell läges- och behovsanalys för 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 omfattar 107 km² (hela Mölndals kommun är 147 km²) med en befolkning på ca 56 137 invånare (hela kommunen). Inom Västra Götalands län är det bara kommunerna Göteborg och Borås som har en större folkmängd. Dessutom är det bara kommunerna Göteborg, Partille och Öckerö som är mer tätbefolkade. I undersökningsområdet finns bl.a. de större orterna Lindome, Källered, Hällesåker, Inseros, Greggered, Knipered, Fagered, Gunnebo, Hassungared och Mölndal.

I Källered ligger Mölndals kommuns enda bergtäkt (se fig. 2). Bergarten som bryts är en fint medelkornig granit, s.k. RA-granit, (se vidare under bergartsbeskrivning, prover från platsen är MGO035032A och B) med tillhörande mafiska gångar och linser. Graniten uppvisar vanligen en dynamiskt omkristalliserad textur vilket ger ett lågt (bra) kulkvarnsvärde. Täckten ägs av Jehander och har varit i drift sedan 1939. Ett nyligen förlängt täktillstånd sträcker sig fram till 2020. Under den perioden får 26 miljoner ton bergmaterial brytas i täkten. Täckten förser, bortsett från Mölndals kommun, även södra Göteborgs och norra Kungsbackas kommuner med makadam.

De tryckta berggrundskartorna i skala 1:50 000, 7B Göteborg SO (Samuelsson 1978) och 6B Kungsbacka NO (Samuelsson 1982) med beskrivningar och 7B Göteborg SV (Lundqvist, kartbladet Göteborg SV, SGUs kartdatabas) täcker undersökningsområdet. Berggrunden i kommunen består av prekambrisk bergarter (fig. 3). ursprungligen bildade för ca 1 620 till 1 300 miljoner år sedan.



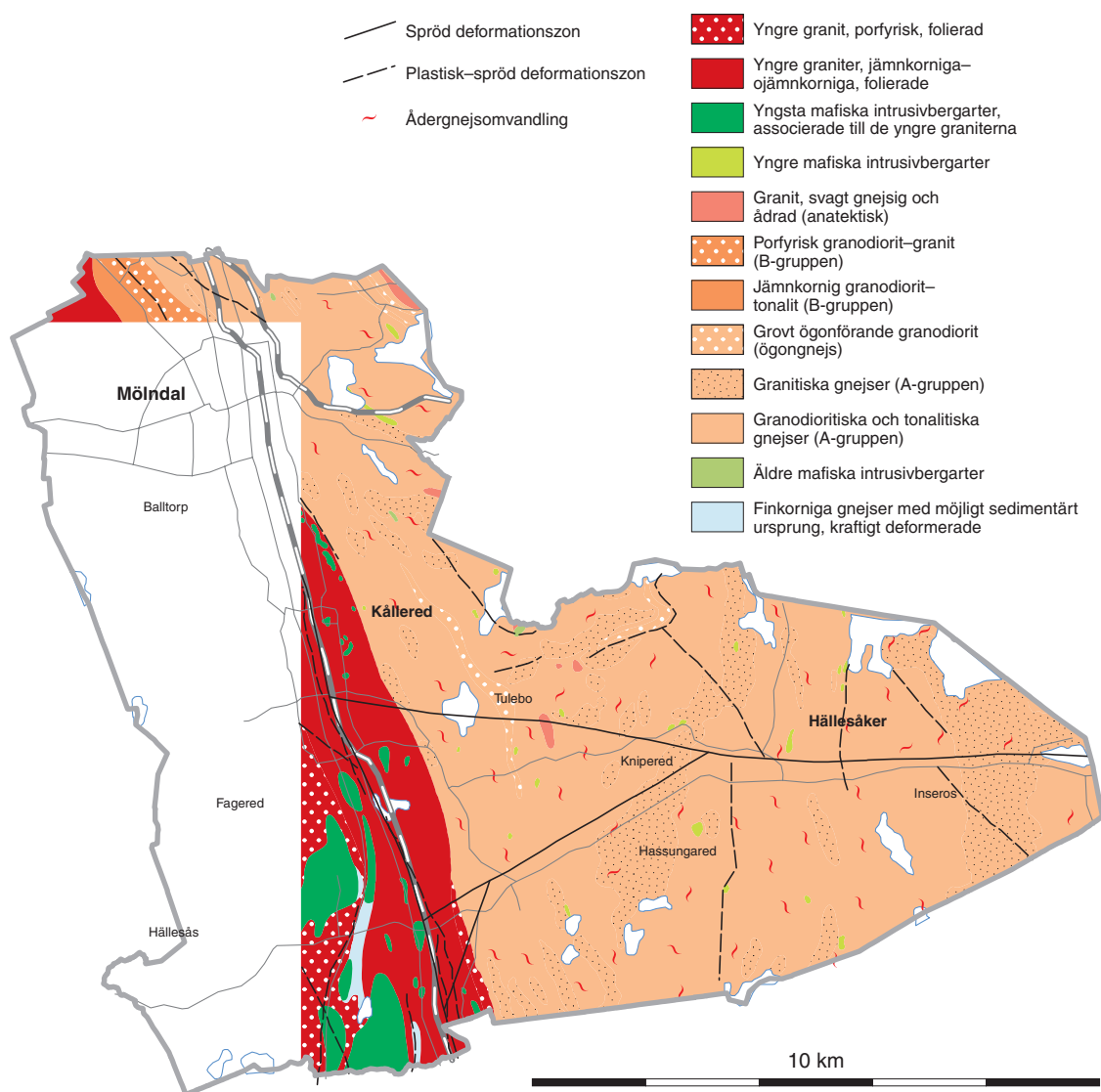
Figur 2. Källered's bergtäkt strax öster om E6:an. Ortofoto.
Källered rock quarry east of E6. Ortho-photo.

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 70 kg bergmaterial provtagits för teknisk analys. Dessutom har det gjorts mätningar av sprickplanens riktning samt en bedömning av spricktätheten. Poletrade tunnslip har framställts av bergarter från varje provplats och petrografisk analys, ASR-analys (alkali-silikareaktivitetsanalys) och modalanalys 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. Gammastrålningsmätningar har utförts vid alla provlokaler. Samtliga petrografiska data redovisas i tabell 1 och samtliga tekniska analysvärden visas i tabell 2.

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



Figur 3. Förenklad berggrundskarta över Mölndals kommun, modifierad från Samuelsson (1978, 1982) och SGUs kartdatabas.
Simplified bedrock map of Mölndal municipality, modified from Samuelsson (1978, 1982) and SGU's bedrock map database.

bergartens interna svaghetsstrukturer efter vilken riktning uppsprickning lätt sker, t.ex. i samband med sprängning. Många av zonerna är tolkade från de flyggeofysiska kartorna. 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 stupningsriktningar. Det är dock viktigt att notera att lineamenten inte alltid 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 289 brunnar i databasen och i 23 av dessa är jorddjupet större än eller lika med 10 m. Ett största jorddjup på mer än 43 m finns i en brunn vid Hällesåker (6392250/1283370).

ALLMÄN GEOLOGI OCH GEOFYSIK

Den tämligen välblottade berggrunden är genomskuren av Mölndalsåns nordnordvästliga och Lindomeåns ost–västliga sprickdalar.

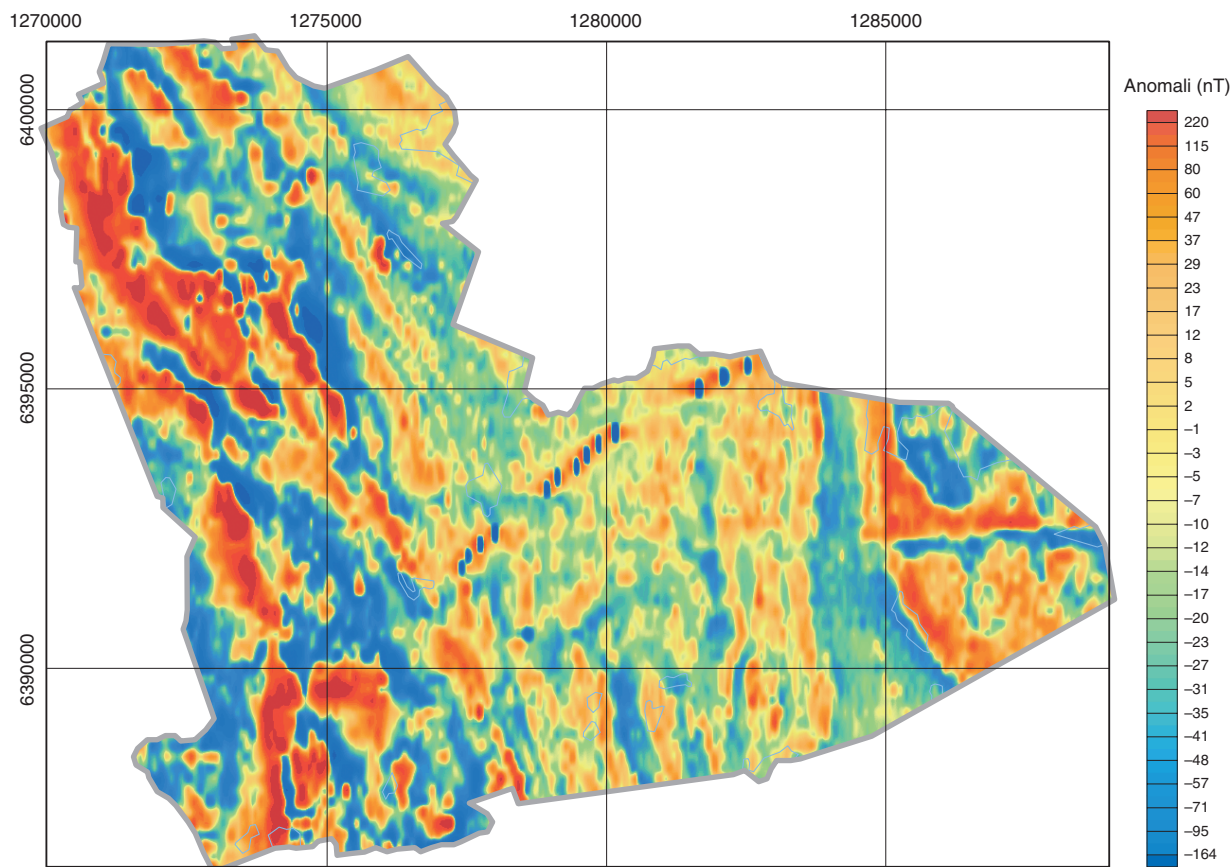
Berggrunden inom Mölndals kommun domineras av bergarter som tillhör det s.k. Västra segmentet vilket utgörs av en samling gnejsiga och vanligen ådrade bergarter som har en ålder mellan 900 och 1 600 miljoner år. Bergarterna inom undersökningsområdet uppvisar olika magnetiseringsnivåer, vilket återspeglas vid en jämförelse mellan den berggrundsgeologiska (fig. 3) och den flygmagnetiska kartan (fig. 4). Den sistnämnda visar magnetfältet efter filtrering för att framhäva anomalier orsakade av ytliga strukturer (på djup ned till ca 250 m). De gnejsiga graniter (yngre s.k. C-graniter, ca 1 300 miljoner år gamla) som dominerar i den västra delen av kommunen ger upphov till ett oregelbundet, men generellt högmagnetiskt, anomalimönster med en nordvästlig strukturell trend. I östra delen av kartområdet förekommer flera anomalier huvudsakligen orsakade av högmagnetiska, nord–sydligt strykande graniter, vilka har tolkats utgöra en del av en regional veckstruktur. I den mellersta delen av undersökningsområdet framträder några anomalier som indikerar medel- till lågmagnetiska, nord–sydligt strykande bergartsled av regional karaktär. Susceptibiliteten för de vanligaste förekommande bergartsleden redovisas som medelvärden i tabell 3.

