

Beskrivning till bergkvalitetskartan del av Österåkers kommun

Mattias Göransson, Mehrdad Bastani
& Sven Lundqvist



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-847-0

Omslagsbild: Bergartskontakt mellan tonalit och granit. Foliationen är konformt utvecklad i bergarterna och skär diskordant över kontakten (6607600/1653470). Pennan är ungefär 15 cm lång. Foto: Daniel Andersson.

Cover: Bedrock contact between tonalite and granite. The foliation is conformly developed in the bedrock and cuts the contact discordantly. The pen is approximately 15 cm long.

INNEHÅLL

Inledning	4
Metodik	4
Bergarter inom kartområdet	5
Svekofenniska ytbergarter	5
Vulkaniter	5
Sedimentgnejser	5
Äldre djupbergarter	7
Yngre djupbergarter	7
Diabaser	9
Allmän geofysik	9
Berggrundens strukturer, deformationszoner och sprickor	11
Tekniska analyser	12
Kulkvarnsanalys	14
Los Angeles-analys	15
Micro-Devalanalys	15
Punktlastindex	16
Alkalisilikareaktivitet	16
Övriga analyser	17
Petrografisk analys	17
Skiktsilikater (glimmer m.m.)	17
Opaka mineral (sulfider m.m.)	17
Gammastrålningsmätningar	18
Sammanställning av bergkvalitetskartan	19
Referenser	19
Bilaga 1: Kvalitetsklassning av prover	21
Vägmakadam	21
Järnvägsmakadamballast	21
Betongballast	22

INLEDNING

Bergkvalitetskartan är en tematisk karta som kompletterar berggrundskartorna i skala 1:50 000 som framställs av SGU. Det huvudsakliga ändamålet är att underlätta en utvärdering av det bästa användningsområdet för olika bergarter, såsom t.ex. till ballast för väg, järnväg och betong. Bergkvalitetsundersökningarna i Österåkers kommun har pågått i två omgångar. Åren 1993–1995 gjordes undersökningar och bergkvalitetsprovtagningar inom kartbladsområdet 10I Stockholm NO (Persson m.fl. 1998a). Under åren 2004 och 2005 undersöktes de delar av kartområdet 11I Uppsala SO och 11J Norrtälje SV som ligger inom Österåkers kommun. Undersökningsområdet har en areal på 234 km² medan Österåkers totala landareal är ca 310 km². Kommunen har en befolkning på ca 35 000 invånare. I kommunen finns förutom Österåker även tätorterna Bammarboda, Björnhuvud, Rydbo, Skeppsbol, Svinninge och Åkersberga.

Berggrundskartering har under åren 2004 och 2005 utförts på undersökningsområdets nordöstra delar eftersom dessa delar av Österåkers kommun ej är karterade i modern tid. Tryckta berggrundskartor finns över 11I Uppsala SO (Stålhös 1972a) och över 10I Stockholm (Persson m.fl. 2001).

Österåkers kommun har idag ingen aktiv bergtäkt eller grustäkt för att tillgodose sin materialförsörjning. En nedlagd bergtäkt finns vid Rydbo vilken idag används som plats för mellanlagring och deponi av schaktmassor. Vallentunas bergtäkter försörjer idag även Österåkers kommun med bergmaterial.

METODIK

Bergkvalitetskartan grundar sig på fältkontroll av de dominerande bergartsenheter enligt de befintliga berggrundskartorna. Vissa lokaler har undersökts närmare och från dessa har bergmaterial provtagits för teknisk analys (fig. 1). I de fall berggrunden varit heterogen (t.ex. två bergarter i samma håll), har flera prover tagits.



Fig. 1. Vid provtagning av bergmaterial för teknisk analys tas normalt ca 2 till 4 bergblock ut för att representera hållen, uppskattningsvis ca 50 kg. Blocken på bilden är ca 30 till 40 cm i diameter. Foto: Fanny Hartvig.

During sampling of rock material for technical analysis, 2 to 4 rock boulders, approximately 50 kg, are normally chosen to represent the outcrop. The boulders in the picture are approximately 30 to 40 cm across.

Dessutom har mätningar av sprickplanens riktning gjorts och spricktätheten bedömts. Tunnslip från de flesta prover har tillverkats och petrografisk analys och modalanalys har utförts. Dessa resultat redovisas i tabell 1. Gammalspektromettermätningar har gjorts på de flesta provlokalerna.

På bergkvalitetskartan är mätningar av foliationer ihopdragna till s.k. formlinjer. Dessa visar bergartens interna struktur längs vilken uppsprickning lätt sker, t.ex. i samband med sprängning. Stereogrammen i kartmarginalen redovisar sprickriktningarna vid flera av provlokalerna. En tolkning av morfologiska lineament (långsträckta sänkor i naturen) har gjorts med hjälp av underlag i skala 1:50 000 från Lantmäteriverkets höjddatabas. Det är viktigt att notera att dessa lineament inte nödvändigtvis motsvarar verkliga sprickor, sprickzoner eller förkastningar. Det är dock sannolikt att de utgör svaghetszoner bestående av sprickor i flera riktningar i berggrunden.

