

Beskrivning till bergkvalitetskartan Kungälv

Mattias Göransson & Lena Persson



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7403-433-2

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

Omslagsbild: Flack hälllyta med asymmetriskt veckad metagråvacka på
Stora Överön (6410500/135760).
Flat outcrop exposing an asymmetric folded metagreywacke at Stora Överön
(6410500/135760).
Foto: Mattias Göransson.

© Sveriges geologiska undersökning, 2018
Redaktör: Ulrika Hurtig, SGU

INNEHÅLL

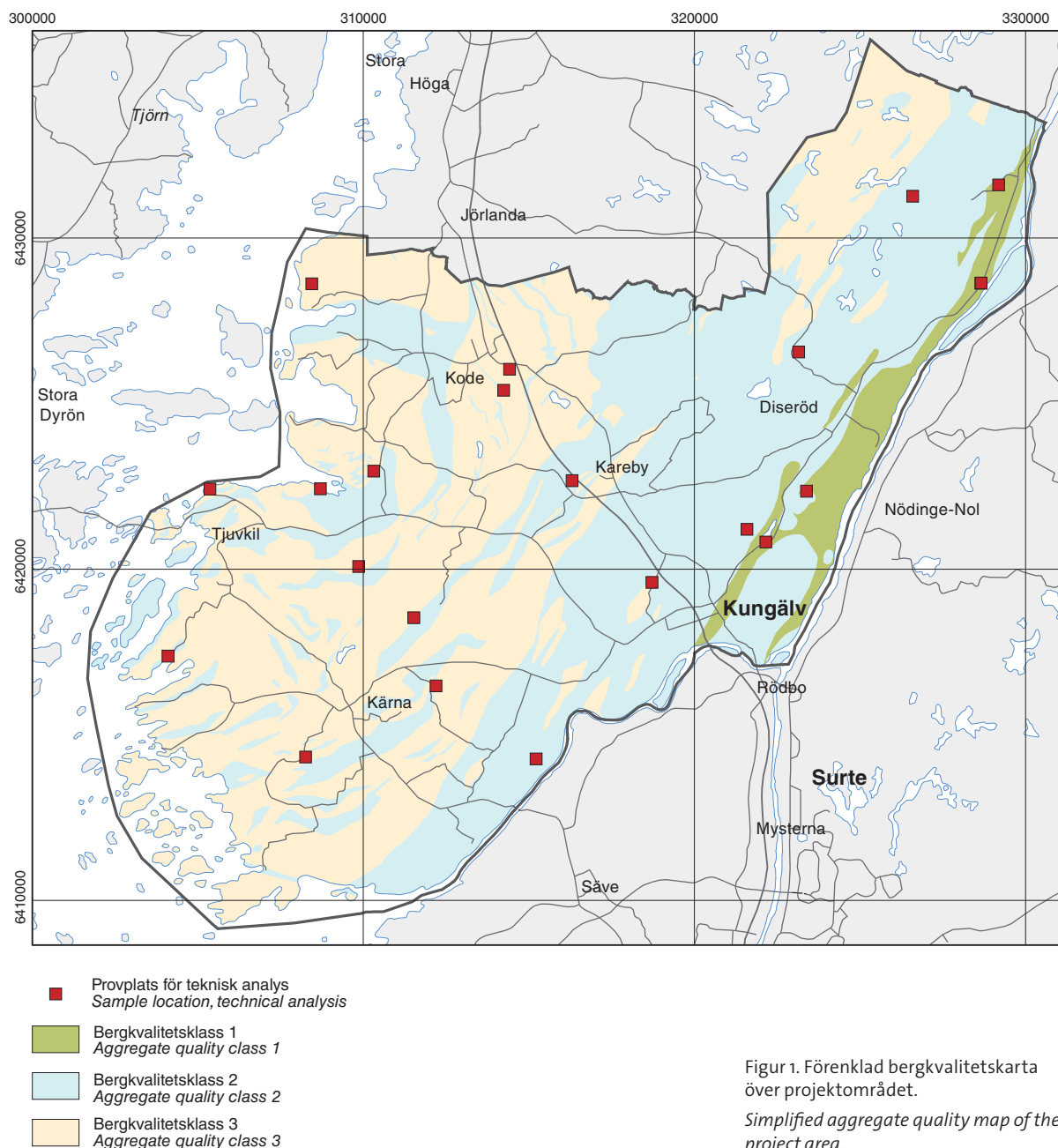
Sammanfattning	5
Inledning	6
Metodik	6
Allmän geologi	10
Bergartsbeskrivning	10
Ytbergartsgnejs, huvudsakligen terrigena epiklastiska (Stora Le-Marstrandsgruppen, Bkod 80, 82)	10
Granodiorit, gnejsig och ådrad (1600-sviten, Göteborgssviten, Bkod 73)	12
Amfibolit och metagabbroid (1560- och 1600-sviten, Bkod 66)	12
Granit, granodiorit och tonalit, gnejsig (1560-sviten, Hisingensviten, Bkod 62, 63, 64 och 65)	14
Granit till granodiorit, finkornig till fint medelkornig, svagt förskiffrad (1560-sviten, Hisingensviten, Bkod 60)	14
Mafiska bergarter, diorit eller gabbro, associerade med RA- och Askimsgraniterna (1300-sviten, Kungsbackasviten, Bkod 54)	15
Granit, porfyrisk, gnejsig (Askimsgranit, 1300-sviten, Kungsbackasviten, Bkod 50)	15
Granit, porfyrisk, gnejsig (RA-sviten, 1300-sviten, Kungsbackasviten, Bkod 52)	16
Diabas, (Bkod 24)	17
Geofysiska undersökningar	18
Petrografisk analys	18
Skiktsilikater (glimmer m.m.)	19
Opaka mineral (sulfider m.m.)	19
Deformationszoner, sprickor och övriga strukturer	20
Berggrundens gammastrålningsegenskaper	20
Tekniska analyser	22
Kulkvarnsanalys	23
Los Angelesanalys	24
Micro-Devalanalys	24
Alkalisilikareaktivitet (ASR)	24
Sammanställning av bergkvalitetskartan	25
Referenser	26
Bilaga 1. Kvalitetsklassning av prover	28
Vägmakadam	28
Makadamballast för järnväg	28
Betongballast	29
Vattenbyggnadssten	29

SAMMANFATTNING

SGUs bergkvalitetsundersökning visar att nästan 50 % av Kungälvsområdets berggrund bedöms som ett klass 2-material (fig. 1). Detta innebär att kommunens bergmaterial med fördel kan användas som bärlager och förstärkningslager samt även till vissa asfaltbundna lager. Mindre förekomster av granit i de sydöstra delarna av området har bedömts som klass 1-material, något som visar att materialet med fördel kan användas för asfaltbundna lager.

De områden i väster som bedömts som klass 3-områden består till stor del av glimmerrika, omvandlade ybergartsgnejser. Dessa material uppfyller inte materialkraven för asfaltbundna lager. I vissa fall kan glimmerhalten vara så hög att materialet inte heller är lämpligt att användas som bärlager eller förstärkningslager.

Områdets bergarter har generellt god motståndskraft mot fragmentering (låg sprödhet). Detta är ett krav om man ska använda ballast som järnvägsmakadam. En del av dessa bergarter har dock för-



Figur 1. Förenklad bergkvalitetskarta över projektområdet.
Simplified aggregate quality map of the project area.

höjda halter av glimmer- och sulfidmineral. Sådana bergarter bör undvikas för produktion av järnvägs-makadamballast. Bergarter med förhöjd glimmerhalt, i synnerhet ytbergartsgnejs och sulfidförande mafiska bergarter, samt kraftigt vittringspåverkade bergarter, exempelvis grusvittrade granitoider, är olämpliga som ballastråvara för betong.

En gnejsgranit, RA-granit, i sydöstra delen av området uppvisar något förhöjd gammastrålning. Detta får till följd att aktivitetsindexet överstiger 2 på en lokal nordost om Kungälv. Övriga bergarter inom undersökningsområdet visar låga aktivitetsindex.

När man ska prospektera och planera för uttag av berg bör bergkvalitetskartan kompletteras med detaljundersökningar.

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. Exempel på användningsområden är ballast för väg, järnväg och betong. I samband med den kommunala översiktsplaneringen ska bergkvalitetskartan kunna erbjuda ett geologiskt underlag för framtida markanvändning. Kartan ska också underlätta övergången från grusproduktion till krossbergsproduktion. Bergkvalitetsundersökningen i projektområdet Kungälv startade år 2009 och slutfördes under 2010.

Arbetet med bergkvalitetskartan över området Kungälv har föregåtts av en generell läges- och behovsanalys. Ett urval av potentiella användare, såsom länsstyrelsen, kommuner, övriga myndigheter, entreprenörer och konsulter, har intervjuats i analysen av vilka områden som bör prioriteras för undersökning och om behovet av översiktlig bergkvalitetsinformation.

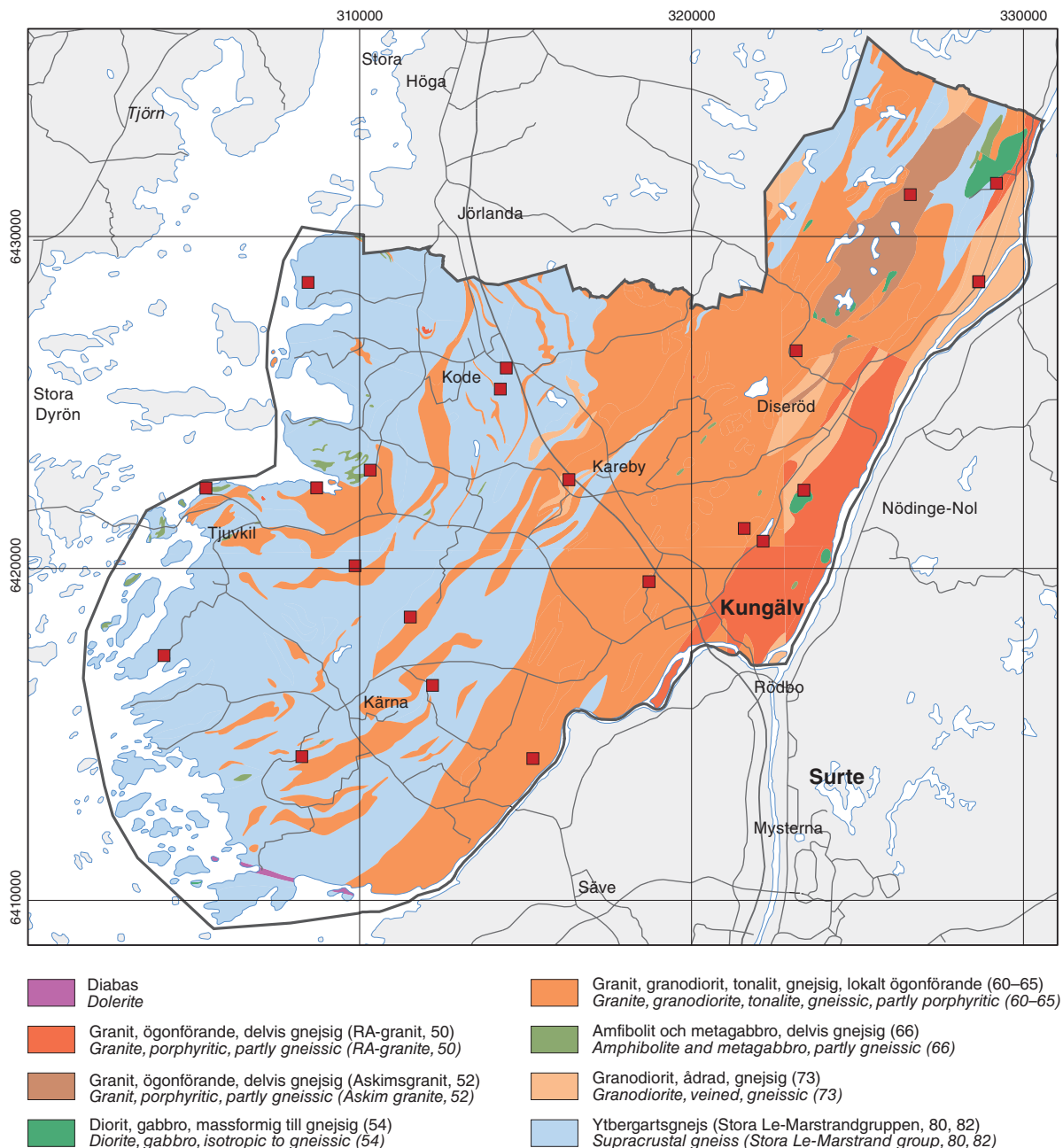
I undersökningsområdet Kungälv finns följande större orter: Diseröd, Kode, Kungälv, Kärna och Ytterby. Arealen uppgår till drygt 380 km². Alla koordinater är angivna enligt rikets nät (Sweref99). I området finns tre aktiva bergtäkter: Skälebräcke (grå, porfyrisk, gnejsig, grovt medelkornig granodiorit, 6421260/321580), Lysegården (ljusfärgad grå, finkornig, förskiffrad granit och fler bergarter, 6426560/323147) samt Kareby-Ryr (grå, medelkornig granodiorit och tonalit, ytbergartsgnejs och röd medelkornig granit, 6425390/319610).