Det vanligaste bergartsledet består till största delen av grå, gnejsiga och ådrade bergarter av tonalitisk, granodioritisk och granitisk sammansättning tillhörande den s.k. A-sviten som är ca 1 600 miljoner år. Dessutom förekommer långa band av de s.k. ögongnejserna, vilka är ungefär jämnåriga med A-sviten och som kännetecknas av stora röda mikroklinporfyroblaster. Bland de yngre bergarter som förekommer inom kartområdet finns graniter med oklar ålder som antas ha bildats genom uppsmältning av de äldre bergarterna och som skär en del av de äldre bergarternas strukturer. Dessutom finns ett stort antal mindre, yngre gabbroidkroppar och gångar av pegmatit.

I de västra delarna av Mölndals kommun uppträder ett bälte av yngre magmatiska bergarter inklusive röda mikroklinporfyriska graniter (s.k. Askimsgranit), röda jämnkorniga till ojämnkorniga graniter med högre strålningsnivåer (RA-granit) och likåldriga mafiska bergarter. Dessa kallas gemensamt C-svitens bergarter. De har daterats till en ålder av ca 1 310–1 330 miljoner år och bältet fortsätter upp längs Götaälvdalen till Dalsland. Inom detta yngre granitbälte uppträder också finkorniga gnejser vilka tolkats som någon form av ytbergartsgnejs.

Området har utsatts för repetitiv högtemperaturdeformation och metamorfos, varvid de äldre bergarterna har erhållit en foliation och gnejsighet, omkristalliserats, ådergnejsomvandlats och till viss del migmatitiserats. Äldre foliationsriktningar har senare veckats och därefter överpräglats av yngre deformationsmönster. Magnetfältskartan (fig. 4) visar ett bandat anomalimönster som avspeglar berggrundens nordnordvästliga till nordvästliga, långsträckta strukturer.

Inom Mölndals kommun finns flera kraftiga deformationszoner som stryker parallellt med Mölndalsåns dalgång och uppträder i flera olika bergarter. De flesta magnetiska lineamenten har en nord–sydlig utsträckning och projektets tolkningsarbete visar att flera av dem sammanfaller med mylonitzoner på berggrundskartan.



Figur. 4. Magnetisk anomalikarta över Mölndals kommun. Magnetiska data är reducerade till epok 1965.0. 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 1974 på 30 meters flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 meter och en öst-västlig flygriktning.

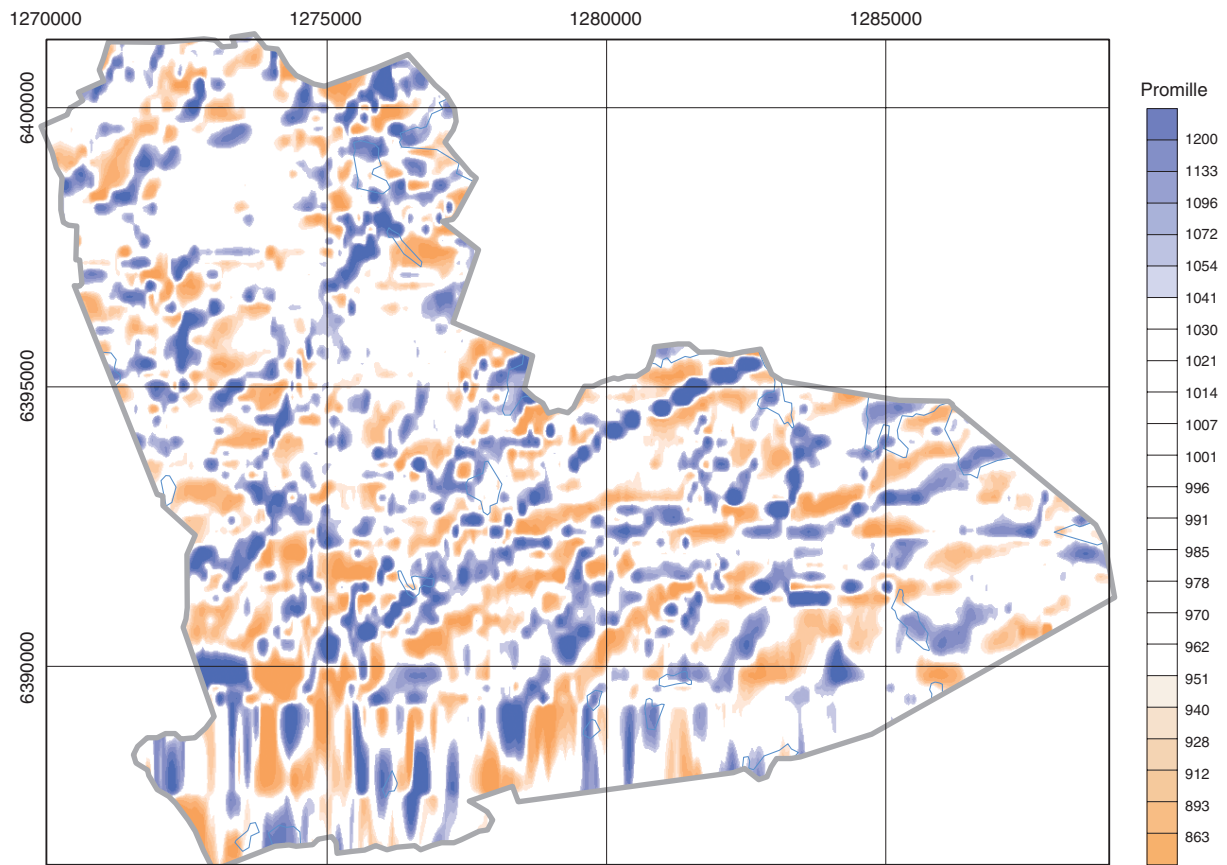
Map of the magnetic anomalies in Mölndal municipality. The epoch 1965.0 is used to remove the regional trend. The map shows the magnetic field after filtering to enhance anomalies caused by shallow objects (at depths of approximately 0–250 m). The map is based on the airborne magnetic field measurements carried out in 1974 with an east–west flight-direction, a 30 meter flight-height, and a line spacing of 200 meter.

Tiden efter bergskedjeveckningarna präglas av en kraftig uppspräckning av berggrunden varvid ett antal zoner uppstått som domineras av en mer spröd deformation, t.ex. längs Göta älv–Kungsbackafjordlinjen och Yttre Ingsjön–Hällesåkerlinjen. Några linjer eller zoner kan även identifieras som tydliga anomalier på VLF-kartan (fig. 5). Zoner med nordostlig riktning framträder tydligast beroende på VLF-sändarens läge. Lågmagnetiska linjära zoner indikerar att berggrunden är sprickgenomsatt och kan med fördel tolkas som detta om de sammanfaller med VLF-anomalier.

BERGARTERNAS UTSEENDE, SAMMANSÄTTNING OCH EGENSKAPER

Bergartsbeskrivning

De viktigaste bergartsenheterna i Mölndals kommun finns redovisade i tabell 1. Bergartskoden är en unik beteckning för de olika relevanta och identifierade bergartsgrupperna i området och används för att gruppera, jämföra och tolka de olika analysresultaten. Bergartskoden används i tabellerna med tekniska och mineralogiska analyser. Tekniska analyser (tab. 2 och 8) finns ej av bergarter från följande grupper: pegmatit (47), yngre mafiska bergarter (56), granit svagt gnejsig eller ådrad (60), granit, porfyrisk, gnejsig (70), ögongnejs (72), tonalit, gnejsig och ådrad (74) eller ytbergartsgnejs (81).