Det magnetiska totalfältets intensitet samt höjd- och VLF-data har använts för tolkning av deformationszoner. Tolkning av linjära strukturer (topografiska, magnetiska och elektromagnetiska), s.k. lineament, har gjorts på ett 50 m rutnät (datagrid). Extrempunkter och gridgradienter har tagits fram och sedan har de korrelerande anomalier bundits ihop.

Jorddjup (avståndet till berggrundsytan) har erhållits från SGUs brunnarsarkiv och redovisas i tre klasser <2, 2–5 och >5 meter. Totalt redovisas 601 brunnar i databasen. I 20 av dessa är jorddjupet större än eller lika med 10 m. Ett största jorddjup på 21 m finns vid Herrhaga gård, Dyvik (6603770/1653680).

BERGARTER INOM KARTOMRÅDET

Berggrunden i kartområdet inom Österåkers kommun tillhör den södra regionen av den Svekofenniska delprovinsen i den Fennoskandiska (Baltiska) urbergsskölden. Huvuddelen av bergarterna bildades i samband med den så kallade svekokarelska orogenesen (bergskedjebildande process) för 1 960–1 750 miljoner år sedan.

Kartområdet domineras av relativt grovkorniga, tidigorogena metaintrusivbergarter, cirka 1 890–1 840 miljoner år gamla, vilkas kornstorlek visar att de har bildats genom uppsmältning och kristallisering på stora djup i jordskorpan (fig. 2). Underordnat förekommer samtida till sent intrusiva bergarter som smärre kroppar och gångar. Deras absoluta ålder är ej fastställd. Bergarternas nuvarande exponering vid jordytan har möjliggjorts av erosion och upplyftande av berggrunden sedan bildningen. Blottningsgraden av berggrund, dvs. hållfrekvensen, är hög inom hela kartområdet, ca 30 %.

Svekofenniska ytbergarter

Vulkaniter

På vissa platser i kommunen förekommer finkorniga till fint medelkorniga, röda eller gråaktiga, sura till intermediära granitoider. Dessa har tolkats som vulkaniska bergarter (Stålhös 1968, 1972a) även om de lika väl skulle kunna utgöras av deformerade djupbergarter (se nedan). Tolkningar av ursprung för dessa bergarter har inte närmare kunnat undersökas inom ramen för detta arbete.

Ett brottstycke vid 6610080/1651550 utgör det enda fyndet av en tydligt vulkanisk bergart (Sven Lundqvist, personlig kommunikation 2005). Det kantiga brottstycket mäter ca 0,5 till 1 m. Bergarten är en röd, finkornig, salisk, felsisk metaryolit, liknande den av Stålhös (1972 b) beskrivna leptit eller leptitgnejs som förekommer på de södra Uppsalabladen.

Sedimentgnejser

Migmatiserade, metasedimentära bergarter förekommer endast i de sydvästra delarna av kommunen vid Östra Ryd. De är omvandlingsbergarter från vittringsprodukter avsatta som sediment i ett havsområde för ca 2 000 miljoner år sedan. Dessa bergarter är starkt folierade och heterogena med stora variationer i

Tabell 1. Mineralfördelning (volymprocent) och korntorlek (mm) hos bergarter från Österåkers kommun. "Övrigt" innefattar allanit, granat, prehnit, pumpellyit, zirkon och oidentifierade finkorniga mineral. Med korntorlek avses storleksintervallet för huvuddelen av de enskilda mineralnorna som bygger upp bergarten. s = mineral som förekommer i liten mängd (<0,2 %). *Modal composition (volume percent) and grain size (mm) of rocks from the municipality of Österåker. "Other" contains allanite, garnet, prehnite, pumpellyite, zircon and unidentified, fine-grained minerals. Grain size refers to the size-fraction of the main part of the individual grains that build up the rock. s = accessory mineral (<0.2%).*