I hela undersökningsområdet bröts under 2009 omkring 460 000 ton berg och 336 000 ton grus (SGU 2010). Utslaget per person innebär detta att varje invånare i Kungälvs kommun skulle förbruka ca 11,2 ton krossberg eller totalt 12,1 ton ballast (berg och grus) per år. De tryckta berggrundskartorna 7B Göteborg SV (Lundqvist 2007), 7B Göteborg SO (Samuelsson 1978), 7A Marstrand NO/7B Göteborg NV (Samuelsson & Åhäll 1985) och 7B Göteborg NO (Samuelsson & Södergaard 1985) i skala 1:50 000 täcker hela undersökningsområdet (fig. 2).

METODIK

Bergkvalitetskartan bygger på den tidigare genomförda berggrundskarteringen och grundar sig på närmare undersökningar av ett antal valda lokaler i de dominerande bergartsenheterna. Från var och en av dessa lokaler har ca 70 kg bergmaterial analyserats tekniskt. Dessutom har det gjorts mätningar av sprickplanens riktningar samt en bedömning av spricktätheten. I de fall där berggrunden är särskilt heterogen med avseende på mineralogi och kornstorlek, något som är speciellt vanligt i ådergnejsområden, har ibland mer än ett prov tagits.

Polerade tunnslip har framställts av bergarter från varje provplats. Petrografisk analys, ASR-analys (alkalisilikareaktivitetsanalys) och modalanalys av mineralfördelningen samt mikrofotografering har sedan utförts för varje tunnslip. Prover har även tagits för att bestämma bergarternas densitet och deras magnetiska egenskaper. Gammastrålningsmätningar på berghällar har utförts vid de flesta av provlokalerna, men även på separata platser. Förutom på de provtagna lokalerna inom projektet grundar



Figur 2. Förenklad berggrundskarta över projektområdet från Lundqvist (2007), Samuelsson (1978), Samuelsson & Åhäll (1985) och Samuelsson & Södergaard (1985).

Simplified bedrock map of the project area from Lundqvist (2007), Samuelsson (1978), Samuelsson & Åhäll (1985) and Samuelsson & Södergaard (1985).

sig bergkvalitetskarten på tidigare publicerade tekniska, petrografiska och geokemiska analyser från kommunala krossbergsinventeringar och SGUs berggrundskartering. Petrografiska data redovisas i tabell 1 och alla tekniska analysvärden redovisas i tabell 2.

På bergkvalitetskarten är bergartsstrukturer som foliation eller gnejsighet ihopdragna till s.k. strukturella formlinjer för plastisk deformation. Dessutom redovisas zoner med starkt deformerad berggrund som *Deformationszon, ospecificerad*. Berggrundens strukturer representerar bergartens interna svaghet. Längs denna riktning kan sprickor lätt uppstå, t.ex. i samband med sprängning. Många av zonerna är tolkade från den flyggeofysiska informationen. En tolkning av morfologiska lineament, långsträckta

Tabell 1. Mineralfördelning (volymprocent) och kornstorlek (mm) hos bergarter från kartområdet Kungälv. Bkod är en grupperingskod som baseras på bergartens ålder och sammansättning. "Övrigt" innefattar t.ex. Fe-hydroxider (¹till övervägande del), zirkon, allanit, prehnit och apatit. Med kornstorlek avses storleksintervallet för huvuddelen av de enskilda mineralkornen som bygger upp bergarten. s = mineral som förekommer i liten mängd (<0,2 %).

Modal composition (volume-%) and grain size (mm) of rocks from the map area Kungälv. Rcode is a grouping parameter based on the age and composition of the rock. "Other" contains Fe-hydroxide (¹most abundant), zircon, apatite, prehnit and flourite. Grain size refers to the size-fraction of the main part of the individual grains that build up the rock. s = accessory mineral (<0.2 %).

Prov Sample	N	E	Bergartsbeskrivning (fältbedömning) Rock description (field observation)	Bkod Rcode	Kornstorlek Grain-size (mm)	Quartz	Pot.feld- spar	Kalifältspat Plagio- clase	Plagioklas Biotit	Klorit Chlorite	Muskovit Muscovite	Hornblände Amphibole	Epidot	Opak Opaque	Titanit Titanite	Kalcit Calcite	Övrigt Other
MGO090004A	6421200	321582	Granodiorit, grå, porfyrisk, gnejsig, grovt medelkornig	63	0,1–6,0	23,4	9,6	43,4	15,2			2,0	5,4		0,6		0,4
MGO090005A	6420821	322152	Granit, mörkfärgad röd, medelkornig, linjerad	52	0,01–7,0	26,4	33,2	24,4		10,0			1,6	1,0		0,4	3,0
MGO090006A	6422354	323387	Gabbro, svart, finkornig till fint medelkornig, förskiffrad	54	0,1–1,0			34,2		6,2		38,2	16,8		4,4		0,2
MGO090007A	6431258	326588	Granit, grå-röd, medelkornig, gnejsig	50	0,1–5,0	28,4	24,2	39,4	0,2	4,6			2,2		0,6		0,4
MGO090008A	6431599	329184	Granit, mörkfärgad röd, medelkornig, gnejsig	52	0,01–2,0	17,0	34,2	23,4	8,6	2,2			2,8		3,6		8,2¹
MGO090021A	6414327	308257	Ytbergartsgnejs, tonalitisk, mörkfärgad grå, finkornig till medelkornig, ådrad, gnejsig	80	0,02–0,2	28,6	0,6	30,4	7,4	11,6	14,4		5,0	0,2	1,4		0,4
MGO090022A	6417369	304101	Ytbergartsgnejs, granodioritisk, mörkfärgad grå, finkornig, ådrad	80	0,01–0,5	26,6	4,4	18,2	36,8	1,8	12,0				0,2		s
MGO090023A	6422426	308702	Granit, grå, medelkornig, gnejsig	62	0,02–2,0	30,0	23,0	34,8	10,0	0,2	1,2				0,2		0,6
MGO090025A	6414267	315216	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, porfyrisk, ådrad, gnejsig	63	0,05–5,0	28,2	12,4	33,8	15,6		1,2		8,2				0,6
MGO090026A	6416476	312196	Tonalit, grå, grovt medelkornig, linjerad	65	0,02–4,0	25,2		46,2	16,8	0,4			9,8		1,4		0,2
MGO090027A	6420076	309861	Ytbergartsgnejs, tonalitisk, mörkfärgad grå, finkornig, ådrad	80	0,1–1,0	20,2		55,2	21,2		2,4		0,2	0,2		0,2	0,4
MGO090028A	6418538	311522	Tonalit, mörkfärgad grå till svart, grovt medelkornig, ådrad, gnejsig	65	0,1–4,0	19,6		35,0	11,2	0,4		28,8	3,8		0,4		0,8
MGO090029A	6428617	308446	Ytbergartsgnejs, kvartsrik, granitisk, mörkfärgad grå, finkornig till medelkornig, ådrad, veckad, gnejsig	80	0,02–1,0	40,0	10,8	16,6	11,8		20,8						s
MGO090030A	6425404	314237	Ytbergartsgnejs, kvartsrik, tonalitisk, ljusfärgad rödgrå, medelkornig, gnejsig och kraftigt migmatitiserad	80	0,1–5,0	44,4		29,4	10,6	0,6	14,2			0,4		0,2	0,2
MGO090031A	6426035	314416	Ytbergartsgnejs, granodioritisk, mörkfärgad grå, finkornig, ådrad, veckad, gnejsig	80	0,05–0,5	41,2	10,6	22,6	9,8	0,6	14,6						0,6
MGO090032A	6422416	305368	Ytbergartsgnejs, granodioritisk, mörkfärgad grå, finkornig, förskiffrad	80	0,05–0,2	28,8	7,4	16,8	20,4		25,8			0,4			0,4
MGO090033A	6419602	318715	Tonalit, grå till svart, medelkornig, ådrad, gnejsig	64	0,1–8,0	17,8	10,0	35,0	23,6			12,6			0,6		0,4
MGO090034A	6422670	316301	Granodiorit, grå till rödgrå, finkornig till fint medelkornig	60	0,05–1,5	22,2	10,6	36,8	5,6	9,6	4,0		5,0	1,4		2,6	0,2
MGO090037A	6426555	323147	Granit, ljusfärgad grå, finkornig, förskiffrad	60	0,02–1,5	30,2	15,2	40,4	10,8		0,8		2,4				0,2
MGO090038A	6428640	328658	Granodiorit, rödgrå till grå-röd, finkornig till medelkornig, ådrad, gnejsig, protomylonitisk	73	0,01–5,0	23,4	9,2	33,8		19,4	1,4		9,4	0,2	1,8		1,4
MGO090039A	6428629	328645	Amfibolit, svart, finkornig, förskiffrad till gnejsig	66	0,01–0,3	0,4		24,2		7,6		58,2	0,2	6,2	2,8	0,2	0,2

Tabell 2. Tekniska analysvärden och användbarhetsklassificering av prover från undersökningsområdet för väg, järnväg och betong (se text). Bkod är bergartskod, ρ_s är korndensitet, A_N är kulkvarns-värde, LA är Los Angeles-värde, M_{DE} är micro-Devalvärde, RA är radiumindeks, m_y är aktivitetsindex, ASR är alkaliskreaktivitet.

Technical analyses and classification of samples from the map area for pavement constructions (mainly wearing courses), as railway trackbed ballast, and as concrete ballast. Rcode = bedrock code, ρ_s = particle density, A_N = studded tyre test value, LA = Los Angeles value, M_{DE} = micro-Deval value, RA = radius index, m_y = activity index, ASR = alkali silica reactivity.