Figur. 5. Elektromagnetisk karta (VLF) över Mölndals kommun. Kartan visar intensiteten av totalmagnetfält-komponenten av den elektromagnetiska signalen från en avlägsen radiosändare i VLF-bandet (very low frequency, 10–30 kHz). Mätningarna registrerar sekundära elektromagnetiska fält som förorsakas av induktion i elektriska ledare exempelvis kraftledningar och större sprickzoner i berggrunden. 1000 promille motsvarar nollnivån och blå färg indikerar god ledningsförmåga. Kartan baseras på flygburna mätningar utförda 1974 på 30 meters flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 meter och en öst–västlig flygriktning.

Electromagnetic map of Mölndal municipality. The map shows amplitude of the magnetic field in the electromagnetic signal from a remote transmitter in the VLF-band (very low frequency, 10–30 kHz). 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 (promille) represents the zero level. Blue colour indicates the zones with higher electrical conductivities. The map is based on airborne VLF measurements carried out in 1974 with an east–west flight-direction, a 30 meter flight-height, and a line spacing of 200 meter.

Tabell 1. Mineralfördelning (volymprocent) och kornstorlek (mm) hos bergarter från Mölndals kommun. Bkod är en grupperingskod som baseras på bergartens stratigrafiskt läge och sammansättning. "Övrigt" innefattar t.ex. allanit, granat, prehnit, 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 municipality of Mölndal. Rcode is a grouping parameter based on the stratigraphic position and composition of the rock. "Other" contains allanite, 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	Bkod	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	Dominerande kornstorlek	Sekundär kornstorlek	Kvarts	Kfsp	Plagioklas + sericit	Biotit	Musk.	Klorit	Epidot	Titanit	Hbl + Px	Opaka mineral	Övrigt	Summa
Sample	Rcode	Rock description	Dominating grain-size	Secondary grain-size	Quartz	Pot. feldspar	Plagioclase Biotite + sericite	Musc.	Chlorite	Epidote	Titanite	Hbl + Px	Opaque mineral	Other	Sum	
DCL032003A	73	Granodiorit, grå-rödgrå, medelkornig, förskiffrad till stänglig	0,4–2,0	0,1–0,4	26,4	6,1	39,1	19,3		3,9	0,8	3,1	0,4	1,0	100,0	
DCL032004A	73	Granodiorit, grå-rödgrå, medelkornig, förskiffrad till stänglig, gnejsig, ådrad	0,1–1,5	1,5–3,0	35,3	22,1	28,4	11,9		1,2			0,0	1,1	100,0	
MGO035002B	71	Granit, röd, fint medelkornig till medelkornig, gnejsig, ådrad, veckad	0,1–1,5	1,5–2,5	36,0	31,8	26,4	3,6	0,0	1,2	0,6	0,4	0,0	0,0	100,0	
MGO035002C	74	Tonalit, mörkt grå, medelkornig, gnejsig, ådrad	0,05–1,2	1,2–3,2	29,6	0,0	44,2	9,2	0,0	0,0	2,4	1,4	13,2	0,0	0,0	100,0
MGO035007A	73	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, ströckorn, stänglig till förskiffrad	0,2–1,0	1,0–2,0	29,8	17,1	32,3	11,9	0,0	0,0	5,8	2,0	0,2	0,8	0,2	100,0
MGO035008A	73	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, stänglig till förskiffrad	0,2–1,6	1,6–3,5	31,5	13,1	35,7	9,8	0,0	2,4	3,0	1,6	2,6	0,4	0,0	100,0
MGO035009A	71	Granit, rödgrå, fin- till medelkornig, ådrad	0,1–1,2	1,2–3,2	28,0	35,4	31,8	3,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,6	0,6	100,0
MGO035029A	54	Gabbro, svart, fin- till medelkornig, breccierad	0,05–0,4	0,4–1,0	2,6	0,0	27,6	0,6	0,0	0,0	6,4	0,2	62,6	0,0	0,0	100,0
MGO035032A	53	Granit, mörkt röd, medelkornig, ögonförande, deformationad, ådrad	0,01–0,1	0,1–0,4	35,0	53,8	8,4	0,4	0,0	1,4	0,0	0,2	0,0	0,8	0,0	100,0
MGO035032B	53	Granit, röd, fint medelkornig, svagt gnejsig	0,02–0,2	0,2–0,4	31,6	52,8	5,6	0,6	0,0	7,6	0,2	0,2	1,2	0,2	0,0	100,0
MGO035035A	54	Gabbro, svart, fin- till medelkornig, ådrad, breccierad	0,1–1,6	0,01–0,1	7,9	0,0	11,6	0,0	0,0	0,3	28,5	0,0	32,1	0,0	19,6	100,0
MGO035048A	71	Granit, grå, medelkornig, gnejsig, ådrad	0,1–2,2		34,8	22,8	34,8	6,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,2	0,0	100,0
MGO045024A	63	Granit, röd, fint medelkornig, gnejsig, ådrad	0,1–1,5	1,5–2,5	46,4	35,1	6,0	7,9	0,0	0,5	0,0	2,1	0,0	1,4	0,6	100,0
MGO045046A	53	Granit, röd, medelkornig, förskiffrad	0,4–1,6	0,1–0,4	34,7	34,4	20,7	2,8	0,0	3,1	0,0	1,4	0,0	1,4	1,5	100,0

Tabell 2. Tekniska analysvärden och användbarhetsklassificering av prover från Mölndals kommun 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 alkalisilikareaktivitet.

Technical analyses and classification of samples from the municipality of Mölndal for pavement constructions (mainly wearing courses), as railway trackbed ballast, and as concrete ballast. Rcode = rock code, ρ_s = particle density, STT = studied 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	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	Bkod	N-S-koordinat	O-V-koordinat	ρ_s g/cm ³	K_k	LA %	M_{DE} %	RA	GA	SPM	ASR	Bergvalitetsklassning ² Rock quality classification		
Sample	Rock description (field observation)	Rcode	N-S-koordinat	O-V-koordinat	ρ_s g/cm ³	STT %	LA %	M_{DE} %	RA	GA	JPM	ASR	Väg Road	Järnväg Railway	Betong Concrete
DCL032003A	Granodiorit, grå–rödgrå, medelkornig, förskiffrad–stänglig	73	6392790	1283282	2,75	24,4 ¹	34,4	18,4	0,10	0,54		1	3	3	2
DCL032004A	Granodiorit, grå–rödgrå, medelkornig, förskiffrad–stänglig, gnejsig, ådrad	73	6393704	1278402	2,67	15,8 ¹	27,2		0,19	0,86		2	2	1	2
MGO035002A	Amfibolit, mörkt grå, medelkornig, gnejsig, ådrad	76	6393525	1277014	3,04	25,7	19,9					1	3	1	1
MGO035002B	Granit, röd, fint medelkornig–medelkornig, gnejsig, ådrad, veckad	71	6393525	1277014	2,66	12,7 ¹	21,4		0,23	0,88		1	2	1	1
MGO035007A	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, strökm, stänglig–förskiffrad	73	6391110	1288946	2,73	18,6	28,0		0,14	0,66	4	1	3	2	1
MGO035008A	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, stänglig–förskiffrad	73	6392377	1284996	2,74	19,2	26,8		0,14	0,69		1	3	1,5	1
MGO035009A	Granit, rödgrå, finkornig–medelkornig, ådrad	71	6393891	1281791	2,65	12,5 ¹	26,3	8,5	0,20	0,89	2	1	2	1,5	1
MGO035029A	Gabbro, svart, finkornig–medelkornig, breccierad	54	6387068	1275529	2,99	13,7 ¹		12,0	0,03	0,11		1	2	1	1
MGO035030A	Granit, ljusst grå, grovkornig, stänglig–förskiffrad, grovporfynisk	50	6389079	1275290	2,72	21,2	41,4		0,16	0,80	2		3	3	1
MGO035032A	Granit, mörkt röd, medelkornig, ögonförande, deformerad, ådrad	53	6392079	1276576	2,66	6,8 ¹	16,5	4,5	0,62	1,77	5	3	1	1	3
MGO035032B	Granit, röd, fint medelkornig, svagt gnejsig	53	6392083	1276569	2,63	7,0 ¹	21,0	4,9			5	2	1	1	2
MGO035035A	Gabbro, svart, finkornig–medelkornig, ådrad, breccierad	54	6389981	1276071	3,01	11,0	11,3		0,06	0,17		1	2	1	2,5
MGO035048A	Granit, grå, medelkornig, gnejsig, ådrad	71	6388850	1282475	2,66	19,0	41,2		0,24	0,82	2	1	3	3	1
MGO045024A	Granit, röd, fint medelkornig, gnejsig, ådrad	63	6400264	1271765	2,66	9,9	21,8	6,5			5	3	1	1	3
MGO045046A	Granit, röd, medelkornig, förskiffrad	53	6394109	1275008	2,63	13,4 ¹	25,9	7,0	0,84	2,22		1	2	1	3

¹ Enkelprovsanalyser

² Kvalitetsklassning av bergartsprover avseende tillämpning som vägmakadam (V), järnvägsamakadamballast (J) och betongballast (B), se vidare appendix 2 för definition av klassningen

Tabell 3. Bergartsenheter i Mölndals kommun.

Rock units in the municipality of Mölndal.

Bergartsenhet	Bergartskod*
Rock unit	Rock code
Pegmatit	47
Granit, grovporfyrisk (Askimsgranit)	50
Granit (RA-granit)	53
Yngsta mafiska bergarter	54
Yngre mafiska bergarter	56
Granit, svagt gnejsig eller ådrad, anatektisk	60
Granitoid, gnejsig, ögonförande och jämnkornig (B-sviten)	63
Granit, porfyrisk och gnejsig (A-sviten)	70
Granit, gnejsig och ådrad (A-sviten)	71
Ögongnejs	72
Granodiorit, gnejsig och ådrad (A-sviten)	73
Tonalit, gnejsig och ådrad (A-sviten)	74
Äldre mafiska bergarter (A-sviten)	76
Ytbergartsgnejs, fin- till medelkornig, vulkaniskt och sedimentärt ursprung (motsvarande Åmålsgruppen)	81

* Bergartskod (Bkod) är baserad på stratigrafiskt läge samt bergartens sammansättning.