Prov	Bergartsbeskrivning	Korntorlek (mm)	Kvarts	Kalifältpat	Plagioklas	Biotit	Muskovit	Klorit	Epidot	Titanit	Amfibol	Pyroxen	Olivin	Opak	Övrigt
Sample	Rock description	Grain size (mm)	Quartz	Pot.feldspar	Plagioclase	Biotite	Muscovite	Chlorite	Epidote	Titanite	Amphibole	Pyroxene	Olivine	Opaque	Other
DAN040037A	Granodiorit, rödgrå, grovt medelkornig, porfyrisk, stänglig	0,2–1,5 2,0–7,0	22,0	22,0	39,8	8,2			2,8	0,4	4,0				0,8
DAN040215A	Granit, grå-röd, fint medelkornig–medelkornig, småporfyrisk, stänglig	0,2–2,0 2,0–6,0	27,2	32,4	31,8	1,0	s	4,2	1,2	0,4				1,8	s
DAN040175A	Basisk bergart, svart, finkornig, porfyrisk, folierad	0,1–1,0	1,2	1,2	33,6	2,0	0,8	6,4	1,2		50,8			2,8	s
FHA030273A	Granit, röd, fint medelkornig, gnejsig		35,6	19,4	33,2	0,6	3,0	0,6	0,8	1,2	5,2			0,4	s
FHA030279A	Granit, röd, fint medelkornig		39,3	29,8	25,2	3,0	1,8	s	0,2					s	0,7
JOA930007A	Kvartsdiorit, gråsvart, medelkornig, folierad		13,0	s	60,0	11,0	2,0	1,0		s	13,0			s	s
JOA930008A	Granit, vit, medelkornig, folierad		35,0	38,0	22,0	4,0		s	s	s				s	1,0
JOA930009A	Granit, grå, medelkornig, folierad, strökor		33,0	29,0	28,0	9,0		s		s	s			s	1,0
LEP940019A	Granit, grå-röd, medelkornig, folierad, strökor		31,0	30,0	32,0	4,0			s		3,0				s
LEP940020A	Granodiorit, grå-röd, fint medelkornig, folierad		35,0	15,0	36,0	9,0	2,0	1,0	1,0	s	1,0			s	s
LEP940024A	Amfibolit, svart, finkornig		8,0		47,0	17,0					28,0			s	s
LEP940033A	Granit, grå-röd, medelkornig, folierad		36,0	23,0	31,0	8,0	s	2,0						s	s
MGO980002A	Granit, svart-röd, folierad, strökor		7,0	47,0	23,0	2,0	1,0	2,0	s		13,0	1,8		0,4	2,8
SVL040001A	Gabbro, fint medelkornig, grå-svart, massformig				63,2						3,4	15,2	17,8	0,4	s
SVL059001A	Tonalit, grå, grovt medelkornig, stänglig	0,3–6,0	22,4	4,0	38,8	12,0		0,8	2,4	2,0	17,2				0,4
SVL940010A	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, folierad, strökor		27,0	11,0	39,0	5,0	3,0	12,0	2,0	s	s			s	1,0
SVL940099A	Tonalit, svartgrå, finkornig, folierad		18,0	4,0	39,0	5,0	4,0	17,0	4,0	1,0	2,0			3,0	3,0
SVL940169A	Granodiorit, gråsvart, finkornig, folierad		17,0	17,0	33,0	20,0	s	s	s	s	10,0	2,0		s	1,0
SVL940303A	Tektonisk breccia, röd, mycket finkornig till medelkornig		s	s	s	s	s	s						s	s
SVL940305A	Granit, röd, folierad, medelkornig, strökor		42,0	25,0	29,0	3,0	s	1,0	s					s	s
SVL940311A	Granit, röd, folierad, medelkornig, strökor		19,0	24,0	44,0	5,0	1,0	1,0	1,0	s	4,0			s	1,0
SVL940392A	Granit, grå-röd, finkornig, folierad		29,0	39,0	27,0	3,0	s	1,0	s	s	s			s	1,0
SVL970141A	Basisk bergart, svart, finkornig		s	3,0	45,0	10,0	1,0				14,0	19,0		5,0	3,0
SVL970142A	Basisk bergart, svart, finkornig		1,0	s	41,0	18,0	s	s	s	s	17,0	16,0		4,0	3,0
SVL970146A	Amfibolit, svart, finkornig		14,0		30,0	21,0	1,0	s	s	0,8	31,0			0,8	1,4
SVL040022A	Granit, grå-rödgrå, fint medelkornig till grovkornig, porfyrisk, stänglig	0,4–6,0	37,0	30,2	26,4	4,4		0,4	0,8		0,4			0,4	s
SVL040023A	Granit, rödgrå-grå-röd, finkornig till fint medelkornig, folierad	0,1–0,5 0,5–2,0	31,6	37,6	20,0	5,6		1,6	0,4	2,4				0,8	s
SVL040033A	Granodiorit, grå-rödgrå, fint medelkornig till medelkornig, stänglig	0,1–1,0 1,0–4,0	28,8	11,2	39,6	6,0		4,4		0,8	3,2			1,6	0,4

kvarts-, fältspat- och glimmerhalt. Den stora heterogeniteten med avseende både på geologi och mekaniska egenskaper medför givetvis att klassificeringen av dessa områden är något vanskelig.