Prov	N-S-koordinat	O-V-koordinat	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	Bkod	ρ_s g/cm ³	A_N %	M_{DE} %	LA %	RA	m_y	ASR	Bergkvalitetsklassning
Sample	N-S coordinate	E-W coordinate	Rock description (field observation)	Rcode	ρ_s g/cm ³	A_N %	M_{DE} %	LA %	RA	m_y	ASR	Väg Järnväg Rock quality classification Road Railway Concrete
MGO090004A	6421200	321582	Granodiorit, grå, porfyrisk, gnejsig, grovt medelkornig	63	2,71	15,6	9,7	28,1	0,1	0,6	1	2
MGO090005A	6420821	322152	Granit, mörkfärgad röd, medelkornig, linjerad	52	2,64	9,3	5,6	22,6	0,3	1,0	2	1
MGO090006A	6422354	323387	Gabbro, svart, finkornig till fint medelkornig, förskiffrad	54	2,90	15,8	11,2	19,6	0,0	0,1	1	2
MGO090007A	6431258	326588	Granit, gråröd, medelkornig, gnejsig	50	2,64	11,8	7,4	26,1	0,2	0,7	1	2
MGO090008A	6431599	329184	Granit, mörkfärgad röd, medelkornig, gnejsig	52	2,64	8,2	4,3	17,7	0,4	1,6	3	1
MGO090021A	6414327	308257	Ytbergartsgnejs, mörkfärgad grå, finkornig till medelkornig, ådrad, gnejsig	80	2,77	20,5	15,4	18,7	0,1	0,5	2	3
MGO090022A	6417369	304101	Ytbergartsgnejs, mörkfärgad grå, finkornig, ådrad	80	2,69	8,4	6,2	15,8	0,2	0,6	2	1
MGO090023A	6422426	308702	Granit, grå, medelkornig, gnejsig	62	2,65	10,1	6,2	20,8	0,2	0,3	1	2
MGO090024A	6422960	310317	Ytbergartsgnejs, grå, finkornig till medelkornig, ådrad, migmattiserad, gnejsig	80					0,3	0,9	1	
MGO090025A	6414267	315216	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, porfyrisk, ådrad, gnejsig	63	2,71	13,2	9,0	23,3	0,1	0,4	1	2
MGO090026A	6416476	312196	Tonalit, grå, grovt medelkornig, linjerad	65	2,75	12,7	9,0	20,8	0,2	0,4	1	2
MGO090027A	6420076	309861	Ytbergartsgnejs, mörkfärgad grå, finkornig, ådrad	80	2,69	18,2	13,1	25,0	0,2	0,7	1	3
MGO090028A	6418538	311522	Tonalit, mörkfärgad grå till svart, grovt medelkornig, ådrad, gnejsig	65	2,77	16,8	12,4	22,6	0,2	0,5	1	2
MGO090029A	6428617	308446	Ytbergartsgnejs, mörkfärgad grå, finkornig till medelkornig, ådrad, veckad, gnejsig	80	2,69	13,9	9,9	19,1	0,2	0,9	1	2
MGO090030A	6425404	314237	Ytbergartsgnejs, ljusfärgad rödgrå, medelkornig, gnejsig och kraftigt migmattiserad	80	2,67	13,9	9,1	22,6	0,2	0,8	1	2
MGO090031A	6426035	314416	Ytbergartsgnejs, mörkfärgad grå, finkornig, ådrad, veckad, gnejsig	80	2,70	12,9	8,6	18,3	0,2	0,6	1	2
MGO090032A	6422416	305368	Ytbergartsgnejs, mörkfärgad grå, finkornig, förskiffrad	80	2,71	26,1	21,0	23,1	0,2	0,8	1	3
MGO090033A	6419602	318715	Tonalit, grå till svart, medelkornig, ådrad, gnejsig	64	2,77	20	14,6	29,9	0,1	0,4	1	3
MGO090034A	6422670	316301	Tonalit, grå till rödgrå, finkornig till fint medelkornig	60	2,71	12,1	7,7	17,5	0,1	0,3	1	2
MGO090037A	6426555	323147	Granit, ljusfärgad grå, finkornig, förskiffrad	60	2,67	9,7	6,5	20,7	0,2	1,0	1	1
MGO090038A	6428640	328658	Granodiorit, rödgrå till gråröd, finkornig till medelkornig, ådrad, gnejsig, protomylonitisk	73	2,69	9,2	5,8	17,1	0,1	0,6	3	1
MGO090039A	6428629	328645	Amfibolit, svart, finkornig, förskiffrad till gnejsig	66	3,04	14,6	12,8	12,3		1	2	1
MGO100001A	6427069	311848	Granit, ljusfärgad grå, fint medelkornig, gnejsig	62	2,64	9 ¹	5,5				1	1
MGO100004A	6425385	319610	Granodiorit, grå, fint medelkornig	64	2,73	13 ¹	8,8				2	2,5
MGO100007A	6417432	319377	Granit, gråröd, medelkornig, gnejsig	50	2,64	11 ¹	7,3	27,7			2	2,5
MGO100008A	6412513	312106	Ytbergartsgnejs, grå, finkornig, gnejsig, bandad, veckad	80	2,74	18 ¹	13,8				3	3
MGO100009A	6410869	307020	Diabas, svart, medelkornig, oftisk	24	3,01	16 ¹	11,6				2	2
MGO100010A	6415818	309150	Ytbergartsgnejs, grå, medel- till grovkornig, gnejsig, migmattisk	80	2,70	25 ¹	20,8	37,6			3	3
MGO100012A	6434527	326255	Granodiorit, grå till rödgrå, medelkornig, porfyrisk, gnejsig	63	2,70	18 ¹	13,2				3	3
MGO100013A	6422362	305323	Metagabbro, svart, medelkornig, förskiffrad	66	3,05	15 ¹	11,2				2	2

¹ Kulkvarnsvärdet beräknat genom micro-Devalvärde ($A_N = (3,435 + M_{DE}) / 0,9515$).

sänkor i naturen, har gjorts på kartunderlag i skala 1:50 000 från Lantmäteriets höjddatabas. Det är sannolikt att dessa svackor utbildats i spröda deformationszoner där berggrunden är kraftigt uppsprucken. Den magnetiska anomalikartan har använts för att tolka deformationszoner. Elektromagnetiska data (VLF) har använts för tolkning av spröda deformationszoner som vatten- och lerfyllda svaghetszoner.

Data om djupet till berggrundsytan, jorddjupet, har hämtats från SGUs brunnarsarkiv. Detta redovisas i tre klasser: <2 m, 2–5 m och >5 m. Totalt redovisas över 2 000 brunnar. Medeljorddjupet i dessa är 4 m. I ca 10 % av brunnarna är jorddjupet större än eller lika med 10 m. De största jorddjupen på 40–52 m förekommer i några brunnar i centrala Kungälv (Gärdet) på Nordre älvs norra strand.

ALLMÄN GEOLOGI

Kartområdet (fig. 2) är en del av den sydvästsvenska gnejsregionen. De äldsta bergarterna inom kartområdet utgörs av ytbergartsgnejs (metagråvacka) som tillhör Stora Le-Marstrandgruppen (se nedan). Gnejsen, som vanligen är ådrade, blir mer och mer migmatitiserade ju längre österut man kommer. Gnejserna utgör en del av ett större nord–sydligt stråk, som sträcker sig från Göteborgs södra skärgård norrut in i sydöstra Norge. I östra delen av området dominerar gråroda till grå, granitiska till tonalitiska ådergnejsar av magmatiskt ursprung med inslag av mörkt grå till svarta, mafiska bergarter. Berggrunden har utsatts för åtminstone två bergskedjebildningar, orogener. Bergarterna har då omvandlats under tryck och temperaturer som motsvarar amfibolitfaciesförhållanden. För knappt 1 600 miljoner år sedan inträffade den äldsta av dessa, den s.k. gotiska bergskedjebildningen. Ytbergartsgnejsen migmatitiserades och veckades i samband med denna. För omkring 1 050 till 900 miljoner år sedan genomgick berggrunden återigen en orogenes, den s.k. svekonorvegiska bergskedjebildningen. Bara de yngre pegmatitgångarna, diabasgångarna och de paleozoiska bergarterna har undgått denna omvandling (Lundqvist 2007).

BERGARTSBESKRIVNING

Bergartsenheter i Kungälvområdet finns redovisade i tabell 3. Bergartskoden är en unik beteckning för de olika relevanta och identifierade bergartsenheter i området, och används för att gruppera, jämföra och tolka de olika analysresultaten. Bergartskoden används i tabellerna med mineralogiska och tekniska analyser (tabell 1 och 2). För en noggrannare beskrivning hänvisas till berggrundsbeskrivningar (Lundqvist 2007, Samuelsson & Söndergaard 1985).

Ytbergartsgnejs, huvudsakligen terrigena epiklastiska (Stora Le-Marstrandgruppen, Bkod 80, 82)

De äldsta bergarterna inom kartområdet utgörs av ytbergartsgnejs (bergartskod 80), som tillhör Stora Le-Marstrandgruppen (fig. 3). Ytbergartsgnejs utgör omkring hälften av berggrunden inom området. Ursprungsmaterialet till Stora Le-Marstrandgruppens bergarter avsattes på havsbotten för ca 1 600 miljoner år sedan. Glimmerhalten är vanligen ganska hög i de ursprungligen finkorniga lagrena. I lager med en grövre kornstorlek (sandiga) är glimmerhalten lägre. Inlagrat i ytbergartsgnejsen finns ofta smala amfibolitlager (bergartskod 82) som är rester av mafiska vulkaniska bergarter.

Ytbergartsgnejsen är vanligen grå och finkornig till medelkornig samt bandad. Bandningen orsakas av en växellagring mellan mörkt grå, finkorniga, glimmerrika led och ljus grå, kvarts- och fältspatrika led. De grå och glimmerrika banden är vanligen relativt kraftigt forskiffrade. Även lager av amfibolit förstärker den bandade strukturen. Detta gör att ytbergartsgnejsen i vissa områden lätt spricker upp parallellt längs med glimmerkloven, något som gör den lämplig som byggnadssten (fig. 4). På grund av den kraftiga omvandlingen i området är få primära, sedimentära strukturer bevarade. Ytbergartsgnejsen är vanligen ådrad och veckad. Graden av uppsmältning, migmatisering, ökar generellt sett mot öster.

Tabell 3. Bergartsenheter inom kartområdet i Kungälv kommun. Tabellen är sorterad efter bergartskod.
Bedrock units within the map area in the municipality of Kungälv. The table is sorted according to rock code.

Bergartsenhet <i>Rock unit</i>	Antal prov <i>No of samples</i>	Bergartskod* <i>Rock code</i>
Diabas (935 miljoner år gammal)	1	24
Granit, porfyrisk, gnejsig (Askimsgranit, Kungsbackasviten)	2	50
Granit, porfyrisk, gnejsig (RA-granit, Kungsbackasviten)	2	52
Mafiska bergarter associerade med RA- och Askimsgranit (Kungsbackasviten)	1	54
Granit till granodiorit, finkornig till fint medelkornig, svagt förskiffrad (1560-sviten, Hisingensviten)	2	60
Granit, gnejsig (1560-sviten, Hisingensviten)	2	62
Granodiorit, porfyrisk, gnejsig (1560-sviten, Hisingensviten)	3	63
Granodiorit, gnejsig (1560-sviten, Hisingensviten)	2	64
Tonalit, gnejsig (1560-sviten, Hisingensviten)	2	65
Amfiboliter och gabbroier (Hisingen- och Göteborgssviten)	2	66
Granodiorit, gnejsig och ådrad (1600-sviten, Göteborgssviten)	1	73
Ytbergartsgnejs (Stora Le-Marstrandsgruppen)	10	80, 82

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



Figur 3. Grå, finkornig, ådrad ytbergartsgnejs, Myggstaviken (MGO090022A, 6426035/314416) med mycket goda tekniska egenskaper, A_N -värde = 8 % och LA-värde = 16 %. Pennan på bilden är 15 cm lång. Foto: Mattias Göransson.

Grey, fine-grained, veined supracrustal gneiss, Myggstaviken (MGO090022A, 6426035/314416) with very good technical properties, A_N -value = 8% and LA-value = 16%. The pen is 15 cm long.



Figur 4. Grå, finkornig till medelkornig, ådrad ytbergartsgnejs, skifferbrott vid Tjuvkils huvud (MGO090032A, 6422416/305368). Gnejsen är relativt kraftigt förskiffrad med moderat till brant lutande sprickplan vilket ger bergarten en välutvecklad klyvbarhet. Berget har dåliga tekniska egenskaper, A_N -värde = 26 % och LA-värde = 23 %. Vyn är ca 2 x 2,5 m. Foto: Mattias Göransson.

Grey, fine to medium-grained, anisotropic supracrustal gneiss, shale quarry at Tjuvkils huvud (MGO090032A, 6422416/305368). The gneiss is a high strength anisotropic rock with moderate to steep dipping fracture-planes. The rock has poor technical properties, A_N -value = 26% and LA-value = 23%. The view is app. 2 x 2.5m.

Granodiorit, gnejsig och ådrad (1600-sviten, Göteborgssviten, Bkod 73)

I den östligaste delen av Kungälvsområdet, i synnerhet i anslutning till Göta älvs dalgång, består berggrunden av medelkorniga, gnejsiga granodioriter som är mer eller mindre migmatitiskt ådrade (fig. 5). De har bedömts tillhöra en svit med djupbergarter som är ca 1 600 miljoner år gammal, den s.k. 1600-sviten. Denna svit har utsatts för metamorfos i samband med de båda bergskedjebildningar som har påverkat berggrunden i regionen.