Ytbergartsgnejs, fin- till medelkornig, sannolikt med vulkaniskt eller sedimentärt ursprung (Bkod 81)

Mindre bergartsområden av möjligt sedimentärt ursprung förekommer norr om Råsjön (7 f) som större inneslutningar i RA-graniten. De utgörs av finkorniga till fint medelkorniga, homogena till bandade, folierade och lokalt tunt ådrade ytbergartsgnejser (Samuelsson 1982). Gnejserna antas motsvara den s.k. Stora Le-Marstrandsgruppens vulkaniska och sedimentära bergarter (Lundqvist & Skiöld 1993) som är bättre bevarade längre norrut. Inom kommunen är ytbergarterna generellt sett kraftigt förgnejsade, veckade och i vissa fall ådrade eller migmatitiserade. Många gånger är dessa bergarter mycket svåra att skilja från finkorniga varianter av granit, särskilt i nära anslutning till tektoniska zoner.

Äldre mafiska bergarter (Bkod 76)

I anslutning till de äldre tonalitiska till granitiska ådergnejserna i nordöstra delen av undersökningsområdet förekommer mafiska bergartskroppar på några få ställen. Både finkorniga amfiboliter och medelkorniga gabbrokroppar återfinns i denna bergartsgrupp. De är mörkt grå till svarta med en grön färgton och normalt jämnkorniga. Texturen är i allmänhet omkristalliserad och eventuella primära ofitiska texturer är sällsynta. Bergarten kan också återfinnas som brottstycken i yngre granitiska bergarter.

Granit till tonalit, förgnejsad till ådrad (A-sviten, Bkod 70, 71, 73, 74)

Den dominerande bergartsgruppen i Mölndals kommun utgörs av gråröda till grå, förgnejsade till ådrade granitoider (A-sviten), som är ca 1 600 miljoner år gamla. Sammansättningen kan variera från granitisk till tonalitisk i ett komplext mönster. Bergarterna är i allmänhet fint medelkorniga till medelkorniga och jämnkorniga. Tonaliterna är i allmänhet mörkare grå, saknar vanligtvis en utpräglad gnejsighet och är i allmänhet inte ådergnejsomvandlade. Tonaliterna är både glimmer- och amfibolrika. De innehåller vanligtvis enklaver av mafiska bergarter. Granodioriterna är lite ljusare grå till rödgrå och normalt ådergnejsomvandlade. Graniterna varierar från gråröda till grå, medelkorniga till finkorniga typer. De är normalt ådrade (fig. 6) och kan vara svåra att skilja från omkristalliserade ytbergartsgnejser. I östra delen av Mölndalsområdet förekommer även en gles porfyrisk variant.

Ögongnejs (Bkod 72)

Den grovporfyrisk ögongnejsen är en karaktäristisk ledhorisont för de västra delarna av Västra Götalands läns berggrund. Ögongnejsen återfinns i Mölndals kommun som enstaka smala långsträckta band. De



Figur 6. Fin- till medelkornig, ådrad granit (MGO035009A) tillhörande "A-sviten". Foto Mattias Göransson.

Fine- to medium-grained, veined granite (MGO035009A) belonging to the "A suite".

består av i allmänhet röda, rundade och grova (2–7 cm) mikroklinporfyroblaster omgivna av en grå, jämn- och medelkornig granodioritisk, glimmerrik mellanmassa. Vanligtvis är ögongnejsen kraftigt folierad eller gnejsig men i de centrala delarna av de större bergartskropparna övergår den i massformig, ögonförande granitoid.

Granodiorit till tonalit, gnejsig (Bkod 63)

I de norra delarna av Mölndals kommun finns en större sammanhängande kropp av jämnkorniga, fint medelkorniga till medelkorniga graniter och granodioriter, som fortsätter i ett nordnordvästligt stråk genom Göteborgs kommun (Lundqvist 2000). De jämnkorniga typerna är grå och fin- till medelkorniga. Ådring i dessa bergarter är förhållandevis ovanlig.

Röd till gråröd, fint medelkornig och något gnejsig granit (Bkod 60)

Röd till gråröd, fint medelkornig, något gnejsig granit påträffas som några mindre kroppar. De kan ge ett massformigt intryck eftersom gnejsigheten vanligtvis är väldigt svag. De bedöms vara bildade genom migmatitisering (partiell uppsmältning) av de äldre bergarterna.

Yngre mafiska bergarter (Bkod 56)

Yngre mafiska (järn-magnesiumrika) bergarter förekommer som mindre linser eller band i de förgnejsade "1 600-granitoiderna". Kropparna överstiger sällan 20 meters mäktighet men kan vara talrika och utgöra ett betydande inslag i berggrunden. I kärnan av linserna kan en subofitisk textur förekomma medan kantområdet mot sidoberget ofta är kraftigt omkristalliserat. Bergarterna är mörkt gröngrå till svarta, jämnkorniga och finkorniga.

Yngsta mafiska bergarter relaterade till Askims- och RA-granit (Bkod 54)

De yngsta mafiska bergarterna förekommer som mindre och större bergartskroppar inom det bälte som definieras av de yngre röda graniterna i kommunens västra del. I kärnan av dessa kroppar är bergarterna välbevarade och uppvisar magmatiska texturer. Bergarterna är mörkt gröngrå till svarta och jämnkorniga. Kornstorleken varierar från finkornig till grovt medelkornig. Dessa mafiska bergarter uppvisar många tecken på magmablandning med de omgivande röda graniterna (50, 53), dvs. de olika bergarterna har varit magma samtidigt och utbytt komponenter.



Figur 7. Deformerad RA-granit (MGO035032A), Kållereds bergtäkt. Foto Mattias Göransson.
Deformed RA-granite (MGO035032A), Kållereds rock quarry.



Figur 8. Grovporfyrisk Askimsgranit (MGO035030A). Foto Mattias Göransson.
Coarse-grained Askim granite (MGO035030A).

Granit (RA-granit, Bkod 53)

RA-graniterna tillhör C-svitens bergarter (ca 1 310 miljoner år) och påträffas i de västra delarna av undersökningsområdet. Bergarten är röd eller rödgrå och förekommer både som massformiga och gnejsiga varianter, vanligtvis medelkornig (fig. 7). Den intensiva röda färgen beror på en hög andel kalifältspat och bergarterna har i äldre litteratur benämnts som "mikroklingranit". Den har en hög uranhalt vilket ger ett relativt sett högt gamma- och radiumindex jämfört med omgivande bergarter.

Granit, grovporfyrisk (Askimsgranit, Bkod 50)

Den s.k. Askimsgraniten är den yngsta bergarten inom undersökningsområdet bortsett från mindre pegmatit- och aplitförekomster. Den är grovporfyrisk och vanligtvis tät porfyrisk även om glest porfyrisk varianten också förekommer (fig. 8). Den massformiga varianten dominerar men även mindre stråk med kraftigt utvecklad stänglighet eller gnejsighet förekommer. Askimsgraniten är lågstrålande i förhållande till den intilliggande RA-graniten (53) och uppträder intrusivt i denna.

Pegmatit och aplit (Bkod 47)

Pegmatiter och apliter uppträder som mindre kroppar, som gångar parallella med gnejsigheten och som klippande gångar. De är röda till vita, grovkorniga, ojämnkorniga och normalt massformiga men kan uppvisa en svag foliation. Enstaka smala aplitgångar förekommer, företrädesvis med en nord-sydlig utsträckning.

Petrografisk analys

Bergartsprovernas mineralsammansättning och de ingående mineralens mängdförhållanden har bestämts genom punkträkning av en yta på ca 25 × 20 mm med transmissionsmikroskopi. Resultaten ges i tabell 1. Förhållandena mellan de viktigaste bergartsbildande mineralen kvarts, kalifältspat (mikroklin) och plagioklas avgör hur bergarterna ska benämnas. Kvarts- och glimmerinnehållet är av speciell betydelse för bergartens tekniska egenskaper. Dessutom noteras förekomsten av olika mineral som finns i betydligt mindre mängder s.k. accessorier. Av dessa har en särskild studie gjorts av s.k. opakmineral (malmmineral) med avseende på att dessa kan vara sulfider.

Vidare har en uppskattning av ingående mineralkorns storlek och fogar genomförts. De allra flesta prov har en granoblastisk, omkristalliserad korntextur, där kornen har en låg grad av sammanväxning.

Skiktsilikater (glimmer m.m.)

Andelen fri glimmer (bestämd enligt VVMB 613, 2001, för material 0,125–0,25 mm) får ej överstiga 50 % för obundna material. Om andelen är mellan 30 och 50 %, får inte bärlagret trafikeras 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. En hög halt av glimmer (biotit = 19,3 %) förekommer i prov DCL032003A.

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 frigöras och 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 en bergart mot mängden sulfidmineral. Vid en svavelhalt högre än 0,3 viktsprocent i bergmaterialet, vilket approximativt motsvarar 0,3 volymprocent pyrit, rekommenderas att speciella åtgärder vidtas. Vid t.ex. lagring och användning av bergmaterial med höga sulfidhalter bör tillgången på syre och vatten minskas genom t.ex. övertäckning eller deponering av bergmaterial 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.

I 6 bergartsprover från Mölndals kommun är halten av opaka mineral och därmed innehållet av sulfidmineral något högre eller lika med 0,3 volymprocent (tab. 4). I två av proverna undersöktes de opaka mineralen med reflektionsmikroskopi för att uppskatta mängden sulfider. Halten av sulfider är låg i dessa prover. Övriga bedömningar har utförts makroskopiskt på bergartsprov. I tre av dessa prover visar den relativt höga magnetiska susceptibiliteten att magnetit är den dominerande opaka fasen. I den mörkt röda, oxiderade graniten från Källeredstälten (MGO035032A) bedöms hematit vara det dominerande opaka mineralet.

