

Beskrivning till bergkvalitetskartan Borås kommun

Mattias Göransson & Hossein Shomali



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-862-3

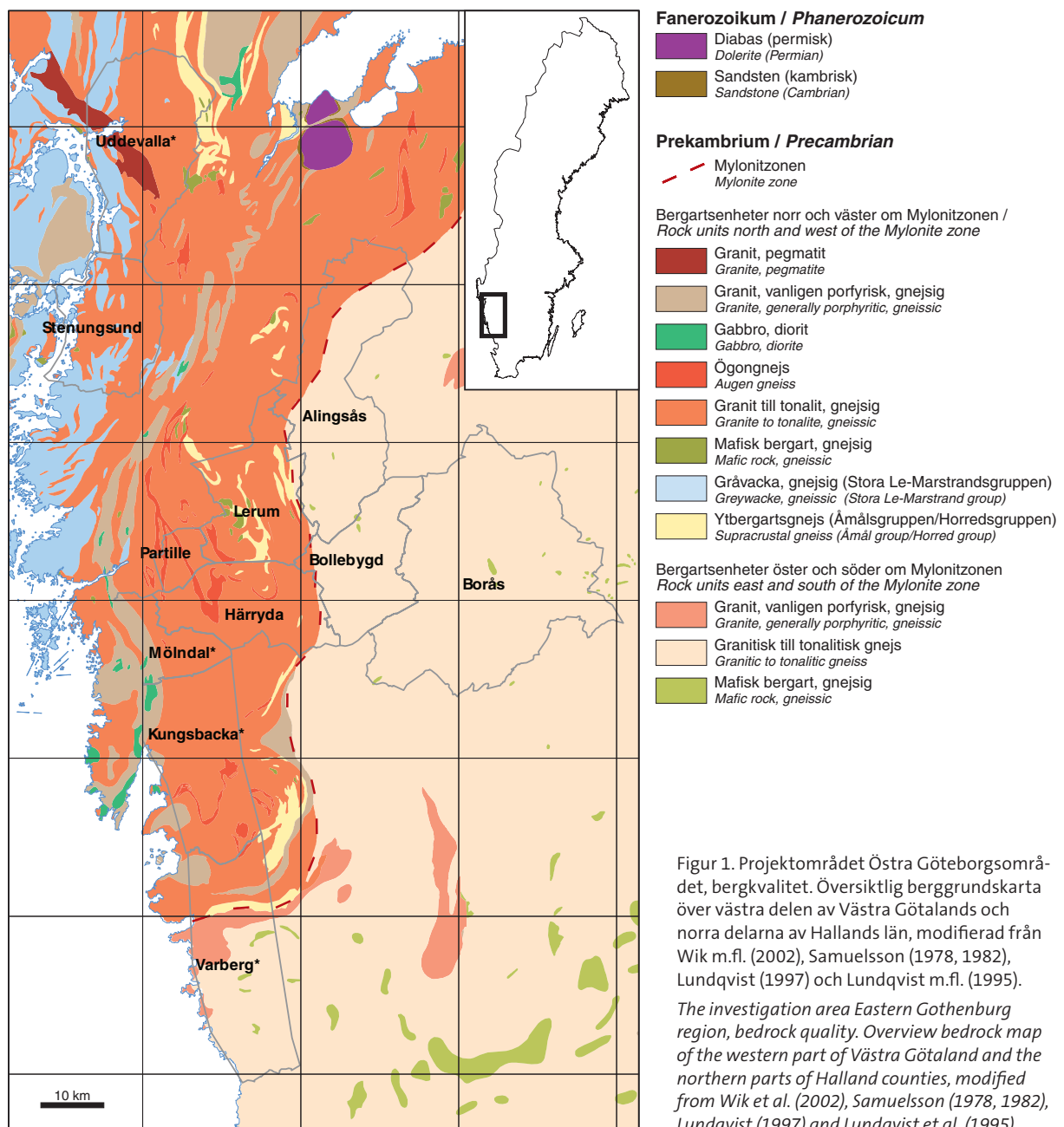
Omslagsbild: Krossad, medelkornig, ställvis bandad granitisk gnejs vid Kyllaredsmotet RV40, sträckan Brämhult–Dållebo. Foto: Mattias Göransson.

Crushed, medium-grained, in places banded granitic gneiss at Kyllaredsmotet RV40, section Brämhult–Dållebo.

© Sveriges geologiska undersökning, 2009
Layout: Jeanette Bergman Weihed, SGU

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- sichtsplaneringen ska bergkvalitetskartan kunna erbjuda ett geologiskt underlag för framtida markanvänd- ning och underlätta övergången från grus- till krossbergsproduktion. Bergkvalitetsundersökningen i Alingsås kommun har varit en del av projektet ”Östra Göteborgsområdet, bergkvalitet”, vilket startade år 2003 och slutfördes under 2006. Undersökning av bergkvaliteten inom hela projektområdet innefattade även kommunerna Alingsås, Bollebygd, Härryda, Kungsbacka, Lerum, Mölndal, Partille, Stenungsund, Uddevalla och Varberg (fig. 1). Bergkvalitetskartor för delar av Stockholms- och Göteborgsregionerna är redan utgivna. Under tiden 2003–2006 har SGU bedrivit kartering i övriga tätbefolkade områden i mellersta Sverige: Dalarna, Gävle, Sundsvall, Umeå, Örebro, Östergötland och östra Mälardalen.

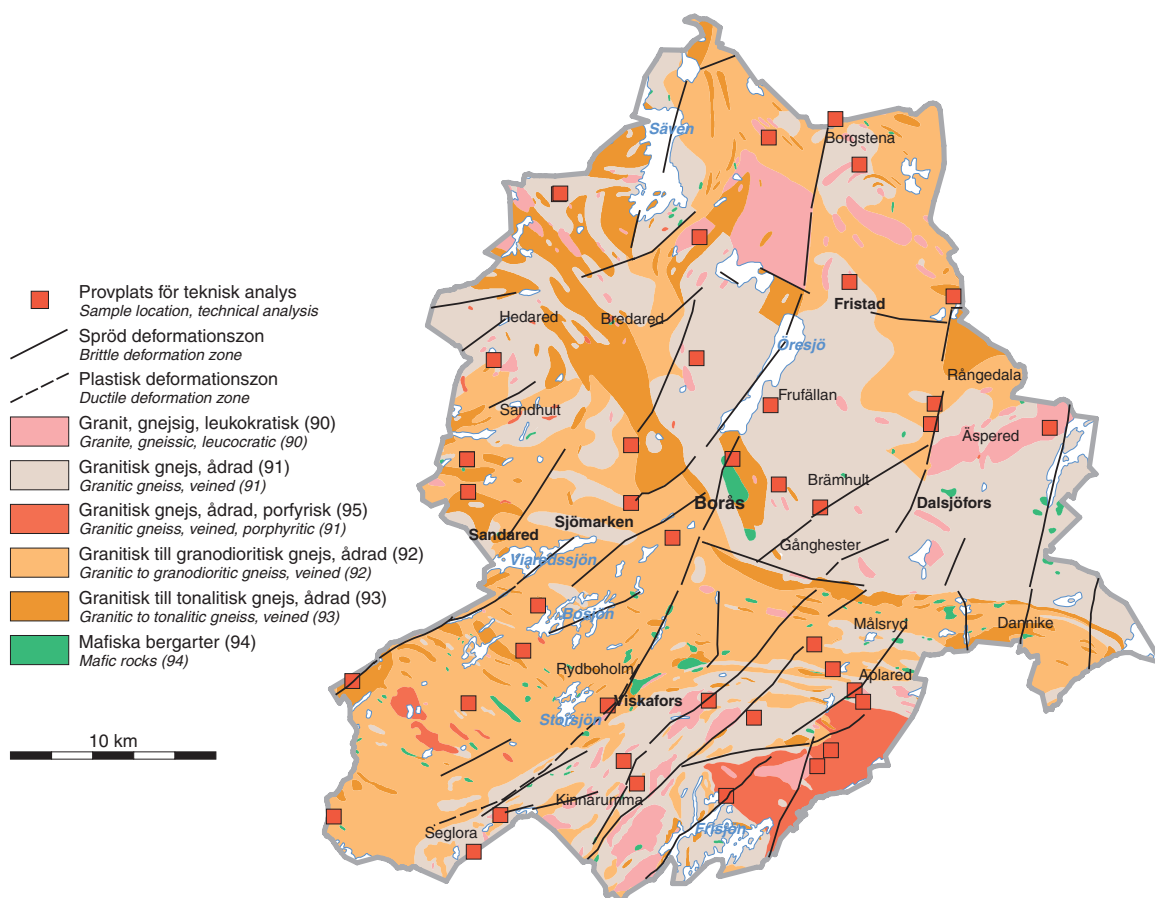


Arbetet med bergkvalitetskartan för Borås kommun har föregåtts av en generell läges- och behovsanalys i stora delar av Västra Götalands och norra delen av Hallands län. I denna analys har potentiella avnämare såsom länsstyrelser, kommuner, myndigheter, entreprenörer och konsulter intervjuats angående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

Undersökningsområdet inom Borås kommun omfattar 551 km² med en befolkning på ca 35 200 personer. I kommunen finns bland annat de större orterna Apled, Borgstena, Borås, Bredared, Dalsjöfors, Dannike, Fristad, Frufällan, Hedared, Gånghester, Kinnarumma, Målsryd, Rydboholm, Rångedala, Sandared, Sjömarken, Viskafors och Äspered. Alla koordinater är angivna i rikets nät.

I Borås kommun drivs bergtäkter på fyra platser: Ramnaslätt, NCC (granodioritisk och granitisk gnejs, 6404168/1325250), Falskog, Rångedala grus AB (porfyrisk, gnejsig granit, ådrad gnejs, 6408993/1340007), Borgstena, LBC (granodioritisk gnejs, 6422830/1335188) och Falskog, Vägverket (migmatitisk, granitisk gnejs, 6408017/1339836).

De tryckta berggrundskartorna i skala 1:50 000 med beskrivningar, 7C Borås SV (Ahlin 1980a, b) och 7C Borås SO (Ahlin 1983a, b), täcker ca 65 procent av kommunerna. De resterande 35 %, i huvudsak de södra delarna av Borås kommun, har karterats under tiden 2003 till 2006 inom projektet Östra Göteborgsområdet – berg, lokal. För den nordligaste spetsen av Borås kommun (<1 % av kommunens totala yta, 7C Borås NO) har länskartan ”Provisoriska översiktliga berggrundskartan Borås” (Samuelsson m.fl. 1988) använts som underlagsmaterial för bergkvalitetskarteringen. Berggrunden i kommunen består av prekambrisk bergarter (fig. 2) ursprungligen bildade för ca 1 670 miljoner år sedan.