Berggrunden som har byggts upp av sviten är ganska heterogen. På många platser växlar sammansättningen inom korta avstånd mellan granitiska och främst granodioritiska varianter. Bergarterna har på vissa platser decimeterstora till meterstora inneslutningar av olika typer av metamafiska bergarter. Halten av glimmer varierar mycket i granitoiderna men är ofta lägre än i de yngre granodioriterna som tillhör Hisingensviten.

Amfibolit och metagabbroid (1560- och 1600-sviten, Bkod 66)

I områdets gnejser förekommer mindre massiv med omvandlad gabbro, metagabbro och amfibolit. Amfibolit förekommer också som sliror, linsformade inneslutningar eller gångar (fig. 6). Dessa uppträder vanligen parallellt utsträckta med gnejsigheten i granitoider och gnejser i omgivningen.



Figur 5. Rödgrå, finkornig till medelkornig, ådrad, gnejsig granodiorit 800 m sydväst om Tjurholmen (MGO090038A, 6428617/308446) med mycket bra tekniska egenskaper, A_N -värde = 9 % och LA-värde = 17 %. Myntet är ca 25 mm stort. Foto: Mattias Göransson.

Red-grey, fine- to medium-grained, veined, gneissic granodiorit 800 m south-west of Tjurholmen (MGO090038A, 6428617/308446) with very good technical properties, A_N -value = 9% and LA-value = 17%. The coin is approximately 25 mm.



Figur 6. Kontakt mellan grå, stänglig tonalit och amfibolit vid Dotorp (MGO090026A, 6431599/329184). Teknisk analys är gjord på tonaliten. Bergarten har bra tekniska egenskaper, A_N -värde = 13 % och LA-värde = 21 %. Foto: Mattias Göransson.

Contact between grey tonalite and amphibolite at Dotorp (MGO090026A, 6431599/329184). Only the tonalite was sampled. The technical results indicates good technical properties of the rock, A_N -value = 13% and LA-value = 21%.

Granit, granodiorit och tonalit, gnejsig (1560-sviten, Hisingensviten, Bkod 62, 63, 64 och 65)

En svit med ca 1 560 miljoner år gamla granitiska till tonalitiska djupbergarter (den s.k. Hisingensviten) förekommer inom hela kartområdet. Till skillnad från 1600-svitens bergarter är dessa vanligen fria från migmatitiska ådror. Bergarterna är i allmänhet grå till gråröda, medelkorniga, gnejsiga och på flera platser småporfyrisk. De olika bergarterna övergår vanligtvis gradvis i varandra. Granodioriter dominerar.

Berggrunden har på många platser decimeterstora till meterstora inneslutningar (enklaver) av finkorniga till fint medelkorniga mafiska bergarter. Det vanligaste mörka mineralet är biotit (fig. 7), men även hornblände förekommer ibland.

På vissa platser är kontaktzonen mellan Hisingensvitens granitoider och ytbergartsgnejsen diffus och övergången dem emellan sker gradvis. Hisingensvitens bergarter antas, på grund av kontaktrelation, rumsliga närhet till och likartade mineralogiska sammansättningar, vara bildade genom en partiell smältning av ytbergartsgnejsen.

Granit till granodiorit, finkornig till fint medelkornig, svagt förskiffrad (1560-sviten, Hisingensviten, Bkod 60)

Grå till rödgrå, finkorniga till fint medelkorniga, svagt förskiffrade graniter och även granodioriter förekommer i de centrala och nordöstra delarna av kartområdet (bergarten syns inte på den översiktliga berggrundskartan då den ingår i Hisingensviten). Dessa bergarter antas vara bildade genom en stark



Figur 7. Porfyrisk, rödgrå, medelkornig, stänglig och gnejsig, glimmerrik granodiorit från Skälebräcke bergtäkt (MGO090004A, 6431258/326588) med moderata tekniska egenskaper, A_N -värde = 16 % och LA-värde = 28 %. Foto: Mattias Göransson.

Porphyritic, red-grey, medium-grained, gneissic, mica-rich granodiorite from Skälebräcke quarry (MGO090004A, 6431258/326588) with moderate technical properties, A_N -value = 16% and LA-value = 28%.

omvandling av den äldre berggrunden, t.ex. ytbergartsgnejs, och uppträder tillsammans med framför allt den senare. Eftersom bergarten vanligen är en leukogranit, dvs. innehåller mindre än 3 % mafiska mineral (t.ex. glimmer eller amfibol), kan foliationen ibland vara svår att se och bergarten uppfattas som massformig.

Mafiska bergarter, diorit eller gabbro, associerade med RA- och Askimsgraniterna (1300-sviten, Kungsbackasviten, Bkod 54)

I anslutning till 1300-graniterna förekommer mindre massiv med mafiska bergarter, diorit till gabbro (fig. 8). Dessa bergarter minglar lokalt med de tidigare och antas därför vara likåldriga. I anslutning till Göta älvs dalgång i de östra delarna är bergarten lokalt mer gnejsig. Till skillnad från de äldre mafiska bergarterna har de yngre oftast inte en välutvecklad polygonal textur och uppvisar ställvis en svag, subofitisk textur.

Granit, porfyrisk, gnejsig (Askimsgranit, 1300-sviten, Kungsbackasviten, Bkod 50)

Askimsgranit förekommer i tre nordnordostligt orienterade stråk i den östra delen av kartområdet. Graniten är vanligen rödgrå till gråröd, medelkornig och massformig till gnejsig. Graniten är huvudsakligen småporfyrisk (ögonförande), med upp till 2 cm stora ströckorn av kalifältspat. De mörka mineralen består av biotit och ibland även av hornblände. Mörka mineral överstiger dock sällan 10 volymprocent.



Figur 8. Svart, medelkornig gabbro (MGO090006A, 6420821/322152) med moderata tekniska egenskaper, A_N -värde = 16 % och LA-värde = 20 %. Foto: Mattias Göransson.

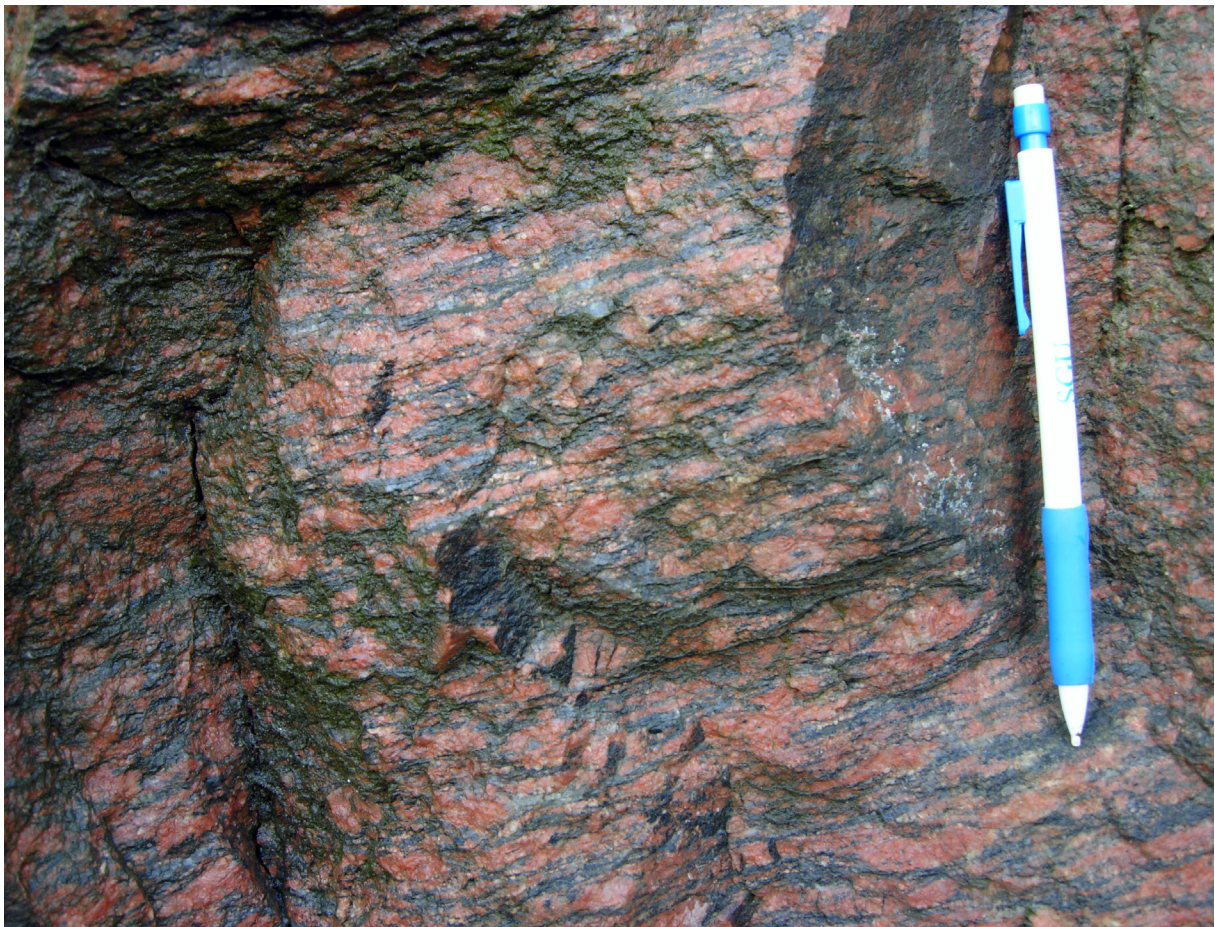
Black, medium-grained gabbro (MGO090006A, 6420821/322152) with moderate technical properties, A_N -value = 16% and LA-value = 20%.

I de norra delarna av kartområdet förekommer på vissa platser inneslutningar av främmande bergarter i graniten. I de fall det även finns Askimsgranit tillsammans med mafiska bergarter av samma ålder kan magmorna på vissa ställen ha blivit blandade (minglat) så att det har bildats hybridbergarter.

Granit, porfyrisk, gnejsig (RA-sviten, 1300-sviten, Kungsbackasviten, Bkod 52)

Porfyrisk, gnejsig granit tillhörande Kungsbackasviten förekommer i anslutning till Göta älvs dalgång i de östra delarna av kartområdet. Gnejsgraniten har kallats RA-granit på grund av att den har en förhöjd gammastrålning (radioaktivitet). Radiumindex är dock bara i undantagsfall högre än 1. Granitens uranhalt varierar mellan 9 och 18 ppm och dess toriumhalt mellan 35 och 50 ppm. Bergarten är röd till gråröd, medelkornig, gnejsig (fig. 9) och ibland ådrad. Inom en del områden är den diffust ögonförande med linsformade fältspatsögon. De mörka mineralen, vanligen runt 10 viktprocent, utgörs av biotit, hornblände och dessutom ibland pyroxen. Mineralet flusspat är vanligt förekommande om än i små mängder och orsakar förhöjd fluorhalt i grundvattnet (Lundqvist & Kero 2006). Gnejsgraniten grusvittrar på en del platser. Vittringen har skett i allt från smala zoner till större områden där vittringen nått minst tre meters djup. Vid några sådana lokaler har förekomsten använts som grustag.

En åldersdatering av RA-graniten vid Kärra, strax söder om kartområdet, har gett en ålder på ca 1 310 miljoner år (Austin-Hegardt m.fl. 2007).