Äldre djupbergarter

Granitoider av tidigorogen svekokarelsk ålder (1 900–1 850 miljoner år) är den dominerande bergartsgruppen i kommunen. Den största andelen av granitoiderna är mer eller mindre fältspatporfyrisk och har en granitisk till monzonitisk sammansättning (fig. 3). I de centrala delarna av kommunen, vid t.ex. Lervik och Isättraviken, Åkersbergaområdet och Skeppsbol finns mindre partier av röda, finkorniga till fint medelkorniga, omkristalliserade, ställvis deformerade graniter till granodioriter. Dessa bergarter har tidigare benämnts leptit och leptitgnejs (Stålhös 1972 b), se ovan, men är troligtvis äldre granitoider. Till de äldre djupbergarterna hör också mafiska (kvartsfattiga) bergarter som kvartsdiorit, diorit och gabbro (fig. 4).

De felsiska (kvartsrika) bergarterna är med få undantag penetrativt folierade eller stängliga, medan de mafiska bergarterna inte lika lätt utbildar en deformationsstruktur.

Yngre djupbergarter

De yngre intrusivbergarterna förekommer uteslutande i västra delen av kommunen. Denna grupp utgörs av röda till gråröda, medelkorniga till småporfyrisk graniter. Dessa bergarter är till skillnad från de äldre

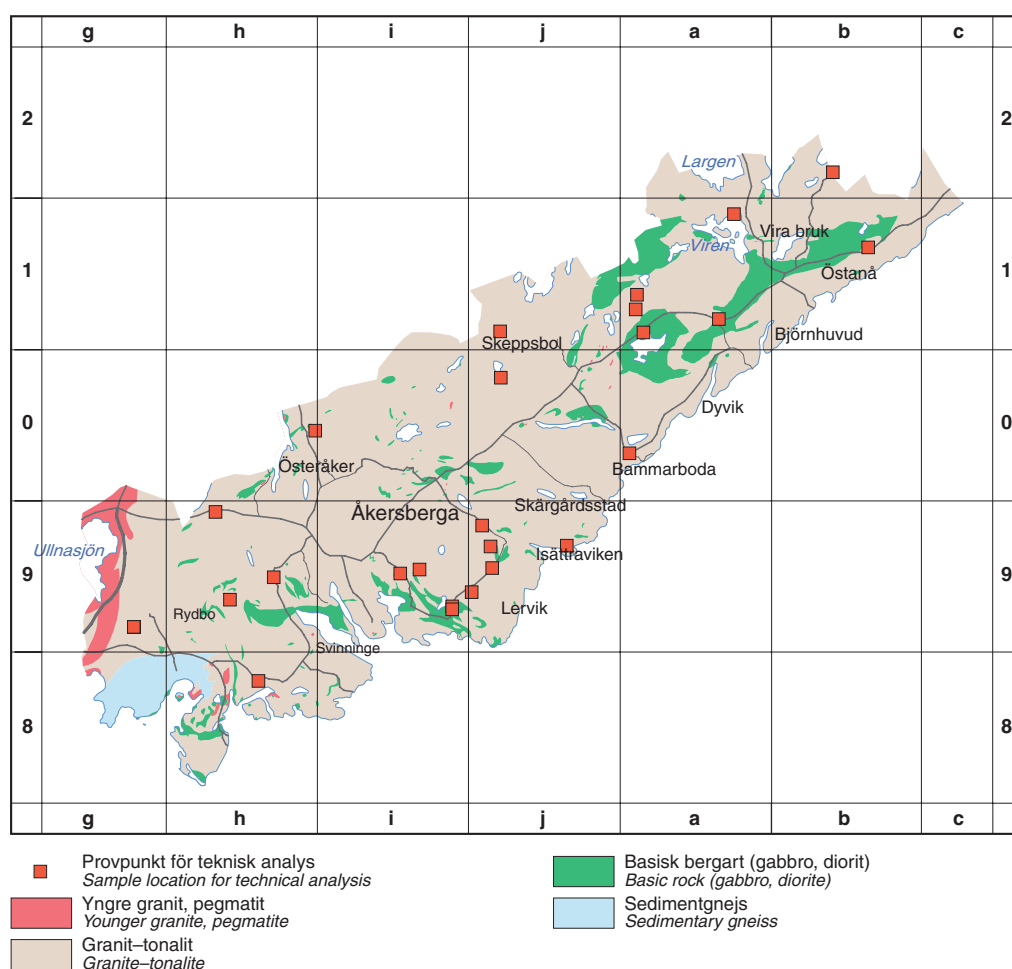


Fig. 2. Förenklad berggrundsgeologisk karta över del av Österåkers kommun. Modifierad från Stålhös (1968), Stålhös (1972a) och kartering inom ramen för projektet.

Simplified bedrock map of the municipality of part of Österåker municipality. Modified from Stålhös (1968), Stålhös (1972a) and mapping within the project.