Figur 2. Förenklad berggrundskarta över Borås kommun, modifierad från Ahlin (1980a), Ahlin (1983a) och Samuelsson m.fl. (1988) samt kartering inom projektet.

Simplified bedrock map of the municipality of Borås modified from Ahlin (1980a), Ahlin (1983a), Samuelsson et al. (1988) and mapping within the project.

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 (fig. 3) 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-analys (alkalisilikareaktivitetsanalys) 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 dels skett vid de flesta provlokalerna och dels på separata platser. Utöver de inom projektet provtagna lokalerna grundar sig bergkvalitetskartan på tidigare publicerade tekniska, petrografiska och geokemiska analyser från kommunala krossbergsinventeringar och SGUs berggrundskartering. Alla petrografiska data redovisas i tabell 1. Alla tekniska analysvärden redovisas i tabell 2.

På bergkvalitetskartan är bergartsstrukturer som foliation eller gnejsighet ihopdragna till s.k. strukturella formlinjer för plastisk deformation. 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 geofysiska underlagskartorna (se bilaga 1). En tolkning av morfologiska lineament (långsträckta sänkor i naturen) har gjorts på kartunderlag i skala 1:50 000 från Lantmäteriverkets höjddatabank. 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.

Data om djupet till urberget (jorddjupet) har erhållits från SGUs brunnsarkiv och redovisas i tre klasser, nämligen <2, 2–5 och >5 meter. Totalt redovisas 1 402 brunnar i databasen och i 213 av dessa är jorddjupet större än eller lika med 10 m. Det största jorddjupet, >49 m, finns i en brunn 400 meter väster om Gärstorp (6418020/1334080).

ALLMÄN GEOLOGI OCH GEOFYSIK

Berggrunden i Borås kommun är tämligen välblottad (ca 10–20 %) och genomskuren av nord–sydligt men främst nordostligt strykande sjösystem såsom Bosjön, Frisjön, Öresjö och Viskans dalgång. Sydväst



Figur 3. Vid provtagning väljs tre till fyra större block ut (ca 60 kg) som är representativa för berghällen. I detta heterogena prov varierar både kornstorleken, frekvensen av ådror och den mineralogiska sammansättningen. Vyn är ca 120 × 90 cm. Foto: Mattias Göransson.

For rock sampling, three to four larger boulders (c. 60 kg) that are representative for the outcrop are sampled. This particular sample is very heterogeneous showing a variation of both grain-size, the frequency of veins and the mineralogical composition. The field of view is c. 120 × 90 cm.

Tabell 1. Mineralfördelning (volymprocent) och kornstorlek (mm) hos bergarter från kartområdet Borås kommun. Bkod är en grupperingskod som baseras på bergartens stratigrafiska läge och sammansättning. "Övrigt" innefattar t.ex. allanit, granat, prehnit, zirkon och oidentifierade finkorniga mineral. Med kornstorlek avses storleksintervallet för huvuddelen av de enskilda mineralkornen 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 municipality of Borås. Rcode is a grouping parameter based on the stratigraphic position and composition of the rock. "Other" contains allanite, garnet, prehnite, 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	Kalifält-spatspat	Plagioklas	Biotit	Sericit	Klorit	Epidot	Titanit	Amfibol	Opak	Övrigt
Sample	Rock description	Rcode	Grain-size (mm)	Quartz	Pot. feldspar	Plagioclase	Biotite	Sericite	Chlorite	Epidote	Titanite	Amphibole	Opaque	Other
MGO035077A	Gabbro, svart, medelkornig	94	0,2–1,5 0,05–0,2	1,2		23,9	2,2	4,1	1,0			65,2	2,4	s
MGO035081A	Granitisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig, ådrad	91	0,5–3,0 0,1–0,3	39,8	21,2	25,4	4,2	7,7		0,2	s		1,2	0,4
MGO035082A	Granit, röd, medelkornig, gnejsig, migmatitisk	90	0,1–3,5	34,2	41,1	18,6	1,4	0,6	s	s	1,2		1,4	1,6
MGO035083A	Tonalitisk gnejs, grå, medelkornig, ådrad	93	0,1–4,8	17,4	4,2	45,7	11,5	5,4			0,6	14,5		0,8
MGO035084A	Granodioritisk gnejs, rödgrå, medelkornig, ådrad,	92	0,1–3,0	18,2	19,2	33,2	5,9	12,1	0,6	s	0,8	9,5	0,2	0,4
MGO045031A	Granitisk gnejs, röd, fint medelkornig till medelkornig, ådrad	91	0,1–2,5	48,5	29,4	14,0	6,0	0,8	0,3		0,3		0,5	0,2
MGO045033A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	0,1–1,0 1,0–2,0	33,6	41,5	14,7	6,0	0,8	0,8		0,7		1,2	0,7
MGO045034A	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig, bandad	92	0,5–3,0 0,1–0,5	26,2	33,0	13,5	16,3	6,7	2,2		1,0	s	0,6	0,5
MGO045041A	Granodioritisk gnejs, grå, fint medelkornig, ådrad	92	0,1–1,0 1,0–2,5	34,3	4,1	24,7	14,9	2,2	2,9		0,3	15,4	0,6	0,6
MGO045051A	Granitisk gnejs, gråröd, medelkornig, ådrad	91	0,1–3,0 3,0–6,0	41,9	18,4	19,5	12,2	3,0	0,3		0,5	3,4	0,3	0,5
MGO045055A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, migmatitisk	91	0,5–2,0 0,1–0,5	36,8	42,3	12,5	4,6	0,6	s		1,7		1,2	0,3
MGO045056A	Granitisk gnejs, rödgrå, medelkornig till grovt medelkornig, porfyrisk, veckad	95	0,5–2,5 0,1–0,5	29,3	27,8	10,0	11,5	5,5	3,9		1,8	8,4	0,8	1,0
MGO045057A	Granitisk gnejs, grå till rödgrå, medelkornig, bandad	91	0,1–2,0	39,8	26,7	11,4	10,5	1,8	1,8		0,8	5,1	1,7	0,4
MGO045059A	Granodioritisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig	92	0,1–2,0	38,7	16,1	18,7	13,9	2,5	0,6		1,1	6,4	1,8	0,2
MGO045060A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	0,4–1,5 0,1–0,4	38,3	36,6	16,9	5,9		0,3		1,2		0,6	0,2
MGO045061A	Granodioritisk gnejs, grå till rödgrå, medelkornig	92		36,2	34,9	14,1	6,3	1,4	1,2		0,8	4,4	0,2	0,5
MGO045062A	Granit, röd, medelkornig, gnejsig	91	0,1–1,0 1,0–2,5	51,4	32,2	10,8	1,6	0,5	1,3		1,0		1,0	0,2
MGO045063A	Granitisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig, ådrad	91	0,1–1,8 1,8–3,5	42,2	26,0	13,6	10,0	4,2	2,3		0,2		1,2	0,3
MGO045064A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	0,5–2,8 0,1–0,5	23,1	42,0	13,4	10,9	2,7	1,7		2,9	1,0	1,9	0,4
MGO045065A	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig till grovt medelkornig	92	0,1–2,0 2,0–2,8	29,9	17,5	17,9	23,4	4,2	0,6	0,3	0,8	4,9	0,3	0,2

Prov	Bergartsbeskrivning		Bkod	Kornstorlek (mm)	Kvarts	Kalifält- spat	Plagi- oklas	Biotit	Sericit	Klorit	Epidot	Titanit	Amfibol	Opak	Övrigt
Sample	Rock description		Rcode	Grain-size (mm)	Quartz	Pot. feldspar	Plagio- clase	Biotite	Sericite	Chlorite	Epidote	Titanite	Amphi- bole	Opaque	Other
MGO045066A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad		91	0,5–3,0 0,1–0,5	41,8	26,9	18,4	6,1	0,5	1,0		1,8	1,2	2,0	0,3
MGO045067A	Tonalitisk gnejs, röd till rödgrå, medelkornig, ådrad		93	0,5–3,0 0,1–0,5	26,0	2,5	35,6	11,9	3,4	4,8	0,6	1,0	13,3	0,6	0,3
MGO045068A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad		91	0,5–2,5 0,1–0,5	53,6	26,2	3,4	4,6	3,4	4,4	1,3	0,2	1,2	0,8	0,9
MGO045069A	Granitisk gnejs, röd till rödgrå, medelkornig, ådrad		91	0,5–3,0 0,1–0,5	40,3	23,0	19,4	7,4	3,0	1,8	0,8	1,4	0,4	1,2	1,3
MGO045070A	Tonalitisk gnejs, grå, medelkornig, ådrad, veckad		93	0,5–3,0 0,1–0,5	11,6	1,4	31,2	7,2	6,0	7,2	1,8	2,9	30,1	0,6	s
MGO045071A	Tonalitisk gnejs, grå, medelkornig, enklavförande		93	0,5–3,5 0,1–0,5	20,3	1,5	36,7	17,5	4,3	6,2	1,0	0,4	11,8	0,3	s
MGO045084A	Granodioritisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig		92	0,5–2,5 0,1–0,5	33,7	28,1	27,9	8,9						1,4	s
MGO045085A	Granodioritisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig, ådrad		92	0,1–1,5 1,5–3,5	15,4	54,8	14,2	7,3	1,8	2,3	0,8	1,2		1,6	0,6
MGO045085B	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad		91	0,1–1,7	34,4	7,0	21,4	13	8,6	7,2	1,6		6,8		s
MGO045087A	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig, bandad		92	0,1–1,5 1,5–2,5	31,9	6,4	30,4	17,3	1,6	2,4		0,3	8,6	0,5	0,6
MGO045088A	Granitisk gnejs, röd, fint medelkornig till medelkornig, enklavförande		91	0,1–1,5 1,5–3,5	38,5	33,3	11,0	4,6	7,2	2,7		0,8	0,3	0,3	1,3
MGO045090A	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad		95	0,1–1,0 1,0–2,0	35,6	38,5	18,9	2,0	1,6	0,3	0,6	1,2		1,2	0,1

Tabell 2. Tekniska analysvärden och användbarhetsklassificering av prover från Borås kommun för väg, järnväg och betong (se text). Bkod är bergartskod, ρ_s är korndensitet, ρ_3 är kulkvarnsvärde, LA är Los Angeles-värde, M_{DE} är micro-Devalvärde, I_{RA} är radiumindex, m_y är aktivtetsindex, SPM är sprickor per meter och ASR är alkalisitreaktivitet.

Technical analyses and classification of samples from the municipality of Borås for pavement constructions (mainly wearing courses), as railway trackbed ballast, and as concrete ballast. Rcode = rock code, ρ_3 = particle density, STT = studded tyre test value, LA = Los Angeles value, M_{DE} = micro-Deval value, I_{RA} = radium index, m_y = activity index, JPM = joints per meter and ASR = alkali silica reactivity.