Geofysiska parametrar

Den mineralogiska sammansättningen i bergarten avspeglas av de geofysiska egenskaperna. Detta gäller framför allt susceptibilitet, som speglar förekomsten av magnetit, samt densitet. Med susceptibilitets-

mätningar utförda på provtagningslokalerna och på bergartsprover i laboratorium kan man bättre förstå mönstren på den flygmagnetiska kartan.

Sammanställningar av markmätta susceptibilitetsvärden från området presenteras i tabell 5. Vad som är tydligt är att variationen inom de olika bergarterna är mycket stor och att den magnetiska variationen snarare beror på den strukturella överpräglningen än på direkta bergartskontakter.

BERGGRUNDENS STRUKTURER, DEFORMATIONSZONER OCH SPRICKOR

De deformationer som berggrunden varit utsatt för är i princip av två slag: 1) plastiska deformationer, som resulterat i en överpräglade foliation alternativt gnejsighet (parallellställning och utdragning av mineral) eller veckning (böjning) av lagrade eller bandade bergarter och 2) spröda deformationer, som gett upphov till sprickor och förkastningar.

De plastiska deformationerna är relaterade till två dominerande perioder med bergskedjebildning och tillhörande regionalmetamorfos (storskaliga omvandlingar). Detta har resulterat i att samtliga bergarter är mer eller mindre gnejsiga. I stora delar av kommunerna är bergarterna också mer eller mindre ådrade. Ådrorna består i huvudsak av kvarts och fältspat tillsammans med små mängder av glimmer och ligger parallellt eller med liten vinkel mot foliationen.

De olika bergartsleden i kommunen utgörs vanligen av relativt långsträckta, nord–sydligt orienterade enheter parallellt med orientering av gnejsigheten och ådringen i bergarterna.

Utöver den genomträngande omvandlingen har samtliga bergarter drabbats av efterföljande och stråk-visa plastiska deformationer som resulterat i att bergarterna blivit mer eller mindre mylonitiserade (starkt folierad berggrund, se fig. 9 och på bergkvalitetskartan). Detta gäller särskilt inom kartområdets södra delar väster om Lindome i de yngre graniterna, där deformationszoner följer en ungefärlig nord–sydlig riktning längs Mölndalsåns dalgång. Mellan mylonitstråken finns enheter med bättre bevarade bergarter, men också berggrund som är mer deformerad utan att för den skull utveckla myloniter. Den plastiska deformationen följs av mer spröda zoner och förkastningar som åtminstone delvis har samma riktning.

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).

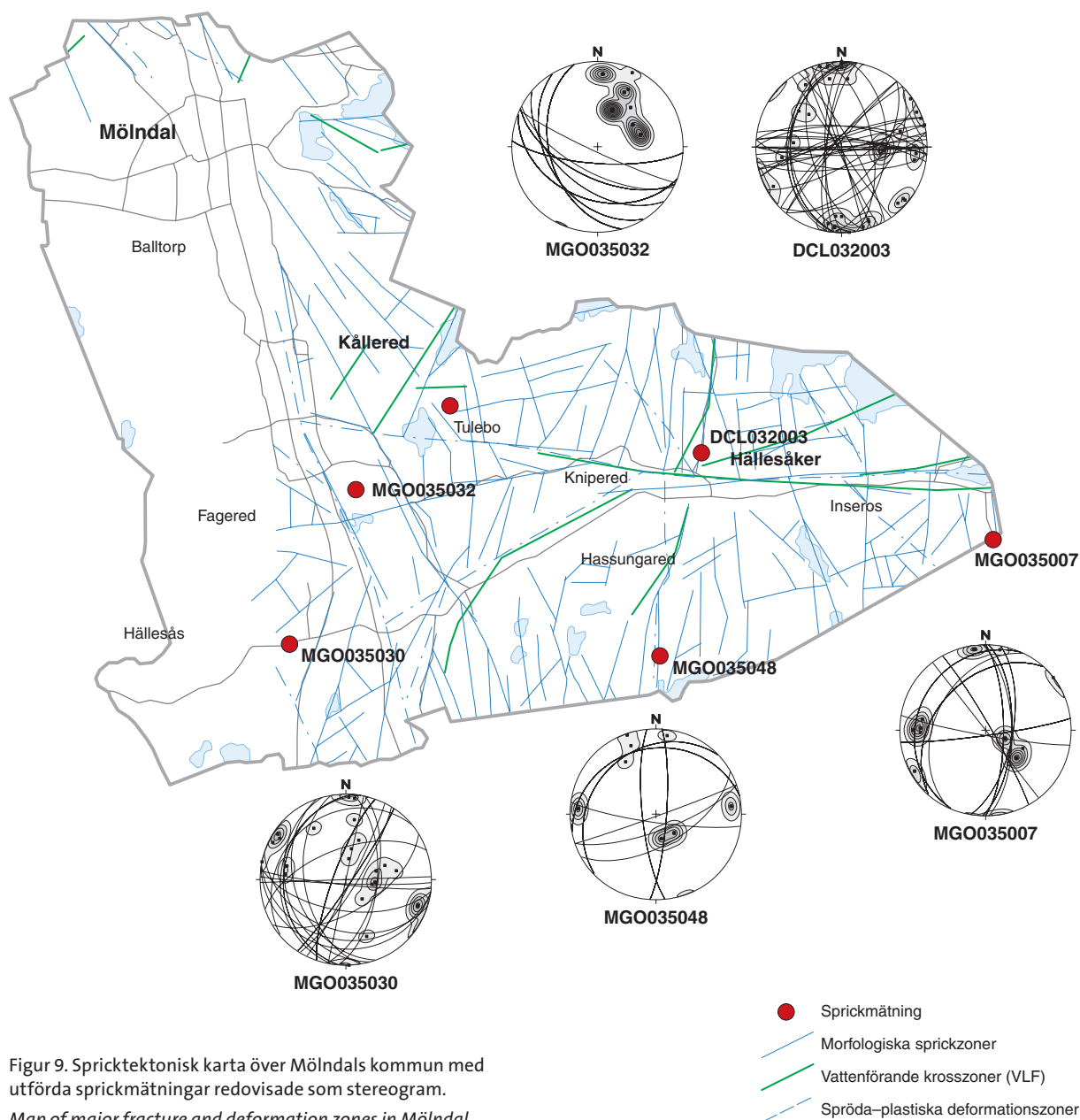
Relative amounts of opaque minerals in samples where the total amount of opaque minerals is >0.3 volume percent, estimated in reflected light: +++ = dominating, ++ = less common, + = trace amount. Opaque = Total content of opaque minerals in volume percent, determined by point counting (see tab. 1).

Prov	Opak %	Oxider / Oxides		Sulfider / Sulphides	
		Magnetit	Hematit	Pyrit	Kopparkis
Sample	Opaque %	Magnetite	Hematite	Pyrite	Chalcopyrite
MGO035007A	0,8				
MGO035008A	0,4				
MGO035009A	0,6				
MGO035032A	0,8				
MGO045024A	1,4	+++		+	(+)
MGO045046A	1,4	+++	+	+	

Tabell 5. Statistisk sammanställning av susceptibilitetsmätningar inom Mölndals kommun (susceptibilitet $\times 10^{-5}$ SI-enheter).

Statistical summary of the measured susceptibilities ($\times 10^{-5}$ SI unit) in Mölndal municipality.

Bkod	Bergartsenhet	Min	Max	Medel	Standardavvikelse	Antal
Rcode	Rock unit	Min	Max	Mean	Standard deviation	Number
50	Granit, (Askimsgranit)	16	20	18	1,4	10
53	Granit (RA-granit)	51	2900	748	622	87
54	Yngsta mafiska berggrund	33	174	74	36	19
71	Granit (A-sviten)	29	1430	377	352	30
73	Granodiorit (A-sviten)	54	1690	672	492	30



Figur 9. Spricktekonisk karta över Mölndals kommun med utförda sprickmätningar redovisade som stereogram.
Map of major fracture and deformation zones in Mölndal municipality with performed joint measurements.

Efterföljande, mer spröda deformationer (t.ex. förkastningsrörelser) har skett längs många av de plastiska deformationszonerna och givit upphov till olika förskjutningar mellan bergblocken. De följs av kvarts- eller epidotläkta rivningsbreccior och sprickrika zoner. Spröda deformationszoner förekommer också utanför de äldre plastiska deformationszonerna och formar till stor del den topografiska bild vi idag kan se i landskapet, t.ex. de olika dalgångarna.

Den tolkning av lineament och svaghetszoner som är gjord med hjälp av det geofysiska underlagsmaterialet och topografin, visar riktningar i främst NNV, nordost och underordnat, längs de stora dalgångarna i ost-väst och nord-syd. På VLF-kartan finns några intressanta zoner med mestadels nordöstlig riktning (fig. 5), som tolkas vara vattenförande krosszoner. VLF-anomalier och höjddata sammanfaller inom ett område i östra delen av undersökningsområdet (från östra Hällesåker till östra Inseros). Detta indikerar förekomsten av plastiska till spröda deformationszoner med en sammanlagd längd av cirka 4 km.

Sprickriktningar och spricktäthet har bedömts på ett flertal provlokaler. Tätheten anges som antal sprickor per meter (spm i tab. 2). Sprickornas orientering (strykning och stupning) anges i ett urval av stereogram där sprickplanen anges som storcirklar och de associerade polerna till planerna visas med kon-turer för att spegla frekvensen.

Helt naturligt varierar alltså sprickornas orientering i olika delar av kommunen beroende på berggrundens geologiska och tektoniska utveckling. I stort kan man dock säga att sprickplanen i stereogrammen visar följande huvudsakliga trender (se tab. 6, de dominerande sprickgrupperna först):

Tabell 6. Dominerande sprickorienteringar.

Dominating fracture orientations.