Fig. 3. Grovt medelkornig, porfyrisk, rödgrå monzonit (MGO050204A, 6602341/1640146) med medelmåttiga tekniska egenskaper ($A_N = 14\%$, $LA = 23\%$). Foto: Mattias Göransson.

Coarsely medium-grained, porphyritic, greyish red monzonite (MGO050204A, 6602341/1640146) with intermediate technical qualities $STT = 14\%$, $LA = 23\%$.



Fig. 4. Fint medelkornig Ruggengabbro med medelmåttiga tekniska egenskaper (SVL040001, 6605590/1651001, $A_N = 13\%$, $LA = 23\%$). Pennan är ca 15 cm lång. Foto: Sven Lundqvist.

Finely medium-grained Ruggen gabbro with intermediate technical qualities (SVL040001, 6605590/1651001, $STT = 13\%$, $LA = 23\%$). The pen is 15 cm long.

bergarterna relativt massformiga och saknar i allmänhet den äldre strukturella överpräglningen såsom åderbildning, gnejsighet etc. Små kroppar av pegmatit förekommer spritt inom kommunen.

Diabaser

Smala diabasgångar uppträder i underordnad omfattning. De utgör kommunens yngsta bergartsled.

ALLMÄN GEOFYSIK

Det finns moderna flyggeofysiska data från Österåkers kommun. De omfattar mätning av det jordmagnetiska fältets totalintensitet (fig. 5), markens naturliga gammastrålning (fig. 6) och det elektromagnetiska fältet inom VLF-området. Mätningarna är gjorda 1995 från flygplan på cirka 60 m höjd, längs linjer med 200 m avstånd och med cirka 17 m mellan mätpunkterna. Alla mätningar finns i digital form i SGUs databaser.

Geofysiska markmätningar över Österåkers kommun omfattar mätningar av den naturliga gammastrålningen och magnetisk susceptibilitet på berghällar samt provtagning av representativa bergprover för bestämning av densitet och remanent magnetisering i laboratorium. Markmätningarnas huvudsakliga syfte är att följa upp flygmätta anomalier, dvs. att försöka knyta anomalin till en viss bergart och att ge detaljbilder av anomalier för exempelvis beräkning av geologiska modeller.