Prov	N-S- koordinat	O-V- koordinat	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	Bkod	ρ_s g/cm ³	A_N %	LA %	M_{DE} %	I_{RA}	m_y	SPM	ASR	Bergkvalitetsklassning ² Väg	Järnväg	Betong
Sample	N-S coordinate	E-W coordinate	Rock description (field observation)	Rcode	ρ_s g/cm ³	STT %	LA %	M_{DE} %	I_{RA}	m_y	JPM	ASR	Rock quality classification Road	Railway	Concrete
MGO035077A	1318579	6411116	Gabbro, svart, medelkornig	94	3,02	19,8 ¹	23,1		0,06	0,16	3	1	3	1	1
MGO035081A	1325250	6404168	Granitisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig, ådrad	91	2,63	12,2	28,2	7,0	0,18	0,85	4	1	2,5	2	1
MGO035082A	1339836	6408017	Granit, röd, medelkornig, gnejsig, migmatisk	90	2,64	16,7	39,0		0,16	1,03	3	1	3	3	1,5
MGO035083A	1340924	6414217	Tonalitisk gnejs, grå, medelkornig, ådrad	93	2,74	21,2 ¹	41,2		0,19	0,59	2	1	3	3	1
MGO035084A	1336351	6420619	Granodioritisk gnejs, rödgrå, medelkornig, ådrad,	92	2,68	16,1	31,5		0,25	0,84	2	1	3	3	1
MGO045031A	1345614	6407835	Granitisk gnejs, röd, fint medelkornig till medelkornig, ådrad	91	2,63	11,4	30,4	7,6	0,27	1,08	2	1	2,5	2	1
MGO045033A	1336125	6395080	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	2,64	16,3	37,1	8,6	0,10	0,63		1	3	3	1
MGO045034A	1335066	6396097	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig, bandad	92	2,72	20,8 ¹	40,2	13,2	0,13	0,51		1	3	3	1,5
MGO045041A	1311707	6395529	Granodioritisk gnejs, grå, fint medelkornig, ådrad	92	2,72	17,3 ¹	29,6	11,7	0,04	0,37	3	1	2,5	1	1
MGO045051A	1334167	6397298	Granitisk gnejs, gråröd, medelkornig, ådrad	91	2,69	16,4	35,0	10,2	0,14	0,45	2	1	3	3	1
MGO045055A	1331230	6393750	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, migmatisk	91	2,63	15,1	36,9	15,1	0,07	0,51		1	3	3	1
MGO045056A	1340007	6408993	Granitisk gnejs, rödgrå, medelkornig till grovt medelkornig, porfyrisk, veckad	95	2,70	12,8	23,3		0,33	0,87	3	1	2	1,5	1
MGO045057A	1334455	6403965	Granitisk gnejs, grå till rödgrå, medelkornig, bandad	91	2,69	13,3	25,6					1	2	1,5	1
MGO045059A	1332429	6405084	Granodioritisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig	92	2,74	13,1	21,3		0,11	0,62		1	2	2	1
MGO045060A	1330185	6406309	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	2,64	11,7	23,0		0,11	0,68		1	2	1,5	1
MGO045061A	1335188	6422830	Granodioritisk gnejs, grå till rödgrå, medelkornig	92	2,76	19,8 ¹	33,8					1	3	3	1
MGO045062A	1331945	6421938	Granit, röd, medelkornig, gnejsig	91	2,63	9,31	25,3		0,20	0,83		1	1	1,5	1
MGO045063A	1328586	6417102	Granitisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig, ådrad	91	2,66	16,5	34,1		0,16	0,64		1	3	3	1
MGO045064A	1328439	6411206	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	2,65	13,9	33,4		0,10	0,66		1	3	3	1
MGO045065A	1325265	6406986	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig till grovt medelkornig	92	2,74	21,1 ¹	31,5		0,19	0,62	5	1	3	3	2
MGO045066A	1321748	6419172	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	2,67	21,0 ¹	47,7		0,25	0,86		1	3	3	1
MGO045067A	1321823	6419223	Tonalitisk gnejs, röd till rödgrå, medelkornig, ådrad	93	2,71	20,6 ¹	38,3		0,15	0,60		1	3	3	1
MGO045068A	1335878	6414917	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	2,64	15,9	40,0		0,17	0,85		2	3	3	1
MGO045069A	1332041	6408917	Granitisk gnejs, röd till rödgrå, medelkornig, ådrad	91	2,63	10,6 ¹	26,7		0,14	0,82	3	2	2	1,5	1
MGO045070A	1327265	6402481	Tonalitisk gnejs, grå, medelkornig, ådrad, veckad	93	2,83	21,8 ¹	35,5		0,13	0,41		1	3	3	1
MGO045071A	1320741	6399189	Tonalitisk gnejs, grå, medelkornig, enklavförande	93	2,76	8,5	28,2		0,05	0,41		1	3	2	1,5
MGO045084A	1317346	6404711	Granodioritisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig	92	2,64	14,0	36,4		0,11	0,60		1	3	3	1
MGO045085A	1317286	6406307	Granodioritisk gnejs, rödgrå till gråröd, medelkornig, ådrad	92	2,74	20,2 ¹	32,6		0,29	0,63		1	3	3	2
MGO045085B	1317286	6406307	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	91	2,65	13,2	35,9		0,17	0,56		1	3	3	1
MGO045087A	1320022	6396996	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig, bandad	92	2,77	18,1 ¹	26,8		0,25	0,49	4	1	2,5	2	2
MGO045088A	1324894	6391632	Granitisk gnejs, röd, fint medelkornig till medelkornig, enklavförande	91	2,65	12,5	28,2		0,13	0,84	3	1	2	1,5	1
MGO045090A	1334965	6392153	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, ådrad	95	2,65	15,0	37,0		0,16	0,84		1	3	3	1
MGO060001	1329029	6394573	Granitisk gnejs, rödgrå, medelkornig, bandad	91	2,65	13,8		8,3 ¹				2,5	2,5	1	1

Prov	N-S- koordinat	O-V- koordinat	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)		Bkod	ρ_s g/cm ³	A _N %	LA %	M _{DE} %	I _{RA}	m _r	SPM	ASR	Bergkvalitetsklassning ²	
Sample	N-S coordinate	E-W coordinate	Rock description (field observation)		Rcode	ρ_s g/cm ³	STT %	LA %	M _{DE} %	I _{RA}	m _r	JPM	ASR	Road	Railway
MGO060002	1325550	6390538	Granodiorit, grå, medelkornig, ådrad		92	2,69	19,7	36,8	11,0 ¹	0,09	0,64			3	1
MGO060003	1310805	6388938	Granodioritisk gnejs, grå-röd till rödgrå, fint medelkornig till medelkornig, ådrad		92	2,69	16,5	35,6	10,8 ¹	0,10	0,43			3	1
MGO060004	1317613	6387228	Granodioritisk gnejs, grå, medelkornig, ådrad		92	2,68	15,4	30,8	10,5 ¹			3		2,5	1
MGO060005	1318915	6389014	Granitisk gnejs, röd till grå-röd, finkornig till fint medelkornig, migmatitisk		90	2,63	19,7	36,8	11,0 ¹	0,25	0,93			3	1
MGO060006	1317356	6394440	Granitisk gnejs, grå-röd till rödgrå, fint medelkornig till grovt medelkornig, ådrad		91	2,66	15,1	37,7	9,8 ¹	0,13	0,59			3	1
MGO060007	1324116	6394341	Granitisk gnejs, röd, medelkornig, bandad, ådrad		91	2,66	11,5			0,15	0,79			2	1
MGO060009	1329889	6389951	Granit, röd, medelkornig, gnejsig, ådrad		95	2,67	17,0	41,0	9,2 ¹	0,20	0,82	2		3	1
MGO060010	1334300	6391384	Granit, röd, medelkornig, gnejsig, migmatitisk		90	2,63	9,8	31,7	6,5 ¹	0,14	0,81			2,5	1
MGO060011	1336535	6394511	Granitisk gnejs, röd till grå-röd, medelkornig, enklavförande, ådrad		91	2,63	11,5							2,5	1
MGO05536A ⁵	1321500	6412020	Granitisk gnejs, migmatitisk			2,60	16 ³	50 ⁴							
MGO05527A ⁵	1328150	6399850	Granitisk gnejs, rödgrå			2,62	14,0	35 ⁴							
MGO05519A ⁵	1341250	6408650	Granitisk gnejs			2,63	21 ³	52 ⁴							
MGO05537A ⁵	1324750	6386450	Granitisk gnejs, grå			2,63	20 ³	39 ⁴							
MGO05528A ⁵	1328700	6399250	Granitisk gnejs, grå till grå-röd			2,64	20,3	41 ⁴							
MGO05520A ⁵	1336250	6405750	Granitisk gnejs, röd			2,65	15,8	40 ⁴							
MGO05521A ⁵	1335750	6403800	Granitisk gnejs, röd			2,66	17,0	39 ⁴							
MGO05523A ⁵	1334900	6402850	Granitisk gnejs, röd till grå-röd			2,67	17,3	41 ⁴							
MGO05530A ⁵	1328500	6399000	Granodioritisk gnejs			2,70	19,9	36 ⁴							
MGO05534A ⁵	1319000	6392650	Granodioritisk gnejs, grå, fint medelkornig			2,72	25 ³	36 ⁴							
MGO05529A ⁵	1328500	6399000	Granodioritisk gnejs, grå till grå-röd			2,73	24,9	35 ⁴							

¹ Dubbelprovsanalyser.

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

³ Kulkvärnsvärdet beräknat genom slipvärdet (A_N = 7,7N – 4,5).

⁴ Los Angelesvärdet beräknat genom sprödhetsstalet, LA = (s – 26,1)/0,82.