Strykning / Strike	Stupning / Dip
Varierande / Varying	Parallellt foliationen, varierande flack till brant / Parellell foliation, varying shallow to steep
~ Ost–västlig / East–west	Varierande flack till brant / Varying shallow to steep
~ Nord–sydlig / North–south	Brant / Steep
~ Nordnordväst / North–northwest	Medelbrant till brant / Moderatly to steep

Sprickmätningar har gjorts vid sex lokaler (totalt 170 stycken). I allmänhet finns en sprickgrupp som är mer eller mindre planparallell med foliationen i berggrunden med en dominerande strykning från NNV till nord–sydlig och med en normalt ganska flack till ställvis ganska brant stupning vid lokala veckomböjningar.

Det finns i de flesta lokaler två brantstående sprickgrupper med nordvästliga och nordostlig riktningar, som bildar ett rombliknande mönster. En av dessa riktningar motsvarar normalt den mot foliationen vinkelräta sprickgruppen ovan. Vidare finns vid flera lokaler en eller flera sprickgrupper som är mer eller mindre parallella med riktningen på närliggande större lineament som identifierats från det geofysiska underlagsmaterialet eller från den topografiska informationen (se stereogrammen i kartmarginalen). Den vanligaste sprickriktningen från utförda sprickmätningar är ost–västlig och stryker vinkelrätt mot foliationen på en del lokaler. Denna riktning är parallell med den större dalgången mellan Hällesåker och Yttre Ingsjön. Det finns också nord–sydliga sprickor noterade, som synes spegla mer lokala större sprickzoner.

BERGGRUNDENS STRÅLNINGSEGENSKAPER

Gammastrålningsmätningar

De radiometriska kartorna (kalium, uran och torium) samt berggrundsinformationerna över kommunen har legat till grund för planeringen av gammastrålningsmätningar på berghällar. Dessutom har strålningen mätts på alla de lokaler där prov har tagits för teknisk analys.

Tre typer av handburna instrument användes: gammaspektrometrar av typerna EXPLORANIUM GR320 och GR130 samt scintillometer av typen SCINTREX BGS-3. Vid dessa mätningar har den totala gammastrålningen samt halten av kalium-40, radium-226 och torium-232 bestämts. Gammaindex och radiumindex har beräknats för samtliga mätpunkter och lagrats i SGUs databaser. Radiumindex, som är ett mått på radiuminnehållet i ett material, skall för byggnadsmaterial vara mindre än 1,0 (Åkerblom m.fl. 1990, jfr BFS 1990) som motsvarar 200 Bq/kg radium-226, vilket i sin tur motsvarar en uranhalt på 16,25 ppm.

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:

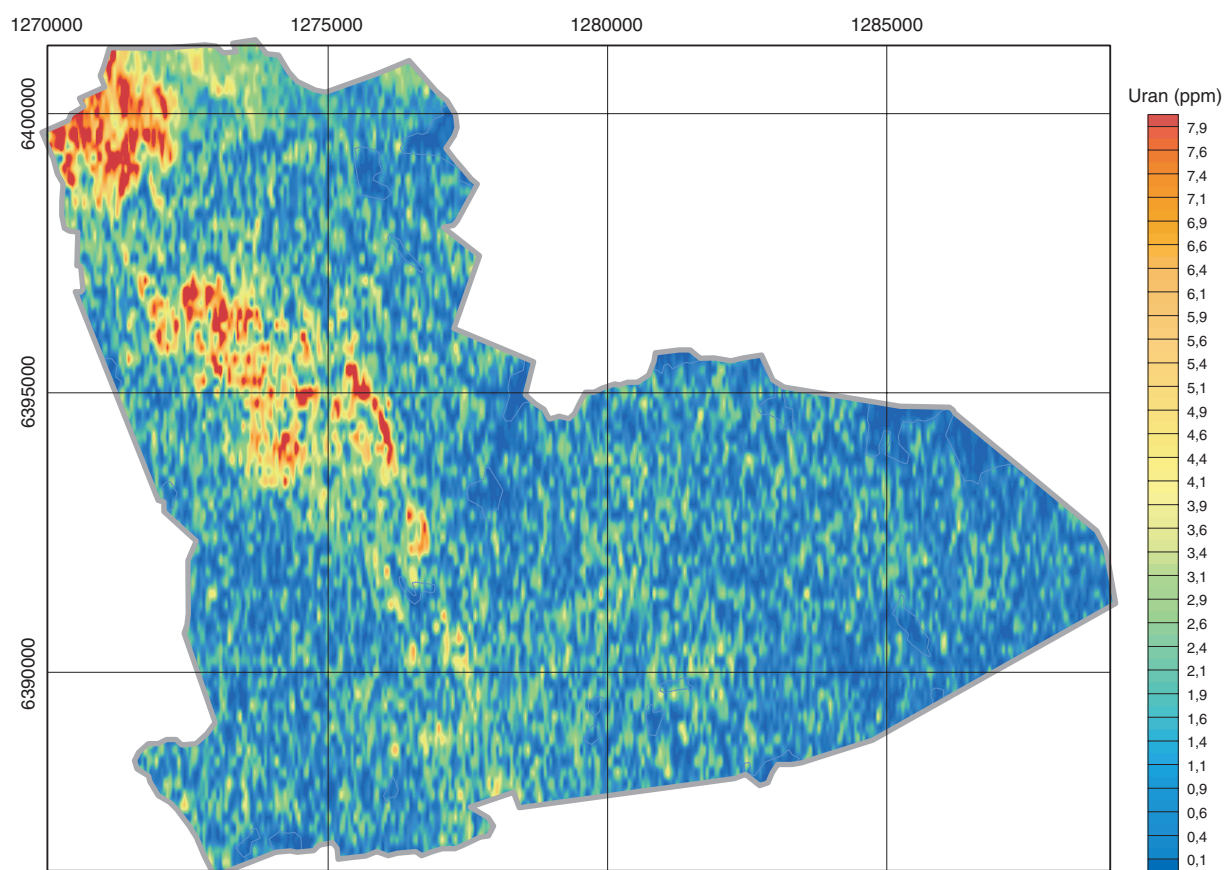
1 % K = 313 Bq/kg

1 ppm U = 12,35 Bq/kg

1 ppm Th = 4,06 Bq/kg

Figur 10 visar uranhalter beräknade från flygmätningar inom Mölndals kommun (se bilaga 1). Områden med förhöjd uranhalt domineras av mörkt röda färgnyanser. Markuppföljningen med gammaspektrometer visar dock att de enligt flygmätningar indikerade förhöjda uranhaltarna bara till viss del orsakas av uran i berggrunden. Gammaspektrometermätningar har genomförts i 76 mätpunkter inom kommunen, varav 12 är från lokaler där prover tagits för teknisk analys (bilaga 2). Vid varje mätpunkt utfördes normalt 2 till 4 mätningar på bergarten. Radiumindex och gammaindex har beräknats för samtliga mätpunkter.

Vid fyra lokaler överskrider värdet 1 för radiumindex (motsvarar 200 Bq/kg 226-radium). Dessa har markerats på bergkvalitetskartan. Tabell 7 visar en sammanställning av gammastrålningen för olika bergarter i undersökningsområdet. Graniterna i C-sviten i de västra till nordvästra delarna av Mölndals kommun framträder tydligt genom hög gammastrålning (tab. 7). Övriga bergarter i kommunen visar generellt låg gammastrålning. Områdena där högt radiumindex förekommer är norr om Mölndal och öster om Källered. Inom dessa områden består berggrunden i huvudsak av gnejsig och relativt odeformerad RA-granit. Medelvärde för radiumindex och gammaindex för dessa lokaler är 1,5 respektive 2,9, baserat på 9 mätpunkter. En detaljerad undersökning av strålningen inom Källered bergtäkt utfördes redan



Figur. 10. Karta över markens uranhalt i Mölndals kommun. Kartan visar den beräknade fördelningen av uran i markens ytskikt. 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 1974 på 30 meters flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 meter och en öst–västlig flygriktning.

Map of uranium concentration in Mölndal municipality. The map shows the calculated distribution of uranium in the uppermost layer of the ground. 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 1974 with an east–west flight-direction, a 30 meter flight-height, and a line spacing of 200 meter.

1980 (Lindroos 1980) vilken påvisade att den så kallade RA-graniten (Bergartskod=1040, i rapporten kallad "mikroklinggranit") kan utgöra en riskkälla för onormalt hög radonavgång och inte bör användas som fyllnadsmaterial vid bebyggelse. Hög gammastrålning har också uppmätts i Balltorp (Åkerblom m.fl. 1979) strax väster om undersökningsområdet. Även här är det inom området för "RA-graniten" som lokala maxima på upp till 400 µR/h (mikroröntgen per timme) kan förekomma. Dessa bergarter är olämpliga som ballastmaterial i byggnader där människor vistas kontinuerligt.

TEKNISKA ANALYSER

Vid lokaler med en bergart som är representativ för området har ca 60 till 100 kg berg provtagits för bergmaterialtester omfattande kulkvarnsanalys, Los Angeles-analys, micro-Devalanalys och alkalisilikareaktivitet. Berget som provtas skall ej vara vittrat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket. Samtliga bergprover har tagits på platser där tillräckligt med lossprängd sten eller friska blottningar funnits, 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 bergtäktens produktionsdata och SGUs provresultat har dock gjorts i syfte att säkerställa klassificeringen av dessa områden. Totalt har 15 prover tagits från 13 lokaler. Gammastrålningsmätning har skett vid 12 av dessa lokaler.

Utöver de inom projektet provtagna bergarterna har även de analyser som gjorts i grannkommunerna Göteborg (Persson 2000b), Kungsbacka (M. Göransson m.fl., pågående arbete 2005), Hälaryda (M. Göransson m.fl., pågående arbete 2005), Partille och Lerum (U. Bergström m.fl., pågående arbete 2005) använts vid sammanställningen av bergkvalitetskartan.