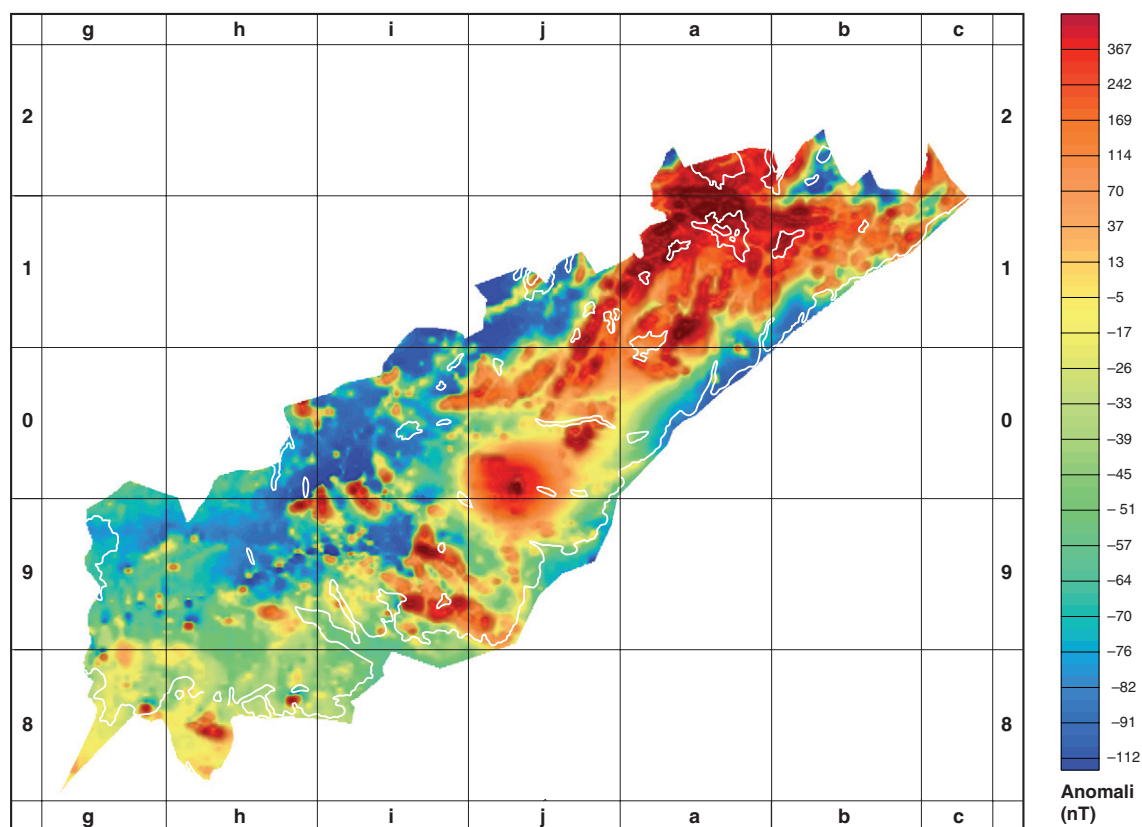


Fig. 5. Magnetisk anomalikarta över del av Österåkers kommun (skala 1:250 000). Magnetiska data är reducerade till epok 1965.0. Kartan visar totalfältets avvikelser från DGRF 1965.0. Den baseras på flygburna mätningar utförda 1995 på 60 m flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 m och ett mätpunktavstånd mellan 17 och 40 m. Flygriktningen är nord-sydlig med undantag av den del av kommunen som ligger inom kartbladet 11I SO där flygriktningen är öst-västlig.

Map of the magnetic anomalies in part of Österåker municipality (scale 1:250 000). The epoch 1965.0 was used to remove the regional trend. The map shows the total field deviations from DGRF 1965.0. It is based on the airborne measurements carried out in 1995 with a 60 m flight-height and a 200 m line separation. The flight direction is north-south, except in the part of the municipality located within map sheet 11I SO, where the flight direction is east-west.

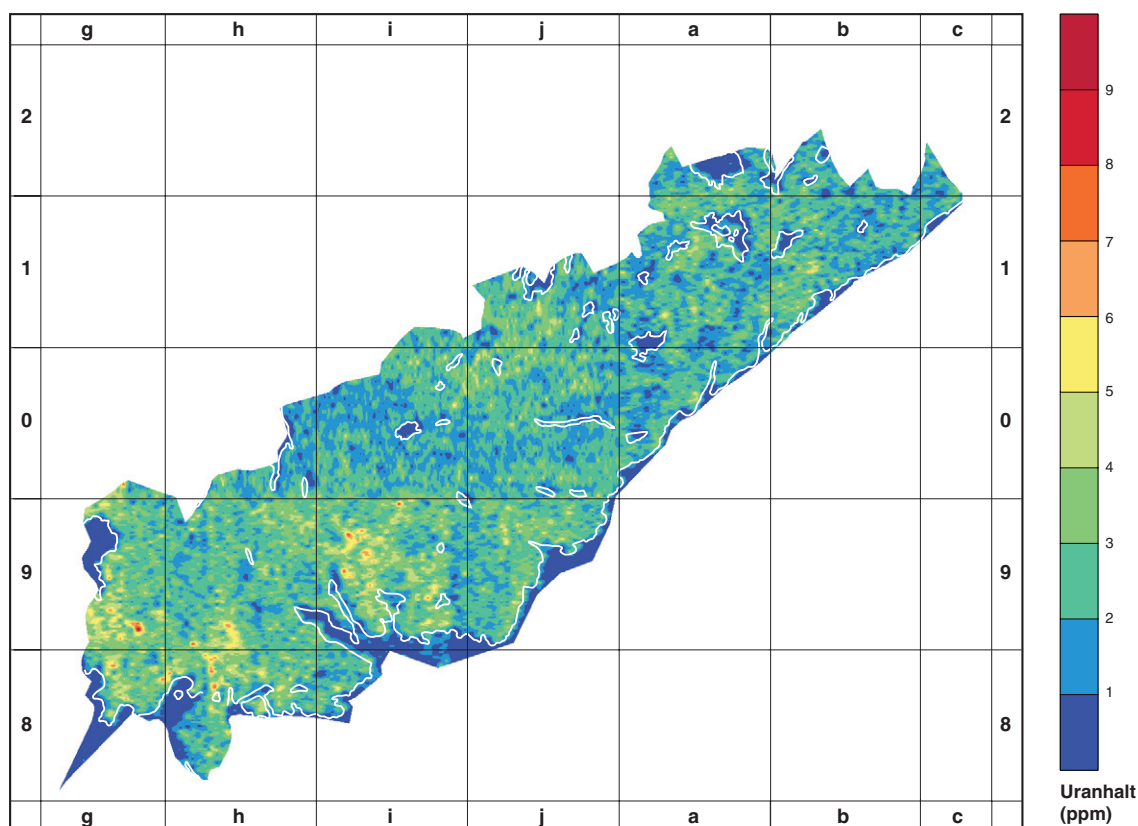


Fig. 6. Karta över markens uranhalt i del av Österåkers kommun (skala 1:250 000). Halten uran är uttryckt i ppm ekvivalent uranhalt, vilket innebär att den är beräknad under antagande av radioaktiv jämvikt. Kartan baseras på flygburna mätningar utförda 1995 på 60 meters flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 m och ett mätpunktavstånd mellan 17–40 m. Flygriktningen är nord–sydlig med undantag av den del av kommunen som ligger inom kartbladet 11I SO där flygriktningen är öst–västlig.