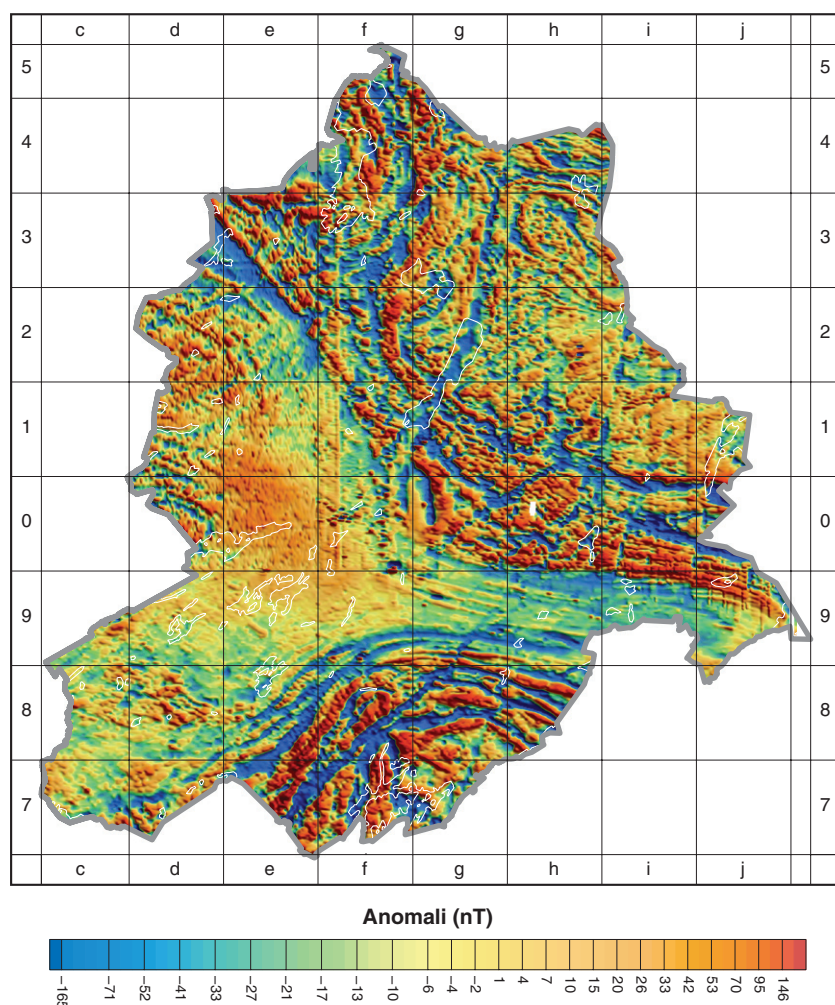
⁵ Analyser från "Berg för korsning i Borås kommun" (Ahlin 1992).

om Borgstena, sydsydost om Sandhult, öster om Fristad och sydsydväst om Dalsjöfors finns större slättområden med dålig blottningsgrad.

Berggrunden inom Borås kommun tillhör det Östra segmentet av den Svekonorvegiska provinsen. Karteringsområdet domineras av gnejser med olika sammansättning (se fig. 2) och en ålder av ca 1 700–1 670 miljoner år (Scherstén m.fl. 2000, Andersson m.fl. 2002, Hegardt m.fl. 2005). Enstaka inslag av leukokratiska, anatektiska graniter och mindre gabbrokroppar förekommer. Även tunna mafiska inneslutningar (boudiner) förekommer i gnejserna. Den metamorfa graden är mycket hög (övre amibolit-till högtrycksgranulitfacies) och gnejserna är vanligtvis bandade, uppsmälta (anatektiska) eller kraftigt ådrade. Tektoniska och metamorfa processer har överpräglad den ursprungliga texturen (Ahlin 1983b).

Öster om deformationszonen genom Viskadalen är förekomsten av röda leukokratiska graniter hög. I detta område dominerar annars rödgrå till röda graniter. Öster om Viskans dalgång har inte heller några metabasitboudiner med mineralogi motsvarande högtrycksgranulitfacies påträffats.

Den magnetisk anomalikartan medger en detaljerad tolkning av bergarternas lägen (fig. 4). Kartan visar områden med skilda magnetiska fältstyrkor. Den magnetiska kartan uppvisar olika mönster (veckade, bandade, oregelbundna eller linjära stråk). Det bandade mönstret återger berggrundens strukturella drag. Dessutom framkommer dislokationer mellan bergarter som lågmagnetiska drag. Mätningar av bergarternas fysikaliska parametrar indikerar att de band som har den starkaste magnetiseringen med mycket stor sannolikhet består av bergarter med låg till mycket låg densitet (järn-magnesiumfattiga bergarter, t.ex. graniter), medan banden med svag magnetisering kan bestå av vilka som helst av de i området före-



Figur. 4. Magnetisk anomalikarta över Borås kommun. Kartan visar magnetfältet efter filtrering för att framhäva anomalier orsakade av ytliga strukturer (på djup ned till ca 250 m).

Map of the magnetic anomalies in the bedrock of Borås municipality. The map shows the magnetic field after filtering to enhance anomalies caused by shallow objects (at depths of approximately 0–250 m).

kommande bergarterna (Ahlin 1983b). Anomaliernas riktning visar bergarternas generella strykning. Utbredningen av storskaliga tektoniska strukturer, såsom veck, framgår av mönstret av magnetiska anomalier. Berggrunden i området har utsatts för omfattande veckning. Generellt sett är vecken öppna mot öster i norra delen av kartområdet. Dessa strukturer syns tydligare i den magnetiska kartbildens nordöstra del. Ett tydligt exempel finns i undersökningsområdets nordvästra hörn där ett ostligt stupande veck markeras av positiva magnetiska anomalier.

Anomalistyrkan i norra delen av kommunen är jämförelsevis låg. De flesta anomalier uppgår till några få hundratal nT. Den rikliga förekomsten av negativa anomalier i norra delen av kartbilden är delvis en konsekvens av den tekniska bearbetningen av grundmaterialet. Det förekommer dock några markanta negativa anomalier, som tycks bero på remanent magnetiserade bergarter med låg densitet (Ahlin 1983b). Kartbilden illustrerar det plastiska deformationsmönstret med stora och små veck. Ost–västliga veckaxlar dominerar.

I kartområdets västra del förekommer en positiv anomali på den magnetiska anomalikartan. Anomalin visar ganska svaga horisontella gradienter. Detta tyder på att anomalin är orsakad av djupt liggande bergarter. Bergarterna är gnejser med granitisk eller tonalitisk sammansättning. Susceptibiliteten varierar från 3×10^{-5} SI-enheter (i östra Sandared) upp till $3\,570 \times 10^{-5}$ SI-enheter (i södra Hemsjön) med medelvärdet 522×10^{-5} SI-enheter. Inslag av mafiska bergarter (susceptibilitet mellan 41 och 74×10^{-5} SI-enheter) förekommer.

De granitiska och granitiska till granodioritiska gnejserna, som ytmässigt dominerar i den norra delen av undersökningsområdet (7C Borås SV och SO) visar låga densiteter, ca $2,64 \text{ g/cm}^3$. Gnejser med låg densitet (mellan $2,58$ och $2,70 \text{ g/cm}^3$) kan uppnå en susceptibilitet som motsvarar 1–4 % magnetit. Susceptibiliteten varierar från 3×10^{-5} SI-enheter (väster om sjön Säven) upp till $2\,940 \times 10^{-5}$ SI-enheter (söder om Rångedala) med medelvärdet 767×10^{-5} SI-enheter. Det finns också inslag av amfibolit med susceptibilitet mellan 62 och 77×10^{-5} SI-enheter och kvartsdiorit med susceptibilitet mellan 35 och 269×10^{-5} SI-enheter.

Lägre susceptibilitetsvärden kan bero på effekten från paramagnetiska mineral, medan högre nivåer endast kan fås genom effekten från ferromagnetiska mineral (dessa är nästan alltid magnetit). I norra delen av kartområdet förekommer de högsta susceptibilitetsvärdena i bergarter med låg densitet. Den remanenta magnetiseringen visar jämförelsevis höga värden i bergarter med utpräglat låg respektive hög densitet. I mellanliggande breda densitetsintervall är däremot den remanenta magnetiseringen låg (Ahlin 1983b).

Bergarterna i södra delen av kartområdet (6C Kinna NV och NO) domineras av gnejsig granodiorit till tonalit. Susceptibiliteten varierar kraftigt i dessa bergarter, från 1×10^{-5} SI-enheter (norra Frisjön) upp till $8\,640 \times 10^{-5}$ SI-enheter (sydöstra Borås) med medelvärdet 740×10^{-5} SI-enheter. Inom den här delen av kartområdet förekommer amfibolit som små, utdragna kroppar med en susceptibilitet mellan 53×10^{-5} SI-enheter (nordväst om Aplared) och $4\,130 \times 10^{-5}$ SI-enheter (norr om Gånghester) med medelvärdet 935×10^{-5} SI-enheter. Lokalt förekommer små partier av en diorit med susceptibilitet mellan 31 och 108×10^{-5} SI-enheter och gabbro med susceptibilitet mellan 69 och 581×10^{-5} SI-enheter samt pegmatit med en susceptibilitet mellan 5 och 125×10^{-5} SI-enheter.

BERGARTERNAS UTSEENDE, SAMMANSÄTTNING OCH EGENSKAPER

Bergartsbeskrivning

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 mineralogiska och tekniska analyser (tab. 1 och 2). De viktigaste bergartsenheter i Borås kommun finns redovisade i tabell 3.

Mafiska bergarter (Bkod 94)

Svarta, finkorniga till grovt medelkorniga, vanligtvis jämnkorniga, mafiska bergarter (amfibolit, diorit och gabbro) förekommer som ställvis boudinerade, ganska små kroppar intill gnejserna. Några större kroppar förekommer, till exempel direkt nordost om Borås, söder om Äspered och öster om Rydboholm. Bergarterna är i allmänhet helt omkristalliserade. Lokalt är vissa av dessa bergarter granatförande.

Granodioritisk till tonalitisk gnejs, ådrad (Bkod 93)

Den granodioritiska till tonalitiska gnejsen är grå till mörkt grå, vanligen medelkornig, ådrad och ställvis enklavförande. Även gnejs med kvartsmonzodioritisk sammansättning förekommer. Den granodioritiska till tonalitiska gnejsen (fig. 5) är mer enklavförande än den granodioritiska till granitiska varianten.

Granitisk till granodioritisk gnejs, ådrad (Bkod 92)

Granitisk till granodioritisk gnejs är den dominerande bergarten i kommunen. Den parallellorienterade texturen är markerad genom biotitflak. Färgen är rödgrå till gråröd, kornstorleken medelkornig och strukturen är ställvis migmatitisk.

Tabell 3. Bergartsenheter i Borås kommun.

Rock units in the municipality of Borås.

Bergartsenhet Rock unit	Bergartskod* Rock code
Granit, gnejsig, leukokratisk	90
Granitisk gnejs, ådrad, ställvis porfyrisk	91, 95
Granitisk till granodioritisk gnejs, ådrad	92
Granodioritisk till tonalitisk gnejs, ådrad	93
Mafiska bergarter	94

*Bergartskoden (Bkod) är baserad på bergartens stratigrafiska läge och sammansättning.



Figur 5. Grå, medelkornig, ådrad, tonalitisk gnejs (MGO035083A) med dåliga tekniska egenskaper, $A_N = 21,2\%$ och $LA = 41,2\%$. Vyn är ca 80×60 cm. Foto: Mattias Göransson.