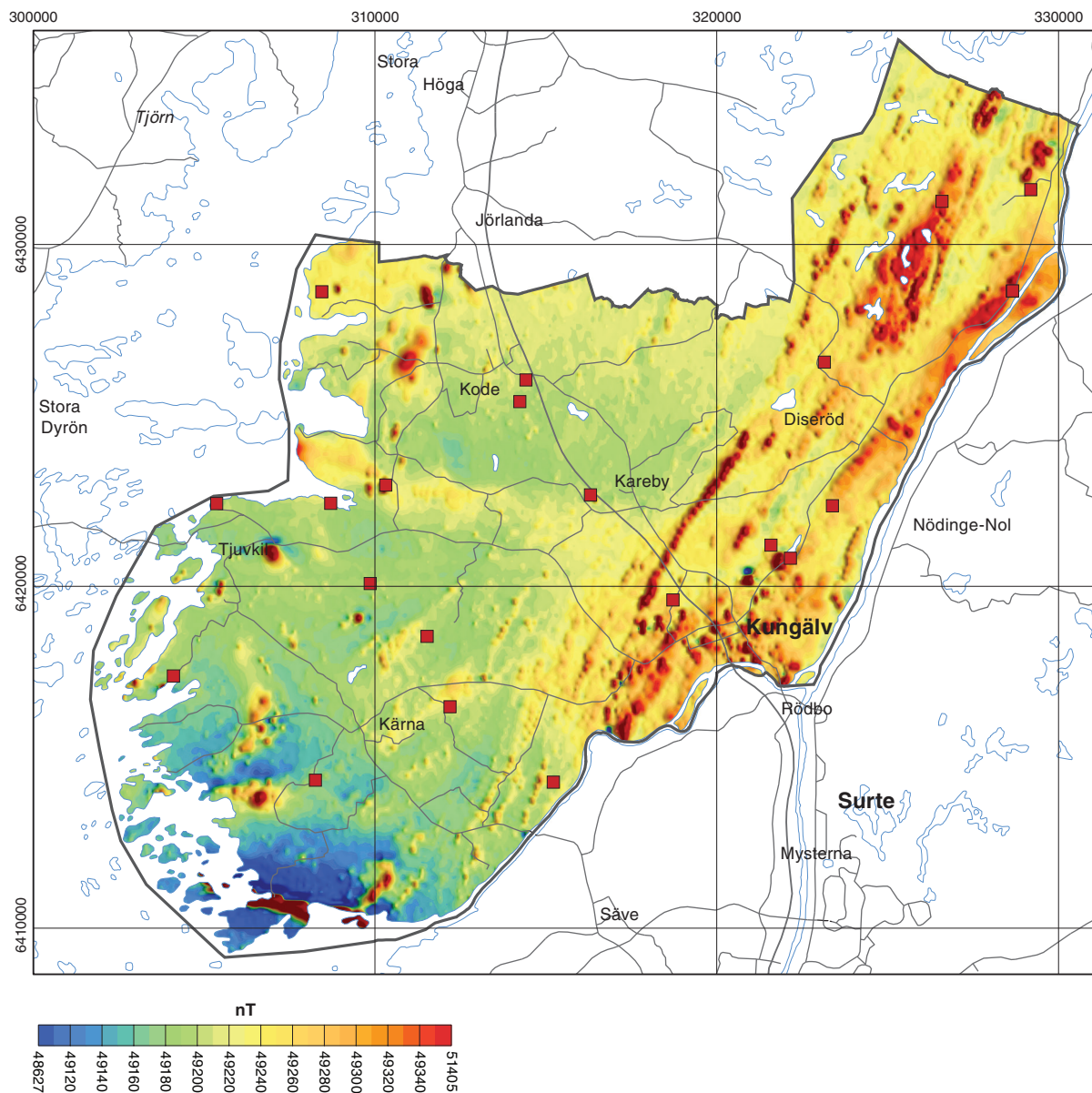


Figur 9. Mörkfärgad röd, medelkornig, relativt kraftigt stänglig granit (RA-granit), strax öster om Skälebräcke bergtäkt (MGO090005A, 6417369/304101), med mycket goda tekniska egenskaper, A_N -värde = 9 % och LA-värde = 23 %. Foto: Mattias Göransson.

Dark-coloured red, medium-grained, heavily elongated granite to the east of Skälebräcke quarry (MGO090005A, 6417369/304101) with very good technical properties, A_N -value = 9% and LA-value = 23%.

Diabas, (Bkod 24)

I slutskedet av den svekonorvegiska bergskedjebildningen för ca 935 miljoner år sedan (Lundqvist 2007) intruderade ett antal diabasgångar i kartområdet. Detta avslutade bergartsbildningen inom projektområdet i prekambrisk tid. Den största av dessa diabaser återfinns vid Stora Överön i de sydvästra delarna av området. Här är diabasen lokalt grusvittrad. Diabasgångarna är orienterade i västnordvästlig riktning och stupar vanligen vertikalt till subvertikalt. Diabasen är grå till svart och finkornig till grovt medelkornig. På den magnetiska anomalikartan (fig. 10) framträder diabasgången vid Stora Överön tydligt som ett högmagnetiskt anomalistråk.



Figur 10. Magnetisk anomalikarta över Kungälv kommun. Kartan baseras på SGUs flygmätningar utförda år 1973 och 1975 (södra delen av projektområdet) och 1983 (norra delen av projektområdet) med ett linjeavstånd av 200 m och ca 30 m flyghöjd.

Magnetic anomaly map over the project area. Airborne data were collected by SGU during 1973, 1975 and 1983 with a line spacing of 200 m and a ground clearance of c. 30 m.

GEOFYSISKA UNDERSÖKNINGAR

De geofysiska flygmätningarna över kartområdet omfattar mätning av det jordmagnetiska fältets totalintensitet, markens naturliga gammastrålning och det elektromagnetiska fältet i VLF-området (very low frequency). VLF-data är enbart uppmätta med en sändare i sydvästlig riktning. Detta innebär att responsen är beroende av riktningen till sändaren. Mätningarna är utförda från flygplan på ca 30 m flyghöjd längs linjer med 200 m avstånd.

VLF-data ger värdefull information om den elektriska ledningsförmågan i marken. I första hand används detta som underlag för att identifiera vattenförande sprickzoner i berggrunden samt grafit- och magnetkisförande bergartsled.

Flygmätning med gammaspektrometer ger en bild av hur naturligt förekommande radioaktiva isotoper av uran, torium och kalium är fördelade i det översta, ca 3 dm tunna skiktet av jordtäcket eller berggrunden. Mätresultaten används vid sammanställningen av berggrundskartan, men framför allt för att identifiera bergarter med förhöjd gammastrålning och områden med risk för förhöjda radonvärden. Bergarternas strålningsegenskaper redovisas nedan i avsnittet *Berggrundens gammastrålningsegenskaper*.

Densiteten är beroende av bergartens mineralsammansättning. Bergarter med låg densitet (2,60–2,70 g/cm³) består framför allt av lättare mineral såsom kvarts och kalifältspat. Dessa är vanliga i granit och granodiorit. Bergarter med hög densitet (2,80–3,00 g/cm³) domineras av tyngre mineral som plagioklas, biotit och hornblände. Dessa är vanliga i tonalit, diabas och gabbro. Lätta mineral är vanligtvis sprödare än tyngre mineral. Densiteten ger därför en grov uppskattning av ifall bergarten har lätt att deformeras sprött, något som är vanligare i t.ex. graniter. I tabell 2 anges densitet för alla de bergartsprover där teknisk analys genomförts.

Den magnetiska anomalikartan ger information om vissa bergarters utbredning samt om strukturella grunddrag i berggrunden. Variationer i magnetfältet beror framför allt på bergarters olika innehåll av magnetiska mineral. Detta gäller huvudsakligen den magnetiska susceptibiliteten som främst beror på förekomsten av magnetit. Genom att mäta susceptibiliteten på provtagningslokalerna och på bergartsprover i laboratorium kan man bättre förstå och tolka mönstret från flygmätta magnetiska data.

Den magnetiska anomalikartan över kartområdet Kungälv (fig. 10) visar en dominerande anomali i den södra delen av området. Denna orsakas av en diabas med hög magnetisk susceptibilitet (ca $3\,000\text{--}4\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter). Modeller som är baserade på magnetiska markmätningar har visat att gången är ca 160 m bred och stupar brant mot norr (Lundqvist & Kero 2007). Ytbergartsgnejserna (Stora Le-Marstrandsgruppen), som täcker stora delar av den västra delen av området, har generellt låg magnetisk susceptibilitet (omkring 20×10^{-5} SI-enheter). Den östra delen av området uppvisar högre magnetiseringsnivåer med ett bandat anomalimönster i nordöstlig till sydvästlig riktning. Detta sammanfaller med gnejsigheten hos graniter till tonaliter i denna del av området.

PETROGRAFISK ANALYS

Bergartsprovernas mineralsammansättning och de ingående mineralens mängdförhållanden har bestämts genom punkträkning av mineral Korn från ett tunnslip av bergartsprov med hjälp av transmissionsmikroskopi. Ett tunnslip per provtagningslokal har framställts från ett representativt bergartsprov. Resultaten visas i tabell 1. Bergarterna karaktäriseras av både primära texturer och sekundära överpräglningar i form av deformation och metamorfos av olika grad. Omkristallisering under höga tryck och temperaturer samt retrograd omvandling är också vanliga. Kornstorlek, korngränser och mineralogi är centrala parametrar som styr bergarternas tekniska egenskaper.

Mineralogiskt visar det sig att glimmermängden ofta når sådana halter att den överskuggar effekterna av parametrar som annars förbättrar egenskaperna. Fördelningen av glimmer är dock ofta avgörande vid medelhöga glimmerhalter. Inom glimmergruppen finns både biotit och muskovit. Biotiten är ibland kloritomvandlad. Det som är avgörande för bergarternas styrkeegenskaper är totalhalten

av glimmer, inte skillnaderna i glimmertyp. Andra mineral som generellt försämrar bergarternas hållfasthet är epidot.

Plastisk deformation och gnejsighet finns utvecklad i flera av proverna, men är inte något i sig som tydligt styr de tekniska egenskaperna. Skälet är att texturerna utvecklades dynamiskt från början, men dessa finns inte alltid bevarade.

Glimmermineral, järnhydroxider och opakmineral i kornfogarna finns sporadiskt i alla bergkvalitetsklasser. Vanligen signalerar förekomsten av sådana mineral en försämring av bergkvaliteten men i det här området bör dessa resultat tolkas med försiktighet. Resultaten pekar ändå på att en större mängd omvandlingsmineral i kornfogarna försämrar sprödhetsegenskaperna mer än nötningssegenskaperna.

Bland de olika magmatiska djupbergarterna är s.k. Askimsgranit, RA-granit och granitoiderna i Hisingensviten tydligt bättre presterande än de övriga. Det som utmärker dessa bergarter är en kombination av två faktorer – låg glimmerhalt och tillräcklig mängd av finkornig matrix.

Gruppen av 1560 miljoner år gamla granodioriter till basiska bergarter har tydligt sämre nötningsmotstånd. Gruppen karaktäriseras av grövre kornstorlek, högre glimmerhalt eller hornbländehalt och att glimmern bildar sammanhängande svaghetsplan. För vissa hornbländerika bergarter är det också tydligt att raka kornfogar och jämnkornighet försämrar de tekniska egenskaperna.

Inom gruppen av ytbergartsgnejser finns en stor spännvidd i de tekniska egenskaperna. Gemensamt för gruppen är förstås en hög glimmerhalt (22 till 46 volymprocent). Den totala halten skiktssilikat (biotit, muskovit och klorit) ligger mellan 25 och 50 volymprocent. Kornstorleken är generellt sett mindre än för djupbergarterna. Glimmern varierar i kornstorlek, typ, fördelning och mängd. De tekniska egenskaperna styrs huvudsakligen av två faktorer: glimmerhalt och total kornstorlek. Generellt gäller att ju lägre halt glimmer desto bättre nötningsmotstånd, men det är bara när kvarts och fältspater uppträder i finkorniga matrix som värdena blir goda. Det bör noteras att just de finkorniga och gnejsiga ytbergarternas glimmerhalt är svår att bestämma med precision genom traditionell modalanalys.

Skiktssilikater (glimmer m.m.)

Andelen fri glimmer (bestämd enligt VVMB 613, Trafikverket 2001, för material 0,125–0,25 mm) får inte överstiga 50 viktprocent för obundna vägmateriäl. Om andelen är mellan 30 och 50 viktprocent får bär-lagret inte trafikeras av tung trafik (Väverket 2005a, b). Även omvandlingsmineral som klorit, serpent in och epidot är intressanta i bedömningen av bergartens beständighet. Information om mineralsamman-sättningen redovisas i tabell 1. Högst halter av skiktssilikat (biotit, muskovit och klorit) har paragnejserna (Bkod 80, 25–51 %). Samtliga prover från ytbergartsgnejsen har höga glimmerhalter (tabell 1). Ljusare varianter av ytbergartsgnejs uppfattas normalt som något sandigare. Dessa innehåller ofta ljus glimmer, muskovit, som kompenserar en relativt lägre andel av den mörkare glimmern biotit. Även granodioriter och tonaliter inom Hisingensviten innehåller måttfulla till höga glimmerhalter (16–24 %).