Map of the uranium concentration in the ground within part of Österåker municipality (scale 1:250 000). The map shows the calculated distribution of uranium in the uppermost layer of the ground. The concentration is expressed in ppm equivalent uranium concentration, implying that it has been calculated assuming radioactive equilibrium. The map is based on airborne measurements carried out in 1995, at a 60 m flight-height and 200 m line separation. The flight direction is north–south except in part of the municipality located in the map sheet 11I SO where the flight direction is east–west.

Elektromagnetiska VLF-data visar variationen i markens elektriska ledningsförmåga (fig. 7). Mätningarna används i första hand som underlag för tolkning av spröd tektonik. Vattenförande sprickzoner och deformationszoner i berggrunden uppträder som långsträckta zoner med hög elektrisk ledningsförmåga. Även grafit- och magnetkisförande bergartsled kan identifieras.

Mätning av markens gammastrålning ger en bild av hur naturligt förekommande radioaktiva isotoper av kalium-40, uran-238 och torium-232 är fördelade i det översta (ca 3 dm) skiktet av jordtäcket eller berggrunden (fig. 6). Mätresultaten används vid tolkningen av berggrundskartan, men framför allt för att identifiera områden med risk för förhöjda radonhalter.

Tyngdkraftsfältet påverkas bland annat av bergarternas densitet och ger viktig information om strukturella drag i tre dimensioner. Tyngdkraftsmätningar är utförda med ett punktavstånd på ca 1–1,5 km. Resultaten från tyngdkraftsmätningarna redovisas i form av Bougueranomalier.

Flygburna magnetiska undersökningar visar lokala och regionala störningar av magnetfältet orsakade av magnetiska mineral, huvudsakligen magnetit, i berggrunden. Störningar i det magnetiska mönstret kan t.ex. indikera förkastningar i berggrunden. Lågmagnetiska linjära zoner indikerar ofta spröd deformation i berggrunden. Den magnetiska anomalikartan kan därför ge information om vissa bergarters utbredning och om strukturella drag i berggrunden.

Den magnetiska anomalikartan över Österåkers kommun visar på kraftigt varierande magnetiseringsnivåer (fig. 5). De flesta positiva anomalierna orsakas av basiska intrusiva bergarter. Den mest fram-