Grey, medium-grained, veined, tonalitic gneiss (MGO035083A) with poor technical properties, $STT = 21.2\%$ and $LA = 41.2\%$. The field of view is app. 80×60 cm.

Granitisk gnejs, ådrad, ställvis porfyrisk (Bkod 91, 95)

Röd till rödgrå, fin- till medelkornig, granitisk gnejs (Bkod 91) är vanligt förekommande i hela kommunen. Ställvis är hela bergarten ådergnejsomvandlad (stromatisk migmatit). I de sydöstra delarna, söder om Aplared men även söder om Rångedala kyrka, förekommer grovporfyrisk, granitisk gnejs (Bkod 95, fig. 6). Kalifältspatströkornen är ca 2–5 cm stora och ställvis helt omkristalliserade.

Granit, gnejsig, leukokratisk (Bkod 90)

Ljust röd till ljust gråröd, fin- till medelkornig leukokratisk granit (fig. 7) förekommer dels i norra delen av Borås kommun, norr om Fristad, dels i de östra delarna vid Äspered men även i de södra delarna öster om Kinnarumma. Bergarten är ställvis gnejsig och ställvis migmatitiserad.



Figur 6. Rödgrå till gråröd, medelkornig, veckad, grovporfyrisk granitisk gnejs (MGO045056A), med läkta, oxiderade tensionssprickor (röda) och moderata tekniska egenskaper, $A_N = 12,8\%$ och $LA = 23,3\%$. Vyn är ca 70×100 cm. Foto: Mattias Göransson.

Reddish grey to greyish red medium-grained, folded, coarsely porphyritic granitic gneiss (MGO045056A) with sealed, tension cracks (reddish hue due to oxidation) and moderate technical properties, $STT = 12.8\%$ and $LA = 23.3\%$. The field of view is approximately 70×100 cm.



Figur 7. Röd, fint medelkornig, jämnkornig, omkristalliserad, leukokratisk granit (MGO060005A) med dåliga tekniska egenskaper, $A_N = 19,7\%$ och $LA = 36,8\%$. Vyn är 15×10 cm. Foto: Mattias Göransson.

Red, fine-grained, even-grained, recrystallised, leucocratic granite (MGO060005A) with poor technical properties, $STT = 19.7\%$ and $LA = 36.8\%$. The field of view is 15×10 cm.

Petrografisk analys

Bergartsprovernans mineralsammansättning och ingående minerals 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 bestämmer 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 (accessorier). För att uppskatta mängden sulfider identifierades opaka mineral (malmmineral) med reflektionsmikroskopi. Vidare har en uppskattning av ingående mineralkorns storlek och bedömning av kornfogar genomförts. I samband med högtemperaturdeformation har stora delar av berggrunden erhållit en granoblastisk, omkristalliserad textur, där kornen har en låg grad av sammanväxning (statiskt omkristalliserade).

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 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. Högst halter av skiktsilikat (främst biotit) har granodioritiska och tonalitiska gnejser (8–24 %). Två prover, en granodioritisk och en tonalitisk gnejs (MGO045065A, ca 5 km nordväst om Borås stad och MGO045071A, väster om Bosjön) har båda 24 % glimmer var. En granitisk gnejs (MGO045085B) har 20 % skiktsilikat (13 % biotit och 7 % klorit).

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, ska studeras inom vägutredningsområden. Normalt korrelerar svavelhalten i ett bergmaterial mot mängden sulfidmineral. Vid en svavelhalt högre än 0,3 viktsprocent i bergmaterialet, vilket ungefär 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 t.ex. övertäckning eller deponering under grundvattenytan. Hög svavelhalt ska också undvikas om man planerar att använda materialet till betong. Om sulfidinnehållet är högt bör materialet analyseras kemiskt för att bestämma totalhalten av svavel.

Relativt många prover (>80 %) har en hög halt av opaka mineral (>0,3 %). I huvuddelen av proverna utgörs de opaka mineralen av oxider framför sulfider. Den relativa mängden sulfider i 28 bergartsprover med mer än 0,3 volymprocent opaka mineral redovisas i tabell 4.

Två bergartsprover, en granodiorit (MGO045087A) och en tonalit (MGO045070A), har eventuellt en sulfidhalt som överstiger 0,3 volymprocent (tabell 4) vilket innebär att de kan vara olämpliga att använda i betong-, väg- och järnvägssammanhang utan att speciella åtgärder vidtas eller mer detaljerade undersökningar görs.

Geofysiska parametrar

Den mineralogiska sammansättningen i bergarten avgör de geofysiska egenskaperna. Detta gäller framför allt susceptibiliteten som återger förekomsten av magnetit. Med susceptibilitetsmätningar utförda på

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 bestämd 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 table 1).

Provbezeichnung	Opak %	Oxider Oxides			Sulfider Sulphides	
Sample	Opaque %	Magnetit Magnetite	Ilmenit Ilmenite	Hematit Hematite	Pyrit Pyrite	Kopparkis Chalcopyrite
MGO035077A	2,4		+++		+	(+)
MGO035081A	1,2	+++	+	(+)	+	
MGO035082A	1,4	+++	(+)			
MGO045031A	0,5	+++	++		(+)	
MGO045033A	1,2	+++	+			
MGO045034A	0,6	+++		(+)	+	(+)
MGO045041A	0,6	+++			+(+)	(+)
MGO045051A	0,3				+++	(+)
MGO045055A	1,2	+++	+		++	(+)
MGO045056A	0,8	+++			+	(+)
MGO045057A	1,7	+++	+			
MGO045059A	1,8	+++			+	(+)
MGO045060A	0,6	+++			(+)	
MGO045062A	1,0	+++			+	
MGO045063A	1,2	+++	+			
MGO045064A	1,9	+++	(+)			
MGO045065A	0,3	+++		++		(+)
MGO045066A	2,0	+++	(+)		(+)	
MGO045067A	0,6	++		+++		
MGO045068A	0,8	+++			(+)	
MGO045069A	1,2	+++	++		+	
MGO045070A	0,6	++			+++	(+)
MGO045071A	0,3	+++			+	
MGO045084A	1,4	+++	++		+	(+)
MGO045085B	1,6	+++	+		(+)	
MGO045087A	0,5	+			+++	(+)
MGO045088A	0,3	+++	(+)			
MGO045090A	1,2	+++	+			

provtagningens lokaler och på bergartsprover i laboratorium kan man bättre förstå och tolka mönstret på den magnetiska anomalikartan.

Densitetsmätningar är en indikator på bergartens mineralsammansättning. Bergarter med låg densitet (t.ex. 2,60–2,70 g/cm³) domineras av ”lättare” mineral som kvarts och kalifältpat, vilka är vanliga i granit, och bergarter med hög densitet (t.ex. 2,78–3,00 g/cm³, tonalit och mafiska bergarter) 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 samtliga 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 som har resulterat i en överpräglade foliation eller gnejsighet (parallellställning och utdragning av mineral) eller i en veckning (böjning) av lagrade eller bandade bergarter. 2) Spröd deformation som har gett upphov till sprickor och förkastningar.

Plastisk deformation har skett under två perioder med bergskedjebildning och tillhörande regionalmetamorfos (storskalig omvandling). Samtliga bergarter är på grund av detta mer eller mindre gnejsiga. I stora delar av kommunen är bergarterna också mer eller mindre ådrade.

Utöver den övergripande omvandlingen har enstaka bergarter drabbats av efterföljande och stråkvisa plastiska deformationer som resulterat i att dessa bergarter blivit mer eller mindre mylonitiserade. Detta gäller framför allt bergarter relaterade till Viskans dalgång (fig. 8). Dessa åskådliggörs på bergkvalitetskartan med symbolen ”plastisk deformationszon”. Endast på ett annat ställe finns någon observation av mylonitiserad berggrund dokumenterad, nämligen vid Lövåsen, ca 1,3 km sydsydväst om Rångedala kyrka. Även spröda deformationszoner förekommer i nord–sydliga till nordostliga stråk, vilka framträder som förkastningar på den magnetiska anomalikartan (fig. 4) eller som goda naturliga ledare (förmodligen uppsprucken och vattenförande) på den elektromagnetiska kartan (VLF, fig. 9).

Tolkningen av den magnetiska anomalikartan har också omfattat magnetiska dislokationer. Dessa framträder som magnetiska minima. Dislokationerna är främst orienterade i nordnordostlig eller väst-nordvästlig riktning. Förskjutningar kan endast observeras i anslutning till bergarter med tillräckligt stora skillnader i magnetisk fältstyrka. Ett antal dislokationer har identifierats i den norra delen av den magnetiska anomalikartan. Av dem är en del kända från den geologiska kartan (Ahlin 1980a, 1983a). Förkastningarna har orsakat förskjutningar av bergarternas strukturer. De senare ger upplysningar om förkastningarnas språnghöjd och rörelseriktning. I norra delen av undersökningsområdet har äldre förkastningar företrädesvis en orientering i nordnordostlig riktning medan yngre förkastningar oftare visar nordvästlig riktning (Ahlin 1983b). Den dominerande dislokationsriktningen i undersökningsområdet är nordostlig. Dock har även mera västnordvästliga och enstaka nord–sydliga dislokationer påträffats.

De elektriska ledarna visas på den elektromagnetiska (VLF) kartan (fig. 9), där blå färg indikerar bättre ledningsförmåga. Fram till början av 1990-talet registrerades vanligen endast det elektromagnetiska fältet (VLF) 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. För stora delar av Borås kommun har vid flygmätningarna endast en sändare utnyttjats, varför de mest dominerande riktningarna för områdets lineament är nordostliga och nordvästliga. Numera utförs VLF-mätningar med två sändare samtidigt och den riktningsberoende effekten har eliminerats. Två sändare utnyttjades över kartområdet 6C Kinna NV och NO.

De lineament som redovisas på kartan är relativt rätlinjiga, lågmagnetiska zoner. Zonerna kan vara orsakade av förkastningar, sprickgrupper eller sprickor. Lågmagnetiska linjära zoner indikerar ofta sprickzoner i berggrunden. Några zoner kan även identifieras som tydliga anomalier på VLF-kartan.



Figur 8. Röda till grå, fin- till medelkorniga, bandade gnejser vid Viskans dalgång, ca 5 km sydväst om Viskafors. Vyn är ca 100 × 140 cm. Foto: Mattias Göransson

Red to grey, fine- to medium-grained, banded gneisses by the Viskan valley, approximately 5 km south-west of Viskafors. The field of view is approximately 100 × 140 cm.

Sprickriktning och spricktäthet har bedömts vid 22 provlokaler. Tätheten anges som antal sprickor per meter (SPM, se tabell 2). Sprickornas orientering (strykning och stupning) redovisas i stereogram där sprickplanen anges som storcirklar och de associerade polerna till planen visas med konturering för att spegla frekvensen av antalet mätningar med samma orientering.