Opaka mineral (sulfider m.m.)

Sulfider som kommer i kontakt med vatten och syre vid t.ex. krossning kan oxideras. Då sänks pH-värdet i vattnet. 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. Väverket anger att det ska undersökas om det finns ”surt berg”, dvs. bergarter med sulfidmineral, inom vägutredningsområden. Normalt finns det ett sam-band mellan svavelhalten i ett bergmaterial och mängden sulfidmineral. Vid en svavelhalt som är högre än 0,3 viktprocent i bergmaterialet, vilket ungefär motsvarar 0,3 volymprocent pyrit, rekommenderas att speciella åtgärder vidtas innan man använder bergmaterialet för betong-, väg- och järnvägsändamål.

Vid t.ex. lagring och användning av ballast med hög sulfidhalt bör tillgången på syresatt vatten minskas genom t.ex. övertäckning eller deponering under grundvattenytan. En hög svavelhalt bör också undvikas

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 table 1).

Prov Sample	Bkod Rock code	Opak (vol.-%) Opaque (vol.-%)	Oxider Oxides				Sulfider Sulphides			Övrigt Other
			Magnetit Magnetite	Hematit Hematite	Hematit-ilmenit Hematite-ilmenite	Ilmenit Ilmenite	Pyrit Pyrite	Magnetkis Pyrrhotite	Kopparkis Chalcopyrite	
MGO090005A	52	1,0								Rutil
MGO090030A	80	0,4					+++			Rutil
MGO090032A	80	0,4		(+)			++	(+)	+	
MGO090034A	60	1,4					(+)			Rutil
MGO090037B	60	>1					(+)		(+)	
MGO090039A	66	6,2		++	+++		++		+	
Granatamfibolit	82	>1				+++	++		+	
SLM Grandalen	80	>1,0				(+)	(+)		(+)	

om materialet ska användas vid betongtillverkning. Om sulfidinnehållet är högt bör materialet analyseras kemiskt för att bestämma totalhalten av svavel. Prover med höga halter av opaka mineral bör opakmikroskopas för att man ska kunna uppskatta halten av sulfidmineraliseringar.

Prov MGO090039A från en basisk gång innehåller rikligt med opaka mineral, 6,2 volymprocent (tabell 4). Endast detta prov förväntas ha en alltför hög halt, >0,3 %, av sulfidmineral såsom pyrit, magnetkis och kopparkis för att användas som ballastmaterial utan att vidta speciella åtgärder.

DEFORMATIONSZONER, SPRICKOR OCH ÖVRIGA STRUKTURER

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

Lineamenten på bergkvalitetskartan är tolkade från höjddata, geofysiska data och fältmätningar. Deformation av berggrunden kan påverka en bergarts magnetiska egenskaper. Detta beror framför allt på att temperatur, tryck och innehållet samt fördelningen av magnetiska mineral förändras i en bergart under deformationen. En plastisk deformationsstruktur kan synas på magnetfältskartan som både positiva och negativa avvikelser. En sprickzon (spröd deformation) kan synas som en lågmagnetisk zon i den mer högmagnetiska värdbergarten, eftersom magnetit oxideras och omvandlas till hematit som är omagnetiskt. Spröda, vattenförande sprickzoner har bättre elektrisk ledningsförmåga än omgivande sprickfattig berggrund och syns därför tydligt i elektromagnetiska data (VLF).

BERGGRUNDENS GAMMASTRÅLNINGSEGENSKAPER

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

EUs strålningsdirektiv (2013/59/EURATOM) föreskriver en referensdos för gammastrålning från byggnadsmaterial på 1 mSv/år. Direktivet implementeras i svensk lagstiftning med en ny strålskyddslag

(SFS 2018:396) och framförallt en ny strålskyddsförordning (inte utkommen) som börjar gälla den 1 juni 2018. I lag och förordning finns, förutom referensdosen för gammastrålning från byggmateriel, krav på att den som tillhandahåller ett material av betydelse ur strålskyddssynpunkt ska lämna uppgifter om materialet till mottagaren (dvs. märkning).

I en bilaga till direktivet anges att om man har ett material med aktivitetsindex under 1 i golv, väggar och tak kommer man, med ett konservativt antagande, att hamna under referensdosen 1 mSv/år från huset.

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 (2013/59/EURATOM). 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

Enligt äldre rekommendationer från de nordiska ländernas strålskyddsinstitutioner bör radiumindex för byggnadsmaterial vara mindre än 1,0 (The radiation protection authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden 2000). Radiumindex 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.

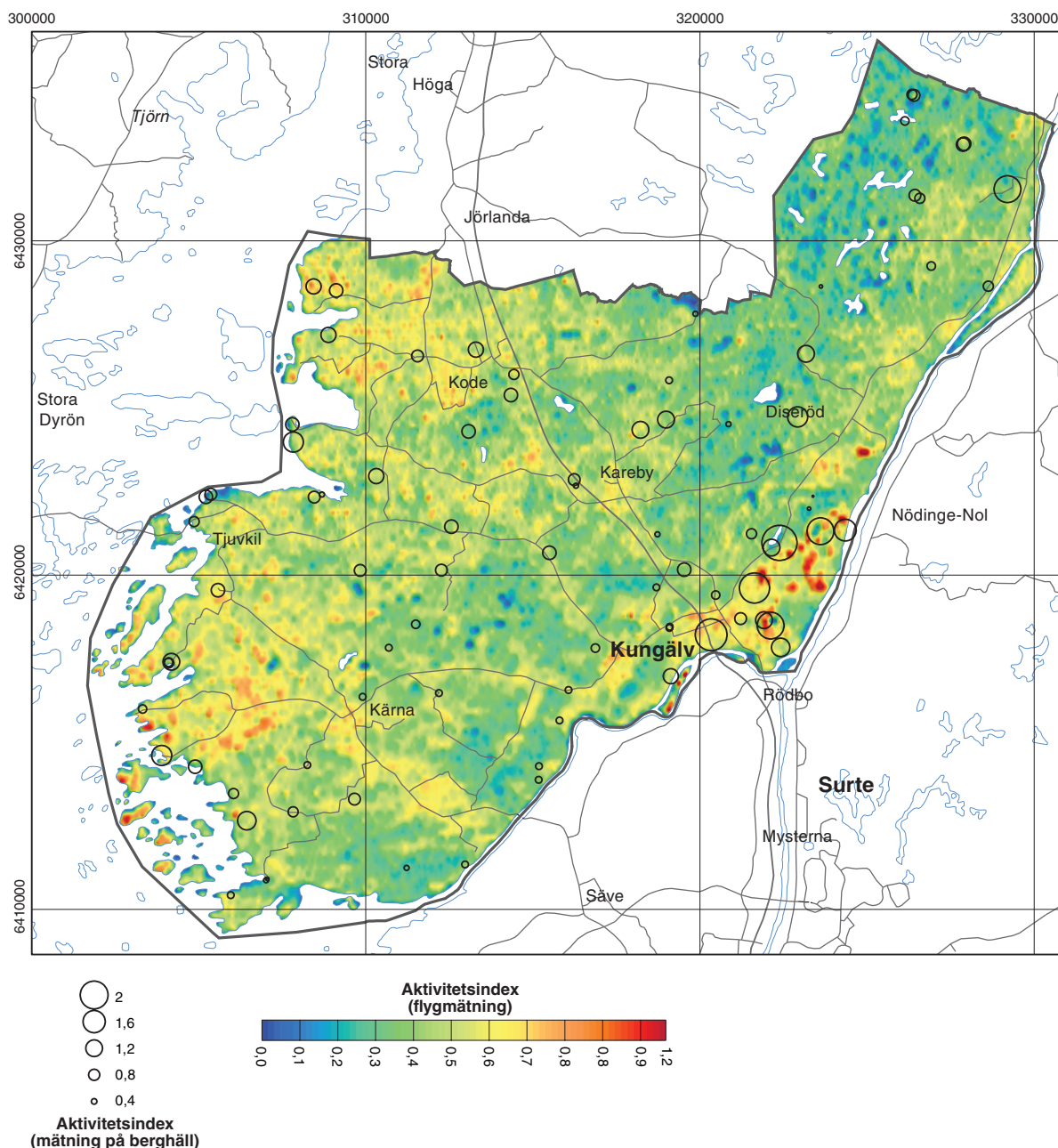
Figur 11 visar kartan över markens naturliga gammastrålning. Gammastrålningen är generellt låg, förutom ett område i sydost som sammanfaller med utbredningen av så kallad RA-granit (Bkod 52). Uppföljning av gammastrålningsmätningar på berghällar har utförts både inom tidigare undersökningsprojekt och inom detta projekt, vid totalt 88 lokaler inom området. Av dessa är 29 från lokaler där prover har tagits för teknisk analys (se tabell 5). Vid varje mätpunkt utfördes normalt två till fyra mätningar. Mätningar på berghällar visar att det huvudsakligen är graniter inom bergartsgrupp 52 (RA-graniter) som har förhöjda halter av uran och torium. Uranhalten inom denna grupp varierar från 1,3 till 14 ppm. Toriumhalten varierar från 3 till 64 ppm. De höga toriumhalterna får till följd att aktivitetsindex överstiger 2 på en lokal ca 2 km rakt nordost om Kungälv. Inga förhöjda halter av uran har uppmätts inom området och övriga bergarter inom undersökningsområdet visar låga aktivitets- och radiumindex (tabell 5).

Tabell 5. Sammanställning av gammastrålningsmätningar inom kartområdet Kungälv. Värdena representerar beräknat medelvärde för respektive bergartsenhet.

Summary of gamma measurements in the map area Kungälv. The values represent calculated mean for each rock unit.

Bkod* Rcode	Bergartsenhet Rock unit	K (%) P (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Radiumindex Radium index	Aktivitetsindex Activity index	Antal mätningar Number of measurements
80	Ytbergartsgnejs	3,3	3,4	11,2	0,2	0,7	70
73	Granodiorit, gnejsig	3,0	2,3	9,7	0,1	0,6	3
66	Amfibolit, gabbro	1,4	1,5	2,7	0,1	0,3	1
62–65	Granit, granodiorit och tonalit, gnejsig	2,3	2,3	7,7	0,1	0,5	80
54	Diorit, gabbro	1,3	0,2	1,4	0,0	0,2	6
52	Granit, porfyrisk, gnejsig, RA	4,7	6,9	33,4	0,4	1,5	32
50	Granit, porfyrisk, gnejsig, Askim	3,9	4,2	13,0	0,3	0,8	25
24	Diabas	1,2	0,3	1,6	0,0	0,2	5

* Bergartskoden är baserad på bergartens ålder och sammansättning (se tabell 3).



Figur 11. Karta över markens gammastrålning (aktivitetsindex) över Kungälv's kommun. Markmätningar på hållar visas som cirklar i proportionell storlek. Kartan baseras på SGUs flygmätningar utförda år 1973 och 1975 (södra delen av projektområdet) och 1983 (norra delen av projektområdet) med ett linjeavstånd av 200 m och ca 30 m flyghöjd.

Gamma radiation map over the project area. Airborne data is collected by SGU during 1973, 1975 and 1983 with a line spacing of 200 m and a ground clearance of c. 30 m.

TEKNISKA ANALYSER

Vid representativa lokaler har ca 70 kg berg provtagits för bergmaterialtester som omfattar kulkvarnsanalys, Los Angelesanalys, micro-Devalanalys och alkalisilikareaktivitet. Berget som har provtagits är representativt för provlokalen och inte vittat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket, om inte annat anges. Samtliga bergprover har tagits på platser där det har funnits tillräckligt med lossprängd sten eller friska blottningar, dvs. i bergskärningar längs vägar eller vid byggplatser. Provtagningen har gjorts med slägga och spett. Specifika bergprover har tagits ut vid provtagningar i bergtäkter. Därför kan dessa pro-

Tabell 6. Medelvärden av kulkvarnsvärde, Los Angeles-värde och micro-Devalvärde för de analyserade bergartsenheter i Kungälv kommun. A_N är kulkvarnsvärde, LA är Los Angeles-värde, M_{DE} är micro-Devalvärde.