Kulkvarnsanalys

Kulkvarnsanalyserna har utförts av enligt FAS Metod 259-02 (Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige, vilket motsvaras av SS-EN 1097-9, Nordiska kulkvarnsmetoden). Nedkrossning 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 bilaga 2) har dubbelprov utförts. Kulkvarnsvärdena (K_k) presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheter redovisas i tabell 8.

Kulkvarnsvärdet är ett mått på bergets nötningsmotsstånd. Generellt sett ger glimmerrika och granodioritiska till tonalitiska bergarter av olika åldrar nästan alltid höga (dåliga, 18,6–24,2 %) kulkvarnsresultat. Det högsta provresultatet som erhållits från kommunen är från en amfibolit (25,7 %). De bästa

Tabell 7. Sammanställning av gammastrålningsmätningar inom Mölndals kommun.

Summary of the measured gamma radiation in Mölndal municipality.

Bkod*	Bergartsenhet	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Radiumindex	Gammaindex	Antal
Rcode	Rock unit	P (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Radiumindex	Gammaindex	Number
50	Granit, (Askimsgranit)	4,2	2,4	9,6	0,15	0,73	7
53	Granit (RA-granit)	4,5	13,5	56,5	0,83	2,17	57
54	Yngsta mafiska bergarter	0,7	0,8	1,8	0,05	0,14	6
71	Granit (A-sviten)	3,8	3,7	15,9	0,23	0,87	15
72	Ögongnejs (A-sviten)	4,0	4,1	19,9	0,25	0,99	2
73	Granodiorit (A-sviten)	2,9	2,3	10,9	0,14	0,62	21

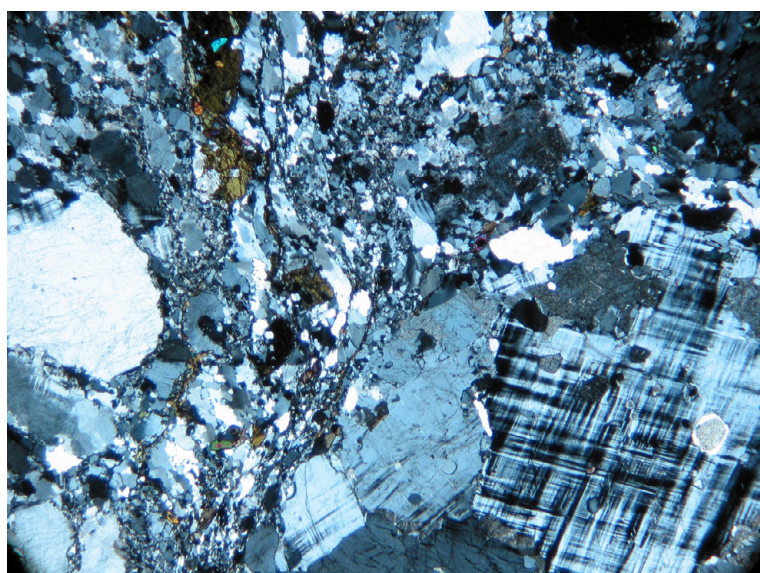
* Bergartskod är baserad på bergartens stratigrafiska läge och sammansättning.

resultaten (6,8–7,0 %) får medelkorniga deformerade ”RA-graniter” (se fig. 7 och 11). Många gabbroider associerade med de yngre och yngsta graniterna (53, 56) erhåller tämligen goda resultat (11,0–13,7 %).

Los Angeles-analys

Krossning och siktning har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Detta har givit ett flisighets-tal (samtliga bergartsmaterial) på 1,30–1,40, vilket gör labbkrossat material mer 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 8.

LA-värdet är ett mått på bergartens sprödhet. Spridningen av LA-värdena är, liksom för kulkvarns-värdena, stor inom varje bergartsgrupp. De högsta (sämsta) resultaten får den grovporfyrisk ”Askims-graniten” (41,4 %), en granit (41,2 %) och en granodiorit (34,4 %) tillhörande ”A-sviten”. Deformerade bergarter ger generellt sett bra LA-värden (16–22 %) och även gabbroider associerade med de yngre och yngsta graniterna (53, 56) erhåller mycket goda resultat (11,3 %).



Figur 11. Mikrofoto av dynamiskt omkristalliserad ”RA-granit” (MGO035032A). Det kvartsfältspatrika matrixet och avsaknaden av glimmer samt den ojämnkorniga texturen ger bergarten dess mycket goda bergmekaniska egenskaper ($K_k = 6,8\%$, $LA = 16,5\%$). Vyn är 4,9–6,5 mm. Foto Fredrik Hellström.

Microphoto of a dynamically recrystallised "RA granite" (MGO035032A). The quartz-feldspar-rich matrix, the absence of mica and the uneven-grained texture result in very good rock mechanical properties ($STT = 6.8\%$, $LA = 16.5\%$). The field of view is 4.9–6.5 mm.

Tabell 8. Medelvärden av kulkvarnsvärde, Los Angeles-värde och micro-Devalvärde för de analyserade bergartsenheterna i Möln-dals kommun.

Mean values for the results of the studded tyre, Los Angeles and micro-Deval values of rock units in Möln dal municipality.

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
50	Granit, (Askimsgranit)		21,2	1		41,4	1			
53	Granit (RA-granit)	7–13	9,1	3	16–26	21,1	3	4–7	5,3	3
54	Yngsta mafiska berg- arter	11–14	12,4	2		11,3	1		12,0	1
63	Granitoid (B-sviten)		9,9	1		21,8	1		6,5	1
71	Granit (A-sviten)	12–19	14,7	3	21–41	29,6	3		8,0	1
73	Granodiorit (A-sviten)	16–24	19,5	4	27–34	29,1	4		19,0	1
76	Äldre mafiska bergarter (A-sviten)		25,7	1		19,9	1			

Micro-Devalanalys

Micro-Devalvärdet (M_{DE}) är ett mått på bergets nötningsmotstånd och metoden är snarlik K_k . Obundna lager är kravsatta med M_{DE} -metoden och inom de närmsta åren kan micro-Deval 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 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 bergartsenheter redovisas i tabell 8. Micro-Devalvärdena följer kulkvarnsvärdena mycket väl och korrelationen mellan dessa metoder är $M_{DE} = 0,79 \times K_k - 1,06$ ($R_2 = 0,92$) att jämföra med den som erhöles av Stenlid (2000), $M_{DE} = 0,86 \times K_k - 2,71$ ($R_2 = 0,95$).

Alkalisilikareaktivitet (ASR)

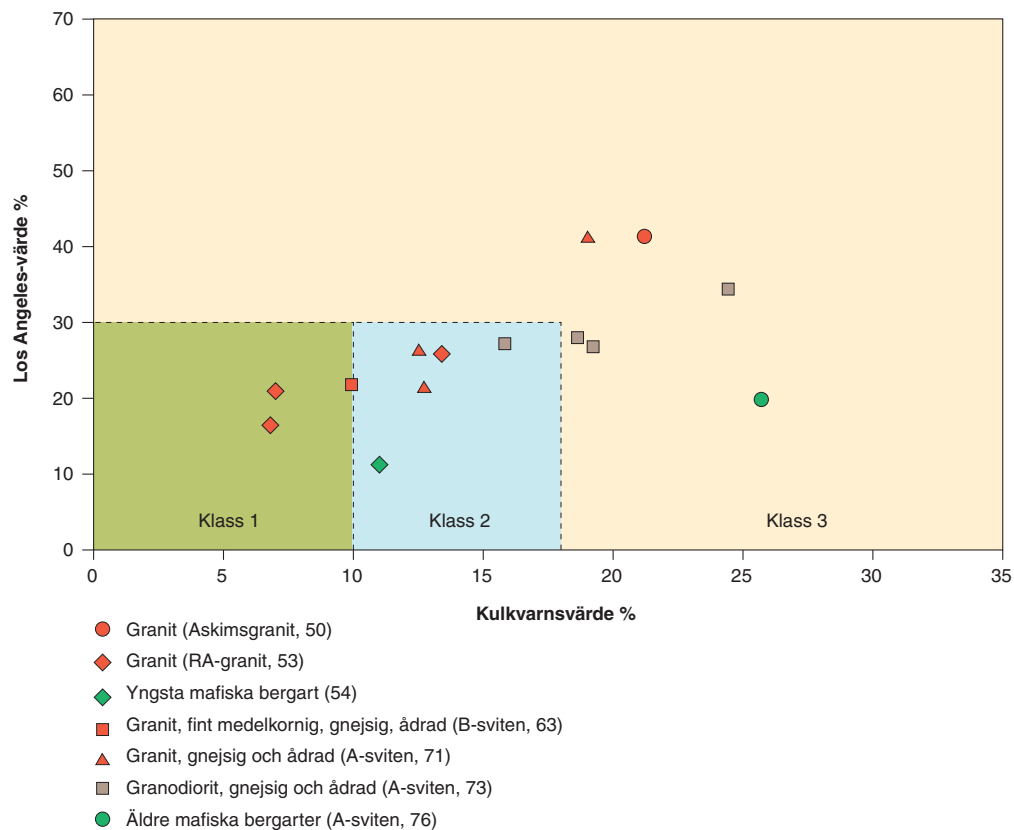
Analys av alkalisilikareaktivitet (ASR) har utförts vid Cement och Betong Institutet (CBI) i Stockholm. ASR är ett resultat av att kiseldioxid från ballasten löses upp av den starkt basiska, alkalina porlösningen i betongen och bildar en alkalisilikagel (Lagerblad & Trädgårdh 1992). Gelen kan i vissa fall expandera och därmed innebära risk för att betongen spricker. Exempel på reaktiv kvarts är i fallande reaktivitets-skala opal (amorf kvarts), cristobalit, tridymit, deformerad kvarts ”ribbon quartz”, suturerade kornfogar och mikrokristallin kvarts. En tregradig indelning har gjorts enligt RILEM AAR-1: 1) mycket osannolikt alkalireaktiv, 2) osäker eller potentiell risk, 3) mycket sannolikt alkalireaktiv. Resultaten presenteras i tabell 2.