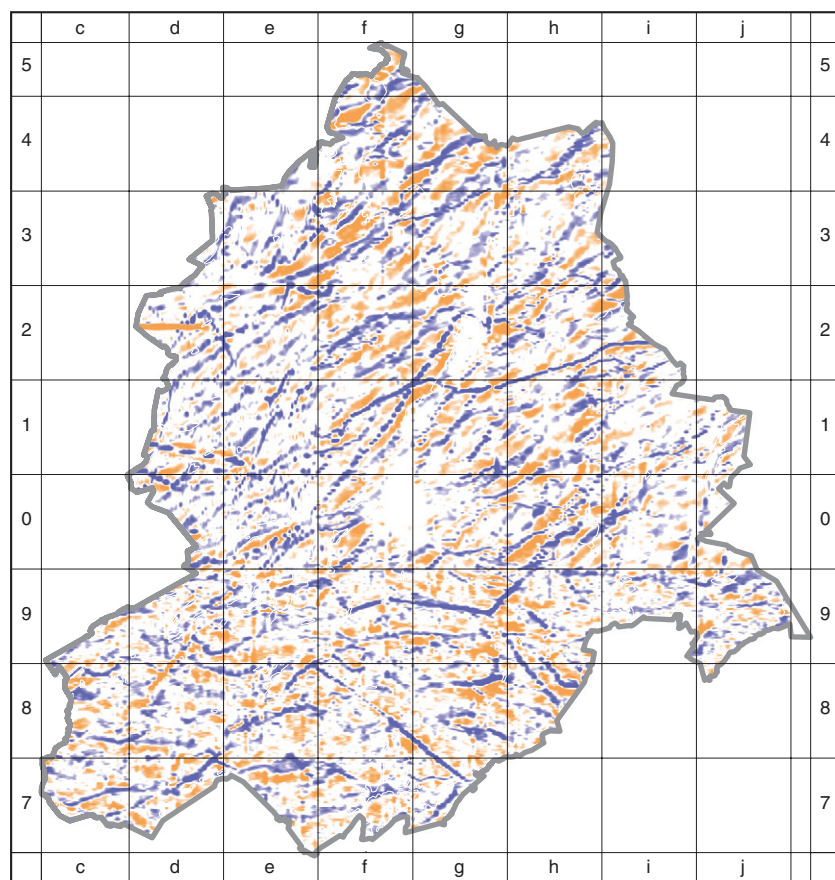
Sprickornas orientering varierar i olika delar av kommunen beroende på berggrundens geologiska och tektoniska utveckling. Dominerande sprickorienteringar visas i tabell 5. Stupningen redovisas som horisontellt (0°), subhorisontellt (1–10°), flackt (11–30°), moderat (31–60°), brant (61–80°), subvertikalt (81–89°) eller vertikalt (90°) lutande sprickplan, med en stupningsriktning 90° höger om strykningsriktningen (högerhandsregeln).

Omkring 60 procent av alla uppmätta sprickor (totalt 407) stupar brant till moderat, 30–80 grader, åt främst nordost och östsydost med varierande strykningsriktningar, främst i nordnordost (ca 20 %).

Tabell 5. Dominerande sprickorienteringar.

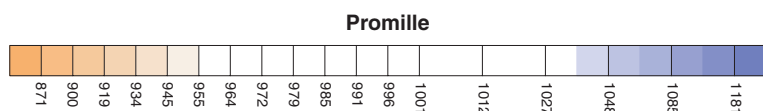
Dominating fracture orientations.

Strykning <i>Strike</i>	Stupning på sprickplan <i>Dip of fractures</i>
~ Nord-sydlig ~ North-south	Brant till vertikalt mot öst Steep to vertical to the east
~ Nordvästlig ~ North-westerly	Moderat och subvertikalt mot nordost Moderately and subvertical to the north-east
~ Nordnordöstlig ~ North-north-easterly	Brant mot sydsydost och västnordväst Steep to east-south-easterly and west-north-westerly
~ Ost-västlig ~ East-west	Mot norr och söder To the north and the south



Figur 9. Elektromagnetisk karta (VLF) över Borås kommun. Kartan visar intensiteten av totalmagnetfältet för 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 större sprickzoner i berggrunden men även kraftledningar och andra störkällor.

Electromagnetic map (VLF) of Borås municipality. The map shows the amplitude of the magnetic field of 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.



Brant stupning åskådliggörs i stereogrammen genom att de konturerade polerna ligger närmare centrum. Lokalerna med brantast medelvärde för sprickor (77° respektive 75°) finns i den norra delen av kommunen (i närheten av Borgstena). I allmänhet är en av de uppmätta sprickgrupperna från respektive lokal mer eller mindre planparallell med foliationen i berggrunden. I första hand är de nordvästliga och de nordnord-ostliga sprickriktningarna (se tab. 5) planparallella med de stortektoniska lineamenten som identifierats från det geofysiska underlagsmaterialet eller från topografisk information. Även de nord-sydliga och de ost-västliga återfinns, om än i mindre omfattning än de förstnämnda.

BERGGRUNDENS STRÅLNINGSEGENSKAPER

Gammastrålningsmätningar

De radiometriska kartorna (kalium, uran och torium) samt berggrundsinformationen över kommunen har legat till grund för planering av gammastrålningsmätningar på berghällar. Tre typer av handburna instrument användes: scintillometrar av typerna EXPLORANIUM GR 110 samt gammaspektrometrar av typerna EXPLORANIUM GR 320 och GR130. Vid dessa mätningar har den totala gammastrålningen samt halten av kalium-40, uran-238 och torium-232 bestämts. Bland de sistnämnda har kalium erhållits i procent och uran och torium i ppm. Radiumindex är ett mått på radiuminnehållet i ett material. Det 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. Aktivitets- och radiumindex har beräknats för samtliga mätpunkter och lagrats i SGUs databaser.

Enligt rekommendationer från de nordiska ländernas strålskyddsinstitutioner bör aktivitetsindex för byggnadsmaterial vara mindre än 2,0 och radiumindex mindre än 1,0. Undantagsnivån är för aktivitetsindex 1,0 och för radiumindex 0,5. (The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden 2000).

Aktivitetsindex 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 kalium-40, radium-226 respektive torium-232, 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:

$$1 \% K = 313 \text{ Bq/kg}$$

$$1 \text{ ppm U} = 12,35 \text{ Bq/kg}$$

$$1 \text{ ppm Th} = 4,06 \text{ Bq/kg}$$

Figur 10 visar uranhalter beräknade från flygmätningar inom Borås kommun. Områden med förhöjd uranhalt domineras av mörkt röda färgnyanser. Markuppföljningen med gammaspektrometer visar dock att de höga, med flygplan uppmätta uranhalterna, bara till viss del orsakas av uran i berggrunden. Gammastrålningsmätningar har genomförts i 110 mätpunkter inom kommunen, (varav 37 är från lokaler där prover har tagits för teknisk analys, se tab. 2). Vid varje mätpunkt utfördes normalt 2 till 5 mätningar på bergarten. Aktivitetsindex och radiumindex beräknades för samtliga mätpunkter. Medelvärden för dominerande berggrundsenheter redovisas i tabell 6.

Som framgår av uranhaltskartan (fig. 10) har de flesta bergarter en låg gammastrålning. Vid tre lokaler överskrider de enskilda värdena 2,0 för aktivitetsindex respektive 1,0 för radiumindex (motsvarar 200 Bq/kg radium-226). Relativt högt aktivitetsindex (2,39) och radiumindex (2,55) förekommer söder om Viaredssjön. Berggrunden vid den lokalen består av pegmatit som har en hög uranhalt (41,5 ppm), vilket ger höga värden både för radium- och aktivitetsindex. Andra onormala aktivitetsindex (2,22) och radium-

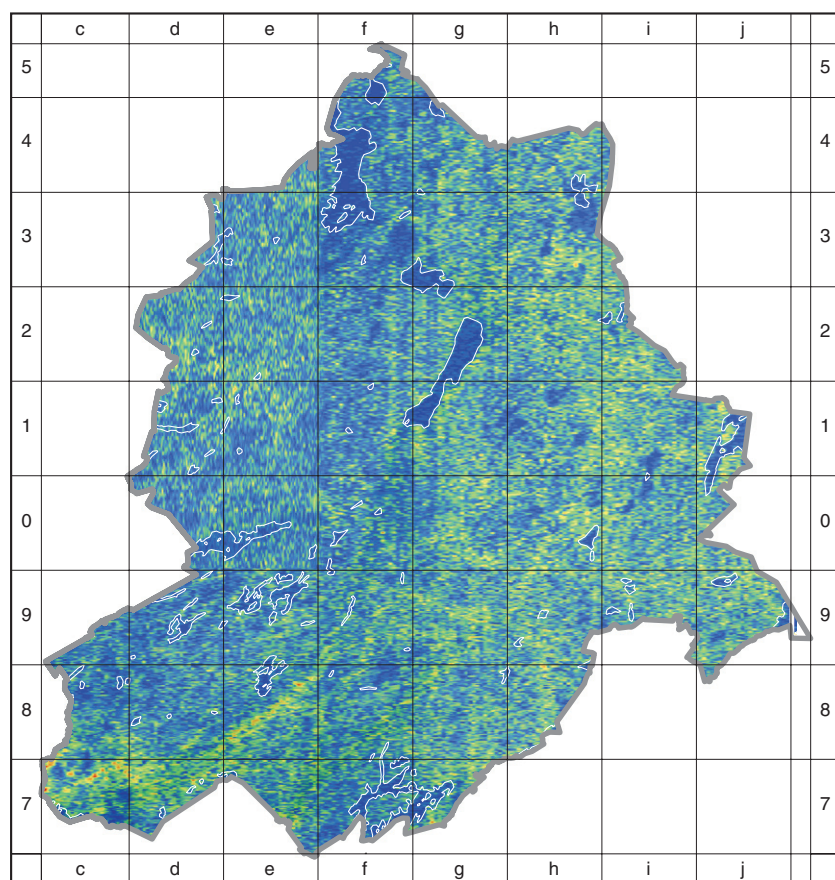
index (2,55) uppmättes nordväst om Seglora. Berggrunden där består av migmatit som har en relativt hög uranhalt (41,4 ppm), vilket ger ett relativt högt radiumindex. Öster om Frisjön består berggrunden i huvudsak av granit och där förekommer också förhöjda aktivitets- och radiumindex (2,15 respektive 1,10). Dessa bergarter är olämpliga som byggnadsmaterial i byggnader där folk vistas kontinuerligt. De uppmätta halterna för de undersökta lokalerna varierar från 0,1 % (gabbroid) till 7,2 % (migmatit) för kalium, från 0,1 ppm (gabbroid, dioritoid) till 41,5 ppm (pegmatit) för uran samt från 0,1 ppm (gabbroid) till 62,5 ppm (granit) för torium. Vidare varierar radiumindex från 0,0 (gabbroid, dioritoid, granodiorit) till 2,55 (pegmatit) och aktivitetsindex från 0,01 (gabbroid) till 2,39 (pegmatit). Anomala toriumhalter (62,5 ppm) uppmättes öster om Frisjön.