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

A_N = studded tyre test value, LA = Los Angeles value, M_{DE} = micro-Deval value.

Bkod* Rock code	Bergartsenhet Rock unit	A_N (%)			LA (%)			MDE (%)		
		Sprid. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov Nr. of samples	Sprid. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov Nr. of samples	Sprid. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov Nr. of samples
24	Diabas		15,8	1				11,6		1
50	Granit, porfyrisk, gnejsig (Askimsgranit, Kungsbackasviten)	11–12	11,5	2	26–28	26,9	2	7,4		2
52	Granit, ögonförande, gnejsig (RA-granit, Kungsbackasviten)	8–9	8,8	2	18–23	20,2	2	4–6	5,0	2
54	Mafiska bergarter, diorit eller gabbro, associerade med graniter tillhörande Kungsbackasviten		15,8	1		19,6	1	11,2		1
60	Granit till granodiorit, finkornig till fint medelkornig, svagt förskiffrad (Hisingensviten)	10–12	10,9	2	18–21	19,1	2	6–8	7,1	2
62	Granit, gnejsig (Hisingensviten)	9–10	9,7	2		20,8	1	5,9		2
63	Granodiorit, porfyrisk, gnejsig (Hisingensviten)	13–18	15,4	3	23–28	25,7	2	9–13	10,6	3
64	Granodiorit, gnejsig (Hisingensviten)	13–20	16,4	2		29,9	1	9–15	11,7	2
65	Tonalit, gnejsig (Hisingensviten)	12–17	14,8	2	21–23	21,7	2	9–12	10,7	2
66	Amfiboliter och gabbroider (Hisingen- och Göteborgssviten)		15,0	2		12,3	1	11–13	12,0	2
73	Granodiorit, gnejsig och ådrad (Göteborgssviten)		9,2	1		17,1	1	5,8		1
80	Ytbergartsgnejs, (Stora Le-Marstrandgruppen)	8–26	17,1	9	16–38	22,5	8	6–21	13,1	9

* Bergartskoden är baserad på bergartens ålder och sammansättning.

vers egenskaper avvika från täktens upplagsmaterial. En jämförelse med bergtäkternas produktionsdata och SGUs provresultat har gjorts för att säkerställa klassificeringen av berget i dessa områden. Totalt har 30 prover från lika många lokaler tagits inom ramen för det aktuella karteringsområdet. En sammanställning av de tekniska analysresultatens medelvärden per respektive bergartsenhet återfinns i tabell 6.

Utöver de analyser som gjorts på de provtagna bergarterna inom projektet har även analyser gjorts i närliggande undersökningsområden, Göteborg (Persson m.fl. 2000), Stenungsund (Eliasson m.fl. 2007), Ale (Eliasson m.fl. 2004a), Lilla Edet (Eliasson m.fl. 2004b). Värdefulla synpunkter från Samuelsson (1975) och Knappe (1989) har beaktats när bergkvalitetskartan har tagits fram.

Kulkvarnsanalys

Kulkvarnsanalyserna har utförts enligt FAS-Metod 259-02 (Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige 2002, vilket motsvarar SS-EN 1097-9, Svensk Standard 2004d, Nordiska kulkvarnsmetoden). Krossningen har utförts i en rotationskross med 30 mm utloppsspalt samt i en laboratoriekäftkross med utloppsspalt inställd på 16 mm. Grovsiktning har gjorts i maskinskak och finsiktning utfördes enligt FAS-metod 221-98 (Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige 1998). Analyserad fraktion är 11,2–16 mm.

Harpsiktning har skett med spaltvidden 6,3 mm för att avlägsna de flisigaste kornen och erhålla ett flisighetsindex (jfr Svensk Standard 1997c) som motsvarar storproduktionsdrift, då materialet nöts under längre tid. Analys har i första hand gjorts på enkelprov. Om resultaten har hamnat i närheten av

klassificeringsgränsvärden (se bilaga 1) har man gjort ett dubbelprov. Kulkvarnsvärdena (A_N -värdena) presenteras i tabell 2.

Kulkvarnsvärdet är ett mått på bergets nötningsmotstånd. De sämsta (högsta) värdena får ytbergartsgnejserna. Hälften av dessa prover överskrider kulkvarnsvärdet 18 %. Förklaringen till detta är dessa bergarters höga glimmerhalter, något som nästan alltid resulterar i höga kulkvarnsvärden. Även glimmerrika tonaliter och granodioriter (Bkod 65, 64) kan ge relativt höga kulkvarnsvärden. De bergarter som får de bästa resultaten (lägsta värdena) är RA-graniter (Bkod 52), fint medelkorniga graniter tillhörande Hisingensviten (Bkod 62), deformerade graniter inom Göteborgssviten (Bkod 73) och en ytbergartsgnejs (Bkod 80). Samtliga dessa prover ger kulkvarnsvärden mellan 8 och 10 %. Områdets bästa A_N -värde ger en mörkfärgad röd, medelkornig, gnejsig RA-granit (MGO090008A, 8,2 %). Denna bergart har provtagits ca 1,1 km nordnordost om Norrmannebo kapell (6431599/329184).

Los Angelesanalys

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

LA-värdet är ett mått på bergartens motstånd mot fragmentering, sprödhet. Den bergart som har gett det högsta Los Angelesvärdet, 37,6 %, är en kraftigt migmatitiserad ytbergartsgnejs (Bkod 80), MGO100010A, ca 300 m sydväst om Kärna samhälle. I övrigt klarar alla andra analyser kategori LA₃₀. Högst LA-värden ger generellt sett bergarter som Hisingensvitens granodioriter (23–30 %) och Askimsgraniter (26–28 %). Bäst LA-värde får en svart, finkornig, förskiffrad amfibolit inom Göteborgssviten (MGO080027A, 6428629/328645, 12,3 %) tagen strax väster om Tjurholmen. Göteborgsdiabasen i den sydvästra delen av kartbladet har inte provtagits för LA-analys men förväntas att få liknande goda tekniska egenskaper.

Micro-Devalanalys

Micro-Devalvärdet (M_{DE}) är ett mått på bergets nötningsmotstånd. Metoden är snarlik kulkvarnsmetoden. Obundna lager i vägkonstruktion är kravsatta med M_{DE} -metoden. Inom de närmaste åren kan denna metod helt komma att ersätta kulkvarnsmetoden. Därför anses det nödvändigt att göra en korrelation mellan de två metoderna. Krossning och siktning har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. M_{DE} har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-1 (Svensk Standard 1997a). Om analysresultaten har hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden (bilaga 1) har man utfört dubbelprov. Resultaten av micro-Devalanalyserna presenteras i tabell 2. Endast två analyser överskrider kravet för kategori M_{DE15} , nämligen två glimmerrika ytbergartsgnejser (MGO090032A och MGO090024A). Mer än hälften av kartbladets prover klarar kraven för kategori M_{DE10} . Det bästa (lägsta) M_{DE} -värdet erhåller en RA-granit (Bkod 52) som också ger det bästa kulkvarnsvärdet, nämligen MGO090008. Bergarter med höga glimmerhalter erhåller nästan alltid höga micro-Devalvärden.

Alkalisilikareaktivitet (ASR)

Alkalisilikareaktivitet (ASR) är benägenheten (risken) för ett bergmaterial att bilda en alkalisilikagel. Detta är ett resultat av att kvarts (kiseldioxid) från ballasten löses upp av den starkt alkalina porlösningen i betongen (Lagerblad & Trädgårdh 1992). Gelen kan i vissa fall expandera och därmed uppstår en risk att betongen på sikt spricker upp. Exempel på reaktiva mineral och ogynnsamma texturer är i fallande reaktivitetsskala opal (amorf kvarts), kristobalit, tridymit, deformerad kvarts (t.ex. "ribbon quartz"), kvarts med suturerade kornfogar och mikrokristallin kvarts. En tregradig indelning har gjorts enligt

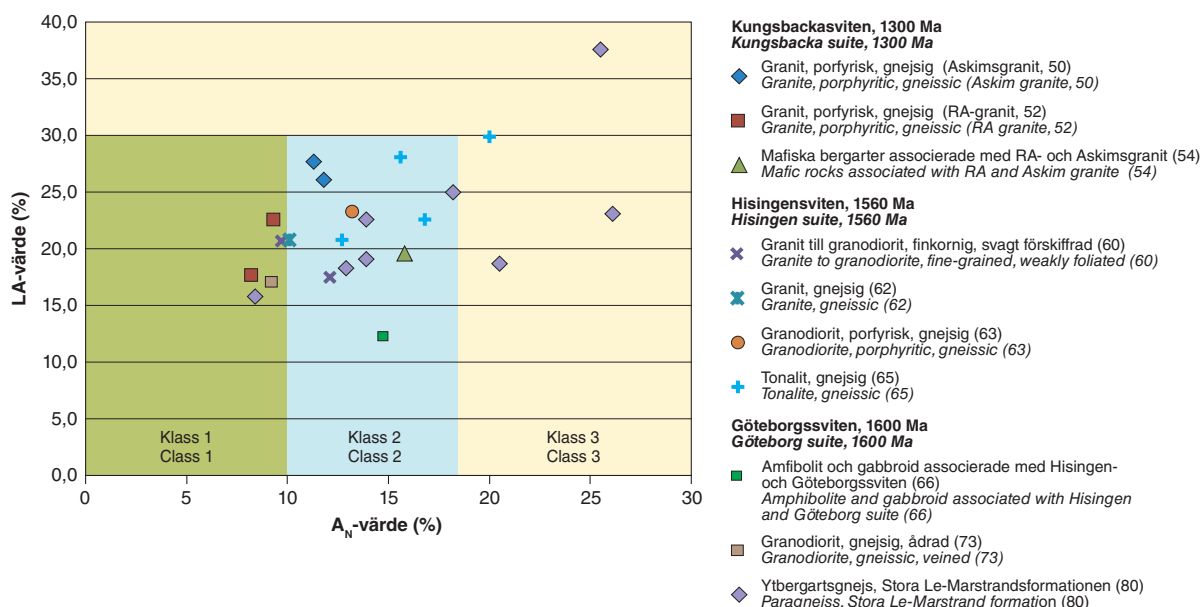
RILEM AAR-1 (RILEM 2000a): 1) mycket osannolikt alkalireaktiv, 2) osäker eller potentiell risk samt 3) mycket sannolikt alkalireaktiv. Resultaten presenteras i tabell 2.

Tunnslip av samtliga prover har undersökts. Endast ett av proverna bedöms som mycket sannolikt alkalireaktivt (ASR = 3), nämligen MGO090008A. Detta är en RA-granit (Bkod 52), dvs. samma bergart som också får de bästa kulkvarns- och M_{DE} -värdena. Denna bergart bör testas vidare med expansionsförsök av betongprismor RILEM AAR-3 (RILEM 2000b), för att avgöra om materialet är lämpligt att använda som betongballast för konstruktioner i fuktutsatt miljö.

SAMMANSTÄLLNING AV BERGKVALITETSKARTAN

En karta över fördelningen av de olika bergkvalitetsklasserna har framställts med utgångspunkt från de analyser som har gjorts på olika platser och som har ansetts väl representera berggrunden inom undersökningsområdet. Med tanke på berggrundens heterogenitet blir sammanställningen översiktlig. Vanligen urskiljs områden med tre kvalitetsklasser: 1) god 2) mindre god och 3) dålig kvalitet. Ytindelningen baseras således på bergkvalitetskartan främst på kulkvarnsvärdena i relation till de krav som ställs i ATB VÄG 2005 (Vägverket 2005a, b). Parallellt har övriga analysresultat, såsom Los Angelesvärde och potentiell förekomst av alkalisilikareaktivt material samt av aktivitetsindex, bedömts. 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, togs från en bergart. De tekniska egenskaperna för enskilda prover från bergtäkter och markberedningsområden med blandad berggrund kan därför avvika från vad som erhålls i bergmaterial uttaget genom storproduktionsdrift.