Tunnslip av alla prover (bortsett från MGO035030A) har undersökts. De bergarter som bedömts tillhöra ASR-klass 3 är MGO035032A och MGO045024A. Bägge proverna är deformerade graniter. Dessa bergarter bör testas vidare med expansionsförsök av betongprismor (AAR-3) för att avgöra deras lämplighet som betongballast.

SAMMANSTÄLLNING AV BERGKVALITETSKARTAN

Med utgångspunkt från de analyser som gjorts på olika platser och som ansetts väl representera berggrunden har en karta över fördelningen av de olika bergkvalitetsklasserna gjorts. Med tanke på berggrundens heterogenitet blir sammanställningen översiktlig, men den kan ändå anses vara en värdefull riktlinje för användaren. Vanligen urskiljs områden med tre kvalitetsklasser, nämligen 1) god, 2) mindre god och 3) dålig kvalitet. Denna indelning baseras främst på kulkvarnsvärdena i relation till de krav som ställs i ATB VÄG 2004 (Vägverket 2004). Mer än 50 % av makadamproduktionen i Sverige går till vägbyggnation varför berggrund som är direkt olämplig för detta ändamål av ekonomiska skäl är mindre intressant för täktverksamhet. En bedömning har parallellt gjorts av övriga analysresultat (jfr Persson & Schouenborg 1995) såsom Los Angeles-värden, potentiell förekomst av alkalisilikareaktivt material samt geofysisk information. Det är viktigt att bergkvalitetskartan kompletteras med detaljundersökningar vid prospektering och planering för uttag av berg. Provtagningen har, om ej annat anges, omfattat enskilda bergartsled. Dessa resultat överensstämmer följaktligen inte helt med de som erhålles i producerat material.

Som framgår av analysdata, se främst tabell 1 och 2 samt figur 12, är spridningen inom de olika bergartsgrupperna relativt stor. Berggrunden i Mölndals kommun domineras av klass 3-material men större områden med klass 2-material och mindre zoner med klass 1-material förekommer. Många bergarter ger höga till mycket höga sprödhetstal på grund av den olämpliga mineralkornstrukturen. Den mylonitiserade RA-graniten har bedömts tillhöra klass 1. Denna dynamiskt deformerade granit har en ojämnkornig textur (fig. 11) vilket gör att den erhåller låga (6–7 %) kulkvarnsvärden. Inslaget av äldre bergarter (t.ex. mafiter) är lokalt högt i dessa bergartsled och detta tillsammans med intilliggande större massformiga



Figur 12. Diagram som visar de tekniska analysresultaten, 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 results of technical analysis, 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.

partier av RA-granit har resulterat i att klass 2-material dominerar inom de västra delarna av projektområdet. Fint medelkorniga graniter tillhörande A-sviten och fint medelkorniga, omkristalliserade ytbergartsgnejser har bedömts tillhöra klass 2. Även bland granodioriterna återfinns klass 2-material även om de flesta bedömts som klass 3-material. Samtliga tonaliter, grovporfyriska ögongnejser och de flesta grova ögonggraniter har bedömts som klass 3-material på grund av deras spröda egenskaper. Små, äldre mafitförekomster har vanligtvis en utpräglad polygonaltextur vilket gör dem olämpliga som ballastmaterial. Kärnpartierna i yngre, mafiska kroppar har i allmänhet en ofitisk textur och kan duga som klass 2-material. Kraftigt ådergnejsomvandlade till migmatitiserade bergarter har i många fall bedömts vara av sämre kvalitet i förhållande till omgivande berggrund. Starkt deformerad berggrund har i många sammanhang bedömts vara av bättre kvalitet gentemot omgivande berggrund på grund av en mer komplex, stark kornfog. Områden utsatta för grusvittring har bedömts som klass 3-material.

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 71 Bk*, 28 s.
- Eliasson, T. & Bastani, M., 2004b: Beskrivning till bergkvalitetskartan Trollhättans kommun. *Sveriges geologiska undersökning Ba 72 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 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 siktninganalys. *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.
- 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.
- Lindroos H. & Mellander H., 1980: Radiometrisk markundersökningar i Sabema AB:s stenbrott i Källered, Mölndals kommun. *Sveriges geologiska undersökning, berggrundsbyrån, Rapport BRAD 80003*, 19 s.
- Lundqvist, I. & Skiöld, T., 1993: U-Pb zircon dating of volcanic rocks of the Åmål Group, western Sweden. I T. Lundqvist (red.): Radiometric dating results. *Sveriges geologiska undersökning C 823*, 24–31.
- Lundqvist I., 1997: Beskrivning till berggrundskartan Kungsbacka SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 187*, 88 s.
- Lundqvist, I., 2000: Berggrundskartan över Göteborgs kommun, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ba 59*.
- 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).
- Mölndals kommun, Statsbyggnadskontoret, 2004: Översiktsplan 2004 – Mölndals stad. Samrådshandling april 2004, med tillhörande kartbilagor, *Stadsbyggnadskontoret*, 201 s.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Pamnert, M., 1998a: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 202Bk*, 16 s.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Pamnert, M., 1998b: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 203Bk*, 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 Provnings- 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, 2000: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method, *Materials and structures* 36, 480–496.
- RILEM Recommended test method AAR-3, 2000: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates

- method for aggregate combinations using concrete prisms, *Materials and structures* 33, 290–293.
- Samuelsson, L., 1978: Beskrivning till berggrundskartan Göteborg SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 117*, 85 s.
- Samuelsson, L., 1982: Beskrivning till berggrundskartan Kungsbacka NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 124*, 100 s.
- 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.
- Sundevall, S.E., 2002: Metodbeskrivning och radonriskkarta över Göteborgs och Mölndals kommuner. *SGU rapport 2002:27*. 64 s.
- Svensk Standard, 1997: SS-EN 1097-1: Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval). *Standardiseringen i Sverige*, 11 s.
- Svensk Standard, 1997: 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. *Standardiseringen i Sverige*, 35 s.
- Svensk Standard, 2004: SS 137003: Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige. *Standardiseringen i Sverige*, 19 s.
- Svensk Standard, 2004: SS-EN 933-4: Ballast – Geometriska egenskaper – Del 4: Bestämning av kornform – LT-index. *Standardiseringen i Sverige*, 11 s.
- Svensk Standard, 2004: SS-EN 1097-6: Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption. *Standardiseringskommissionen i Sverige*, 3 s.
- Svensk Standard, 2004: 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.
- Welin, E. & Samuelsson L., 1987: Rb-Sr and U-Pb isotope studies of granitoid plutons in the Göteborg region, southwestern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 109, 39–45.
- 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., Wilson, C. & Samuelsson, L., 1979: Undersökningar av gammastrålning inom det planerade bostadsområdet Balltorp samt Geo-strålningskarta över Mölndals kommun. *Sveriges geologiska undersökning, berggrundsbyrå. Rapport BRAP 79038*, 16 s.
- Åkerblom, G., Pettersson, B. & Rosén, B., 1990: Markradon. Handbok för undersökning av markradonförhållanden. *Byggforskningsrådets rapport R85:1988, reviderad utgåva 1990*, 160.

GEOFYSISK METODIK

Mölnåls kommun är täckt med moderna geofysiska flygmätningar (magnetiska, elektromagnetiska och radiometrisk) samt med tyngdkraftsmätningar (se Bilaga 1). Flygmätningarna utfördes under åren 1973 till 2000 med 200 meters linjeavstånd och 16–40 m punkttäthet på höjdnivån 30 m och, från och med 1995, på 60 m. Geofysiska flygdata används bl.a. vid en bedömning av potentiella sprickzoner i berggrunden, för att lokalisera områden med förhöjd gammastrålning samt för att planera de geofysiska markmätningarna. Vid flygmagnetiska mätningar uppmäts det jordmagnetiska fältets totalintensitet (fig. 4). Variationer i magnetfältet beror framförallt på olika bergarters innehåll av mineralet magnetit. Störningar i det magnetiska mönstret kan t.ex. indikera förkastningar i berggrunden. Lågmagnetiska, linjära zoner indikerar ofta sprickzoner i berggrunden.

Vid flygelektromagnetiska VLF-mätningar 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 förekomsten av elektriskt ledande mineral, t.ex. grafit och magnetkis. Fram till början av 1990-talet registrerades VLF-fältet vid de flesta flygmätningar endast från en sändare. En nackdel med dessa data är att responsen är beroende av riktningen till sändaren, dvs. ledande strukturer som sträcker sig vinkelrätt mot riktningen till sändaren kan inte identifieras. Vid flygmätningarna över Mölnåls kommun utnyttjades endast en sändare (fig. 5). Numera utförs VLF-mätningar med två sändare samtidigt och den riktningberoende effekten har eliminerats. Det är även möjligt att beräkna markens elektriska resistivitet från VLF-data vilket innebär att det nu är lättare att urskilja resistiva bergartsenheter från mer konduktiva (ledande) 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.

Strålningsdata från flygmätningar innehåller gammaspektrum av de naturliga radioaktiva grundämnena kalium (^{40}K), uran (^{238}U) och torium (^{232}Th). Information om halterna av dessa tre grundämnen utnyttjades för att identifiera områden med förhöjd gammastrålning (fig. 10). Halten av framförallt uran kan påverka bergartens användbarhet till betongballast.

Vid SGUs tyngdkraftsmätningar mättes den vertikala komponenten av gravitationsfältet. Avvikelser i fältet från ett referensfält (referensgeoidfält), s.k. Bougueranomali, avspeglar variationen 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 sprödhetstal <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 sprödhetstal <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, struktur, kornfogning och (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, dvs. med materialkvalitet motsvarande kvartsit eller porfyr, bedöms ej finnas i kommunen. 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 hydraulisk 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-töprovning (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.