Tabell 6. Sammanställning av gammastrålningsmätningar inom Borås kommun.

Summary of the measured gamma-radiation in the municipality of Borås.

Bkod* Rcode	Bergartsenhet Rock unit	K/P %	U ppm	Th ppm	Radium- index	Aktivitets- index	Antal Number
90, 91, 95	Granit och granitisk gnejs, ådrad	3,8	3,1	11,8	0,19	0,77	56
92	Granitisk till granodioritisk gnejs, ådrad	2,7	1,6	8,2	0,10	0,51	23
93	Granodioritisk till tonalitisk gnejs, ådrad	2,2	3,6	8,6	0,22	0,55	18
94	Mafiska bergarter	1,0	0,7	2,9	0,05	0,19	12

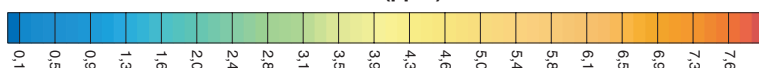
* Bergartskoden är baserad på bergartens stratigrafiska läge och sammansättning.



Figur 10. Karta över markens uranhalt i Borås kommun. Kartan visar den beräknade fördelningen av uran i markens ytskiikt. Halten uran är uttryckt i ppm ekvivalent uranhalt, vilket innebär att den är beräknad under antagande av radioaktiv jämvikt.

Map of uranium concentration of Borås 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.

Uran (ppm)



TEKNISKA ANALYSER

Vid lokaler med en bergart som är representativ för ett större område har ca 60 till 100 kg berg provtagits för bergmaterialtester omfattande kulkvarnsanalys, Los Angeles-analys, micro-Devalanalys och alkali-silikareaktivitet (ASR). Berget som provtas är ej vittrat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket om ingenting annat anges. Samtliga bergprover har tagits på platser där tillräckligt med lossprängd sten eller friska blottningar funnits, dvs. i bergskärningar längs vägar eller vid byggplatser. Provtagning har skett med slägga och spett. Vid provtagning av de olika bergarterna 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 42 prover från 41 olika lokaler tagits inom ramen för detta projekt. Gammastrålningsmätning har skett vid 37 av dessa lokaler.

Utöver de inom projektet provtagna bergarterna har även de analyser som gjorts i närliggande kommuner, Alingsås (Göransson m.fl. 2007), Härryda och Bollebygd (Göransson m.fl. 2008) och analysmaterial från kommunala krossbergsinventeringar (Ahlin 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 bilaga 2) har två analyser (dubbelprov) utförts. Kulkvarnsvärdena (A_N -värdena) presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheterna redovisas i tabell 7.

Kulkvarnsvärdet är ett mått på bergets nötningsmotstånd. De sämsta (högsta) värdena erhåller tonalitiska och granodioritiska gnejser samt mafiska bergarter (medelvärden 18–20 %). Dessa bergarter är i allmänhet glimmerrika och i de flesta fall jämnkorniga med mer eller mindre utvecklad granoblastisk mikrostruktur. Finkorniga till fint medelkorniga graniter i undersökningsområdet ger de bästa kulkvarnsresultaten (ca 9–14 %). Öster om Borås och i ett stråk sydöst om Viskadalen ger bergarterna, både graniter och granodioriter, bra kulkvarnsvärden (under 14 %). Det lägsta kulkvarnsvärdet erhålls från en fint medelkornig granitisk gnejs (9,3 %, MGO045062A, se fig. 11) 4 km västnordväst om Borgstena kyrka.

Los Angeles-analys

Krossning och siktning för Los Angeles-analys har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Detta har gett ett flisighetstal (samtliga bergartsmaterial) på 1,30–1,40, vilket gör laboratoriekrossat 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 (Svensk standard 1997b). 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. Generellt erhåller många av bergarterna höga till mycket höga (dåliga) LA-värden. Omkring 70 % av bergarterna erhåller höga LA-medelvärden (30–48 %). Grova anatexiter och granitiska gnejser som är relativt jämnkorniga och fattiga på duktila, järn- och magnesiumförande mineral (amfibol, biotit etc.) har i allmänhet höga värden. Kraftig ådergnejsomvandling och

migmatitisering ger också relativt höga värden. Detsamma gäller dock även många granodioriter och tonaliter. Ingen av bergartsgrupperna 90, 91, 92 och 93 erhåller ett LA-medelvärde under 30 %. De bästa LA-värdena ger bland annat graniter och granodioriter, öster om Borås (21–28 %) tack vare sina något finkornigare, ojämnkorniga texturer.

Micro-Devalanalys

Micro-Devalvärdet (M_{DE}) är ett mått på bergets nötningsmotstånd och metoden är snarlik kulkvarnsmetoden. Obundna lager i vägkonstruktion 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 (Svensk standard 1997a). Då analysresultaten hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden (se bilaga 2) har dubbelprov utförts. Resultaten presenteras i tabell 2. Medelvärden

Tabell 7. Medelvärden av kulkvarnsvärde, Los Angeles-värde och micro-Devalvärde för de analyserade bergartsenheterna i Borås kommun.
Mean values for the results of the studded tyre, Los Angeles and micro-Deval tests of rock units in the municipality of Borås.

Bkod* Rcode	Bergartsenhet Rock unit	Kulkvarnsvärde % Studded tyre test value %			Los Angeles-värde % Los Angeles value %			Micro-Devalvärde % Micro-Deval value %		
		Spridn. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov Nr. of samples	Spridn. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov Nr. of samples	Spridn. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov Nr. of samples
90	Granit, gnejsig, anatexit	10–20	15,4	3	32–39	35,8	3	6–11	8,8	2
91	Granitisk gnejs, ådrad	9–21	13,8	19	23–48	32,8	16	7–10	8,6	6
92	Granodioritisk till granitisk gnejs, ådrad	13–21	17,7	12	21–40	32,2	12	10–13	11,4	5
93	Granodioritisk till tonalitisk gnejs, ådrad	18–22	20,5	4	28–41	35,8	4			
94	Mafiska bergarter		19,8			23,1				
95	Granitisk gnejs, ådrad, ställvis porfyrisk	13–17	14,9	3	23–41	33,8	3	9,2		1

* Bergartskoden är baserad på bergartens stratigrafiska läge och sammansättning.



Figur 11. Röd, fint medelkornig, veckad, granitisk gnejs (MGO045062A) med bra tekniska egenskaper, $A_N = 9,3$ % och LA = 25,3 %. Vyn är ca 65 × 45 cm. Foto: Mattias Göransson.

Red, finely medium-grained, folded, granitic gneiss (MGO045062A) with good technical properties, STT = 9.3% and LA = 25.3%. The field of view is c. 65 × 45 cm.

för de olika bergartsenheter redovisas i tabell 7. Micro-Devalvärdena följer kulkvarnsvärdena ganska väl och korrelationen mellan dessa metoder, i detta område, är $M_{DE} = 0,53 \times A_N - 1,22$ ($R^2 = 0,81$ jämförs med den korrelation som erhöles av Stenlid (2000), $M_{DE} = 0,86 \times A_N - 2,71$ ($R^2 = 0,95$) och Bergström m.fl. (opublicerad), $M_{DE} = 0,77 \times A_N - 1,51$ ($R^2 = 0,97$). Den goda korrelationen mellan de två metoderna möjliggör en uppskattning av den enas med vetskap av den andras resultat.

Alkalisilikareaktivitet (ASR)

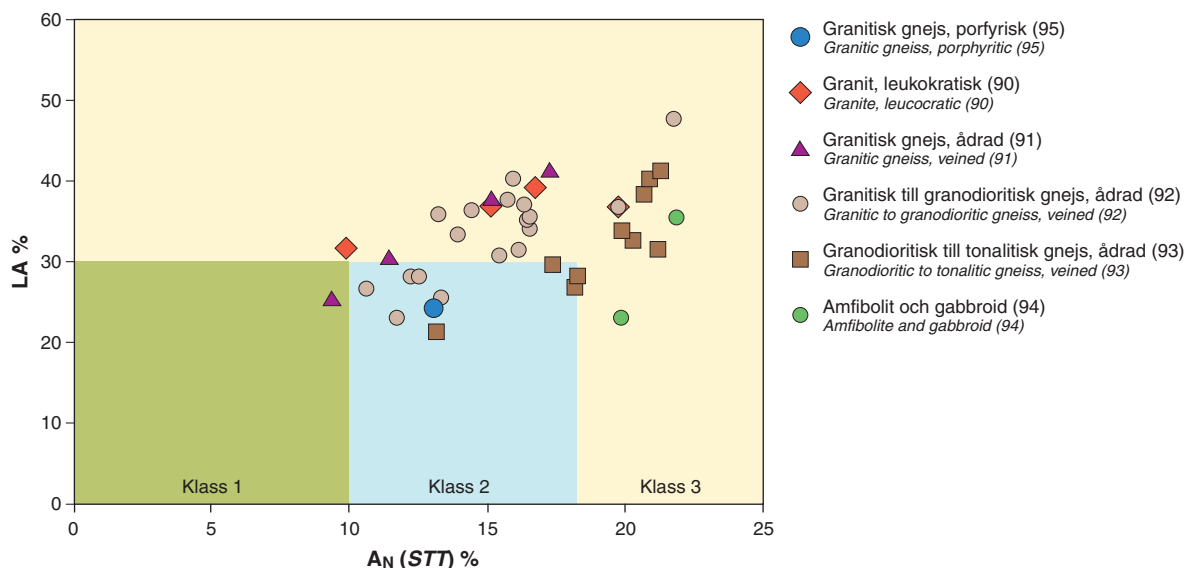
Alkalisilikareaktivitet (ASR) är benägenheten (risken) för ett bergmaterial att bilda en alkalisilikagel som ett resultat av att kvarts (kiseldioxid) från ballasten löses upp av den starkt basiska, alkalina porlösningen i betongen (Lagerblad & Trädgårdh 1992). Gelen kan i vissa fall expandera och därmed innebära risk för att betongen spricker. Exempel på reaktiva mineral och ogynnsamma texturer är i fallande reaktivitetsskala: opal (amorf kvarts), kristobalit, tridymit, deformerad kvarts (t.ex. "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 32 prover (av totalt 42) har undersökts. Inget bergartsprov har bedömts tillhöra ASR-klass 3. Deformerade bergarter längs Viskadalens dalgång har efter fältbesök bedömts kunna vara alkalisilikareaktiva. Kvartsrika, plastiskt deformerade bergarter i detta område bör testas vidare med RILEM AAR-1 (RILEM 2000a) och eventuellt RILEM AAR-3 (RILEM 2000b) (expansionsförsök av betongprismor), 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 inom undersökningsområdet, har en karta över fördelningen av de olika bergkvalitetsklasserna gjorts. Med tanke på berggrundens heterogenitet blir sammanställningen 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 är mindre intressant för täktverksamhet. Därför baseras ytindelningen på bergkvalitetskartan främst på kulkvarnsvärdena i relation till de krav som ställs i ATB VÄG 2004 (Vägverket 2004). En bedömning har gjorts parallellt av övriga analysresultat (jfr Persson & Schouenborg 1995) såsom Los Angeles-värde och potentiell förekomst av alkalisilikareaktivt material samt av 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 bergarter. 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.