Analysdata som ytklassificeringen är baserad på redovisas i tabell 1 och 2 samt i figur 12. Den bästa berggrunden finns i de östra delarna av kommunen (se fig. 1). I synnerhet är det delar av den s.k. RA-graniten (Bkod 52) och närliggande deformerade granitoider som erhåller mycket goda tekniska egen-



Figur 12. Diagram som visar de tekniska analysresultaten, kulkvarnsvärde (A_N) och Los Angelesvärde (LA) för de olika bergartsproverna i kartområdet. 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 (A_N) and Los Angeles-value (LA) for the different rock samples of the map area. Classification (1–3) for road-material in the diagram is only based on LA and A_N , why some differences may occur compared to the data in table 2.

skaper och är väl lämpade som vägballast. Totalt sett har knappt 5 % av berggrunden bedömts som klass 1-material. Sviten med ca 1 560 miljoner år gamla granitiska till tonalitiska djupbergarter (Bkod 62, 63, 64) har överlag bedömts som klass 2-material. En tydlig trend syns i att graniterna ger lägre kulkvarnsvärden än granodioriterna, som i sin tur ger lägre kulkvarnsvärden än tonaliterna. Även Askimsgraniterna (Bkod 50) har bedömts som klass 2-material. Totalt utgör klass 2-material ungefär 47 % av berggrunden. I de västra delarna av undersökningsområdet ligger den berggrund som anses ha den sämsta kvaliteten (klass 3-material). Den domineras huvudsakligen av ytbergartsgnejser (bergartskod 80) och utgör ca 48 % av Kungälvområdet. I synnerhet ger den kraftigt ådergnejsomvandlade ytbergartsgnejsen dåliga ballastegenskaper. Även bandad, glimmerrik ytbergartsgnejs har visat sig vara mycket olämplig som väg-, betong- och järnvägsballast. Noterbart är att berggrunden vid tidigare berggrundskartering har visat sig vara vittrad på tre mindre ställen inom kommunen, nämligen strax öster om Kungälv samhälle (6418597/322432), 2,5 kilometer väster om Romelanda kyrka vid Källaröd (6424146/321278) och norr om Stora Överön (6410757/307056). I närheten av dessa ställen kan berggrunden vara extra olämplig för användning som ballast på grund av en större vittringspåverkan.

Vid användande av bergmaterial som vattenbyggnadssten i samband med erosionsskydd, fundament etc. är det viktigt att de krav (se bilaga 1) som finns i SS-EN 13383-1 (Svensk Standard 2002) efterföljs. För att kunna använda bergarter med förhöjd vattenabsorption, t.ex. sandstenar, som vattenbyggnadssten, rekommenderas att frostbeständigheten bestäms genom frys-tö-metoden (SS-EN 1367-1, Svensk Standard 2000). Bergarter som är kraftigt styrkeanisotropa, vilket vanligen t.ex. ytbergartsgnejser är, bör undvikas som vattenbyggnadssten, alternativt testas med avseende på styrkeanisotropi innan de används.

REFERENSER

- Austin-Hegardt, E., Cornell, D., Hellström, F. & Lundqvist, I., 2007: Emplacement ages of the mid-Proterozoic Kungsbacka Bimodal Suite, SW Sweden. *GFF* 129, 227–234.
- Banverket, 2004: *BVS 585.52, Makadamballast för järnväg*. 29 s.
- Boverket, 2004: *Boverkets handbok om betongkonstruktioner*. BBK 04, 271 s.
- EC, 1999: *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials*. Radiation Protection 112, European Commission, Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 16 s.
- Eliasson, T., Bastani, M. & Göransson, M., 2004a: Bergkvalitetskartan Ale kommun, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ba 69 Bk*, 22 s.
- Eliasson, T., Bastani, M. & Göransson, M., 2004b: Bergkvalitetskartan Lilla Edets kommun, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ba 70 Bk*, 24 s.
- Eliasson, T., Göransson, M. & Shomali, H., 2007: Bergkvalitetskarta över Uddevalla och Stenungsunds kommuner, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning K 70*, 32 s.
- Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige, 1998: *FAS-metod 221-98: Bestämning av kornstorleksfördelning genom siktningsanalys*. 7 s.
- Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige, 1999: *FAS-metod 244-99: Bestämning av LT-index*. 5 s.
- Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige, 2001: *FAS-metod 210-01: Bestämning av sprödhetsstal*. 5 s.
- Föreningen för asfaltsbeläggningar i Sverige, 2002: *FAS-metod 259-02: Bestämning av kulkvarnsvärde*. 5 s.
- Hansen, B.T. & Lindh, A., 1991: U-Pb zircon age of the Görbjörnap syenite in Skåne, southern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 113, 335–337.
- Knape, U., 1989: Inventering av grus och alternativa material i Göteborgs och Bohus län. *Miljövårdsenheten Länsstyrelsen Göteborg*, 200 s.
- 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., 2007: Berggrundskartan 7B Göteborg SV. *Sveriges geologiska undersökning K 60*.

- Persson, L., Eliasson, T., Göransson, M., Kero, L., Lundqvist, S. & Sträng, M., 2000: Beskrivning till bergkvalitetskarta över Göteborgs kommun, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ba 59 Bk*, 20 s.
- Persson, L. & Schouenborg, B., 1995: Kvalitetsklassning av bergarter N Stockholm, del 2. SP, *Sveriges Prov- och Forskningsinstitut, Byggnadsteknik, SP RAPPORT 1995:49*, 42 s.
- Persson, L. & Schouenborg, B., 1996: Quality classification of rock in Sweden. European Aggregates. *Official Journal of UEPG, Union Européenne des Producteurs de Granulats. UEPG, 2-3/96*, 32–37.
- RILEM Recommended test method AAR-1, 2000a: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method. *Materials and structures* 36, 480–496.
- RILEM Recommended test method AAR-3, 2000b: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – method for aggregate combinations using concrete prisms. *Materials and structures* 33, 290–293.
- Samuelsson, L., 1978: Beskrivning till berggrundskartan 7B Göteborg NO. *Sveriges geologiska undersökning Af117*, 85 s.
- Samuelsson, L., 1975: *Göteborgsregionen, grus- och bergtäktsplan*. Göteborgsregionens Kommunalförbund. Bilaga 1, Berggrunden i Göteborgsregionen, 9 s.
- Samuelsson, L. & Söndergaard, V., 1985: Beskrivning till berggrundskartan 7B Göteborg NO. *Sveriges geologiska undersökning Af136*, 101 s.
- Samuelsson, L. & Åhäll, K.-I., 1985: Berggrundskartan 7A Marstrand/7B Göteborg NV. *Sveriges geologiska undersökning Af146*.
- Stenlid, L., 1996: Klassificering av bergarter med Los Angelesstrumma. Slutrapport SBUF projekt nr 2135. *Skanska Mellansverige AB, Väglaboratoriet Bålsta*, 84 s.
- Swedish concrete association, 1991: Durable concrete structures. *Concrete Report No. 1 (E)*, 55 s.
- Svensk Standard, 1997a: SS-EN 1097-1: *Ballast – mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval)*. Swedish Standards Institute, 11 s.
- Svensk Standard, 1997b: SS-EN 1097-2: *Ballast – mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 2: Bestämning av motstånd mot sönderdelning*. Swedish Standards Institute, 29 s.
- Svensk Standard, 1997c: SS-EN 933-3: *Ballast – geometriska egenskaper – Del 3: Bestämning av kornform – flisighetsindex*. Swedish Standards Institute, 10 s.
- Svensk Standard, 2000: SS-EN 1367-1: *Ballast – beständighetsegenskaper – Del 1: Bestämning av frostbeständighet genom frys-töprovnings*. Swedish Standards Institute, 14 s.
- Svensk Standard, 2001: SS-EN 1367-3: *Ballast – beständighetsegenskaper – Del 3: Koktest för "Sonnenbrand-basalt"*. Swedish Standards Institute, 10 s.
- Svensk Standard, 2002: SS-EN 13383-1: *Ballast – vattenbyggnadssten – Del 1: Krav*. Swedish Standards Institute, 40 s.
- Svensk Standard, 2003: SS-EN 13450: *Makadamballast för järnväg*. Swedish Standards Institute, 35 s.
- Svensk Standard, 2004a: SS 137003: *Betong – användning av EN 206-1 i Sverige*. Swedish Standards Institute, 19 s.
- Svensk Standard, 2004b: SS-EN 933-4: *Ballast – geometriska egenskaper – Del 4: Bestämning av kornform – LT-index*. Swedish Standards Institute, 11 s.
- Svensk Standard, 2004c: SS-EN 1097-6: *Ballast – mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption*. Swedish Standards Institute, 3 s.
- Svensk Standard, 2004d: SS-EN 1097-9: *Ballast – mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 9: Bestämning av motstånd mot nötning av dubbdäck (Nordiska kulkvarnsmetoden)*. Swedish Standards Institute, 12 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.
- Trafikverket, 2001: VVMB 613 – Bestämning av glimmerhalt i materialets finfraktion. *Vägverkets metodbeskrivningar till ATB Väg, VV Publ. 2001:100*, 8 s.

Vägverket 2005a: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. Kapitel E. Obundna material. *ATB VÄG 2005 Publ. 2005:112*, 105 s.

Vägverket 2005b: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. Kapitel F. Bitumenbundna material. *ATB VÄG 2005 Publ. 2005:112*, 90 s.

Åkerblom, G., Petterson, B. & Rosén, B., 1990: Markradon. Handbok för undersökning av markradonförhållanden. *Byggforskningsrådets rapport R85:1988, reviderad utgåva 1990*, 160 s.

BILAGA 1. 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).

Vägmakadam

Kvalitetsklassningen för användning av stenmaterial i väg grundar sig på fastställda krav i ATB VÄG 2005 (Vägverket 2005a, Vägverket 2005b). 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 Angelesvärde <30 %. * = Ej till slitlayerskikt för vägar med höga ÅDT-tal (årsdygnstrafik, motorvägar etc.) för vilka det krävs <7 % A _N . Se vidare krav i ATB VÄG 2005b.
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 Angelesvärde <30 %. Se vidare krav i ATB VÄG 2005a och b.
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 Angelesvärde >30 %. Se vidare krav i ATB VÄG 2005a och b.
4	Berget bör inte användas som ballastmaterial vare sig för bitumenbundna eller obundna lager.

Makadamballast för järnväg

Kvalitetsklassningen för användning av stenmaterial som makadamballast för järnväg grundar sig på krav uppställda av Banverket (2004). Kraven är en nationell anpassning av EUs produktstandard för "Makadamballast för järnvägar" (SS-EN 13450; 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 Angelesvärde ≤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; Svensk Standard 2004c) får inte överstiga 1 %. Den färdiga produkten bör ha en så kantig, kubisk form som möjligt. LT-index (längd–tjockleksförhållande, SS-EN 933-4; Svensk Standard 2004b) ska vara lägst 20. Detta krav är en mildring mot det tidigare LT (3) (FAS-metod 244-99) kravet. 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 (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 Angelesvärde (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 Angelesvärde (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 gammastrålning, mineralsammansättning (t.ex. glimmerinnehåll), omvandlingsgrad, förekomst av alkalisilikareaktivt material och sulfider, struktur, kornfogning och kornstorlek (se vidare Lagerblad & Trädgårdh 1995, Trädgårdh & Lagerblad 1996, Svensk Standard 2004a, Svensk Standard 2004c, 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 inte överstiga 1,0 i radiumindex eller 2,0 i aktivitetsindex.
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 aktivitetsindex.

Kulkvarnsanalys har utförts som enkelprov och micro-Devalanalys har utförts som dubbelprov. En god korrelation finns mellan sprödhetstal (s , 8–11 mm, FAS-metod 210-01) och Los Angelesvärde (LA, 10–14 mm), $s = 0,82 \times LA + 26,1$ alternativt $s = 20,9 \times \ln(LA) - 19,2$, (Stenlid 1996), av vilken anledning det förre kan uppskattas med hjälp av det senare.

Vattenbyggnadssten

Vid användandet av vattenbyggnadssten (grova aggregat som används i vattenmiljö t.ex. som erosions-skydd vid havskust, i sjöar eller vid vattendrag) finns olika krav på bl.a. micro-Devalvärde, 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 (SS-EN 1367-1; Svensk Standard 2000) utförs. 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.