Analysdata som ytklassificeringen är baserad på redovisas i tabellerna 2 och 7 samt figur 12. Berggrunden inom Borås kommun domineras av klass 3-material även om det också bedöms finnas områden av klass 2-material. Inget område har bedömts som klass 1-material. Tonalitiska till granodioritiska gnejser (Bkod 93) från detta område har vanligtvis alltför höga kulkvarnsvärden ($M_v = 20$ %) och Los Angelesvärden (medelvärde 36 %). Många av de granitiska till granodioritiska gnejserna (Bkod 92) och de leukokratiska graniterna (Bkod 90) är alltför spröda (LA-medelvärden 32 % och 36 %) för att duga som makadam för asfalt. Plastiskt deformerad berggrund och bergarter som kristalliserat tidigt i omkristalliseringsprocessen under högttemperaturomvandlingen ("annealing") och erhållit komplicerade eller finkorniga kornfogar, vilket förbättrat bergarternas tekniska egenskaper. Exempel på sådan berggrund förekommer öster till nordost om Borås stad och söder till sydost om Viskafors (fig. 8). Den plastiskt deformerade berggrunden växlar med tekniskt lågpresterande ådergnejs, vilket inte redovisas i detalj på



Figur 12. Diagram som visar de tekniska analysresultaten, kulkvarnsvärde (A_N) 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.

de berggrundsgeologiska underlagskartorna. Därför är det rimligt att anta att bergkvaliteten varierar mellan klass 2 och 3 trots att dessa områden bedömts som klass 2. Kommunens bästa kulkvarnsvärde kommer från en finkornig granitisk gnejs (MGO045062A, 6421938/1331945, 9,3 %) lokaliserad 4 km västnordväst om Borgstena kyrka. Alla mafiska bergarter i kommunen har bedömts som klass 3-material. I områden som utsatts för kraftig ådergnejsomvandling till migmatitisering är bergkvaliteten betydligt sämre än i omgivande mer välbevarad berggrund.

REFERENSER

- Ahlin, S., 1980a: Berggrundskartan 7C Borås SV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 130*.
- Ahlin, S., 1980b: Beskrivning till berggrundskartan 7C Borås SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 130*, 114 s.
- Ahlin, S., 1983a: Berggrundskartan 7C Borås SO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 143*.
- Ahlin, S., 1983b: Beskrivning till berggrundskartan 7C Borås SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 143*, 92 s.
- Ahlin, S., 1992: Berg för krossning i Borås kommun. *Länsstyrelsen Älvsborgs län*, 1992:5, 120 s.
- Ahlin, S., 1996: Materialförsörjning. Ballast – grus, bergkross, återvinning. Inventering och program, bilaga till *Alingsås kommun*, ÖP 95, 64 s.
- Andersson, J., Möller, C. & Johansson, L., 2002: Zircon geochronology of migmatite gneisses along the Mylonite Zone (S Sweden): a major Sveconorwegian terrane boundary in the Baltic shield. *Precambrian Research* 114, 121-147.
- Boverket, 2004: Boverkets handbok om betongkonstruktioner, *BBK 04*, 271 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.
- Geologkonsult, 1995: Inventering av naturgrus samt berg för krossning i Alingsås kommun, 53 s.
- Göransson, M., Bergström, U. & Shomali H., 2007: Beskrivning till bergkvalitetskartan Alingsås kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 68*, 29 s.
- Göransson, M., Bergström, U. & Shomali H., 2008: Beskrivning till bergkvalitetskartan Härryda och Bollebygdskommuner. *Sveriges geologiska undersökning K 95*, 30 s.
- Hegardt, A., Cornell, D., Claesson, L., Simakov, S., Stein, H. & Hannah, J., 2005: Eclogites in the central part of the Sveconorwegian Eastern Segment of the Baltic Shield: Support for an extensive eclogite terrane. *GFF* 127, 221–232.
- 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., 1997: Berggrundskartan 6B Kungsbacka SO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 187*.
- Lundqvist, T., Bygghammar, B., Stephens, M.B., Beckholmen, M. & Norling, E., 1995: Bedrock of Sweden. National Atlas of Sweden (digital format, map published at the scale 1:1 250 000).
- Olsson, E.-L., 2004: BVS 585.52, Makadamballast för järnväg, *Banverket*, 29 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, 2000a: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method, *Materials and structures* 36, 480–496.
- RILEM, 2000b: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates –method for aggregate combinations using concrete prisms, *Materials and structures* 33, 290–293.
- Samuelsson, L., 1978: Berggrundskartan 7B Göteborg SO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 117*.
- Samuelsson, L., 1982: Berggrundskartan 6B Kungsbacka NO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 124*.
- Samuelsson, L., Larson, S.Å., Åhäll, K.I., Lundqvist, I., Brouzell J. och Berglund, J., 1988: Provisoriska översiktliga berggrundskartan Borås. *Sveriges geologiska undersökning Ba 41*.
- Scherstén A., Cornell D. & Årebäck H., 2000: Ion microprobe discovery of Archaean and Early Proterozoic zircon xenocrysts in southwest Sweden, *GFF VO: 122*, 7 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.
- Svensk Standard, 2000: *SS-EN 1367-1 Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing*. Swedish Standards Institute, 14 s.
- Svensk Standard, 2002: *SS-EN 13383-1 Armourstone – Part 1: Specification*. Swedish Standards Institute, 40 s.
- Svensk Standard, 2003: *SS-EN 13450: Makadamballast för järnväg*. Swedish Standards Institute, 35 s.
- Swedish concrete association, 1991. Durable concrete structures. *Concrete Report No. 1 (E). Swedish Concrete Association*, 55 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.
- 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.

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.

FLYGGEOFYSISK METODIK

Borås kommun är täckt av moderna flyggeofysiska mätningar (magnetiska, elektromagnetiska och radiometrisk). De södra delarna av området mättes med nord-sydlig flygriktning under 2002 och 2003. De norra delarna mättes under 1970-talet med ost-västlig och nord-sydlig riktning. Vid de senare mätningarna har det elektromagnetiska fältet (VLF) mätts med två sändare. Flygmätningarna utfördes med 200 meters linjeavstånd, 16–40 meters mätpunktsavstånd och 30 meters flyghöjd. Åren 2002 och 2003 utfördes mätningarna på 60 meters höjd. Flyggeofysiska mätningar används bland annat för kartering av litologi och strukturer i berggrunden. Mer specifikt kan flyggeofysiska data användas vid en bedömning av potentiella sprickzoner i berggrunden, för att lokalisera områden med förhöjd gammastrålning samt för att planera de geofysiska markmätningarna m.m. Markbundna undersökningar blir vanligen mest effektiva när de används för att undersöka avvikelser som upptäckts med flyggeofysiska mätningar.

Vid flygmätta magnetiska undersökningar mäts det jordmagnetiska fältets totalintensitet. Resultaten visar lokala och regionala störningar av magnetfältet orsakade av magnetiska mineral, huvudsakligen magnetit i berggrunden. Dessa störningar kan t.ex. indikera förkastningar i berggrunden. Lågmagnetiska linjära zoner indikerar i allmänhet sprickzoner i berggrunden (fig. 4).

Vid elektromagnetiska flygmätningar (VLF) mäts 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 det elektromagnetiska fältet (VLF) 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 södra delen av Borås kommun (6C Kinna NV och NO) utnyttjades två sändare, medan endast en sändare (fig. 9) användes över den norra delen (7C Borås SV, SO och NO). Numera utförs VLF-mätningar med två sändare samtidigt och den riktningsberoende effekten har eliminerats. Det är därigenom möjligt att beräkna markens skenbara resistivitet från VLF-data, vilket innebär att det är lättare att skilja resistiva bergartsenheter från mer konduktiva strukturer. Kombinationen av VLF-data och magnetiska data är ett utmärkt underlag för uppföljning av till exempel grafit- och magnetkisförande stråk i områden med metasedimentär berggrund.

Flygmätta strålningsdata baseras på gammastrålning från sönderfall av de naturliga radioaktiva grundämnena kalium (kalium-40), uran (uran-238) och torium (torium-232) inom de översta decimetrarna under markytan. Ett användningsområde för strålningsdata är att identifiera områden med förhöjd gammastrålning (fig. 10). Halten av framför allt uran påverkar bergartens användbarhet som betongballast.

Bilaga 2

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 antalet analysresultat från övriga kommuner i projektet Östra Göteborgsområdet, bergkvalitet.

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. Efter 2005 har enbart enkelprov analyserats för kulkvarn och enbart dubbelprov analyserats för mikro-Deval.

En god korrelation finns mellan sprödhetstal (s , 8–11 mm, FAS-metod 210-01) och Los Angeles-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 förre 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 används 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 slitlagerskikt för vägar med höga ÅDT-tal (årsdygnstrafik, motorvägar etc.) för vilka det krävs <7 % A_N . 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 i BVS 585.52 (Olsson 2004). Kraven är en nationell anpassning av EUs produktstandard för "Makadamballast för järnvägar" (Svensk Standard 2003). 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 ska 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 (längd–tjockleksförhållande, 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 (Olsson 2004).

Klass 1 uppfyller alla nämnda krav, medan klass 2 har sämre tekniska egenskaper eller hög glimmerhalt vilket bland annat påverkar frostbeständigheten. Klass 3 har dåliga tekniska egenskaper (framför allt hög till mycket hög sprödhet). Följande generella indelning används 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 kornstorlek (se vidare Lagerblad & Trädgårdh 1995, Trädgårdh & Lagerblad 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. Följande generella indelning används 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 2,0 i aktivitetsindex eller 1,0 i radiumindex.
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 %, aktivitetsindex <2,0 eller radiumindex <1,0.

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. micro-Devalvärdet, densitet, tryckhållfasthet och vattenabsorption beroende på vilken typ av hydraulisk miljö som ett bergmaterial ska 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 utförs (SS-EN 1367-1, Svensk Standard 2000). Vattenbyggnadssten ska 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.