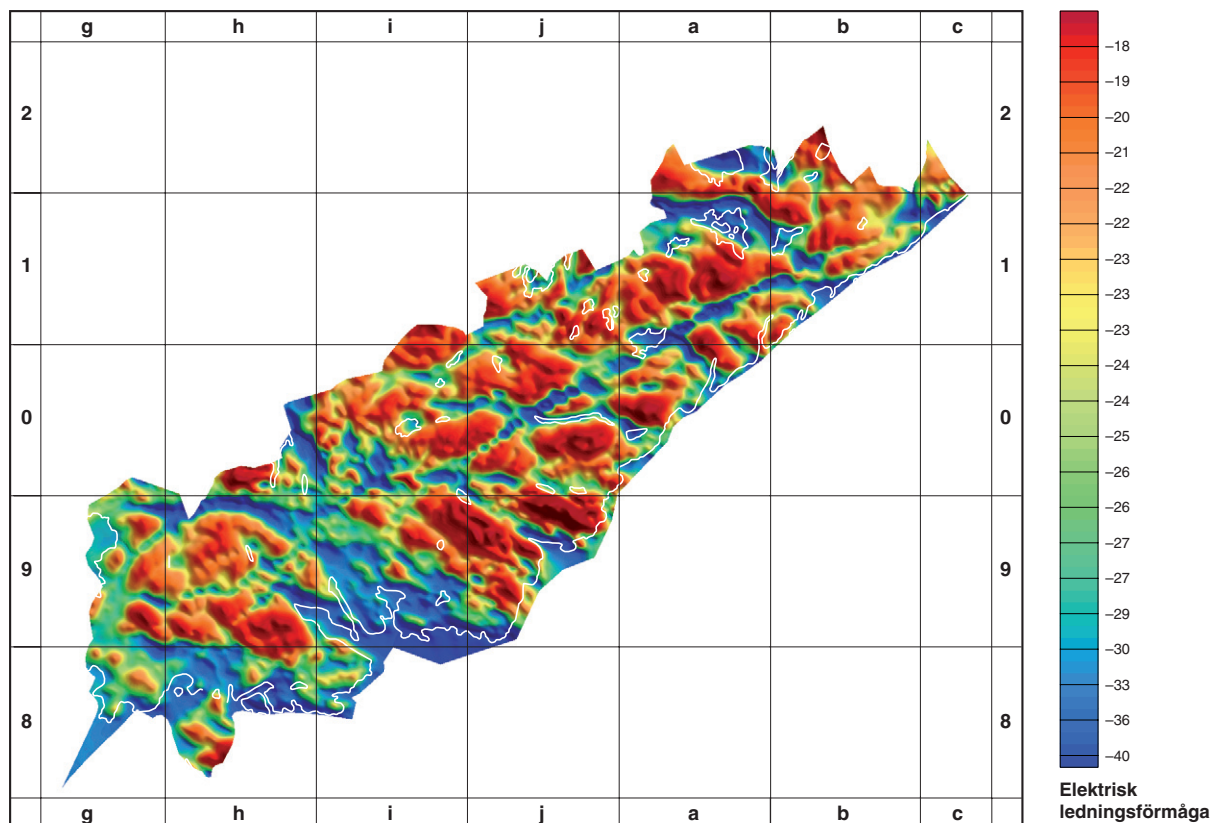


Fig. 7. Kartan visar variationen i markens elektriska ledningsförmåga beräknad från elektromagnetiska VLF-data över del av Österåkers kommun (skala 1:250 000). Kartan baseras på flygburna mätningar utförda 1995 på 60 meters flyghöjd med ett linjeavstånd på 200 m och ett mätpunktsavstånd mellan 17–40 m. Flygriktningen är nord-sydlig med undantag av den del av kommunen som ligger i kartbladet 11I SO på vilket flygriktningen är öst-västlig.

The map shows the variations in the ground electrical conductivity estimated from the airborne VLF data over part of Österåkers municipality (Scale 1:250 000). The map is based on airborne measurements carried out in 1995, at a 60 m flight-height and 200 m line separation. The flight direction is north-south except in part of the municipality located in the map sheet 11I SO where the flight direction is east-west.

trädande anomalin i undersökningsområdet orsakas av den diorit–gabbro som tillhör de tidigorogena metaintrusivbergarterna. Den har en susceptibilitet som varierar mellan 73 och $5\,000 \times 10^{-5}$ SI-enheter. Denna bergart har även den högsta densiteten ($3\,059 \text{ kg/m}^3$) som har uppmätts i undersökningsområdet. I östra delen av området, där de tidigorogena graniterna till granodioriterna förekommer, uppträder en negativ magnetfältsanomali och en relativt låg tyngdkraftsanomali. Susceptibiliteten av sex prover från dessa bergarter visar en varierande magnetisering (susceptibilitet mellan 18 och $3\,700 \times 10^{-5}$ SI-enheter) med en bimodal fördelning, dvs. en låg och en hög. Henkel (1994) visar att den låga susceptibiliteten orsakas av paramagnetiska mineral, t.ex. biotit eller hornblände, den högre susceptibiliteten orsakas av ferromagnetiska mineral, t.ex. magnetit. Prover med låg densitet uppvisar den lägsta susceptibiliteten och prover med hög densitet har högst susceptibilitet.

BERGGRUNDENS STRUKTURER, DEFORMATIONSZONER OCH SPRICKOR

De deformationer som urberget varit utsatt för är i princip av två slag: 1) plastiska, som resulterat i en genomträngande foliation, gnejsighet eller veckning (böjning) av bergarterna och 2) spröda, som gett upphov till sprickor och förkastningar.

Den plastiska deformationen i Österåkers kommun har resulterat i en penetrativ foliation och stänglighet i bergarterna (fig. 8). Strukturgeologiskt domineras området av en nordostligt till ostnordostligt



Fig. 9. Kraftigt stänglig granit. Kontrasten mellan den övre och den undre delen av bilden uppvisar bergets stänglighet tydligt (SVL040040, 6608958/1654611). Vyn är 1–1,4 m. Foto: Sven Lundqvist.

Strongly foliated granite. The contrast between the upper part and the lower part of the photograph clearly shows the strong linear fabric of the rock. The field of view is 1–1.4 m.

strykande och huvudsakligen brant stupande foliation (65° – 90°). Den åtföljs av en stänglighet vars strykning i stort är parallell med foliationen och stupar brant (60° – 90°). Det är naturligt att en uppsprickning av bergarterna företrädesvis följer dessa riktningar, men i vilken omfattning det sker är oklart. I vissa fall kan dock strukturerna vara läkta och utgör därmed ett hållfasthetsmässigt starkare material parallellt med foliationen. I nordöstra delen av kommunen sträcker sig en kilometerbred, plastisk deformationszon i ostsydöstlig orientering.

Den spröda deformationen har resulterat i sprickor och förkastningar. Sprickmätningar har gjorts vid tio lokaler (totalt 474 sprickor). Sprickplanen är företrädesvis orienterade i ostnordostliga till ost–västliga och nordsydliga riktningar även om andra förekommer (t.ex. nordvästliga till västnordvästliga riktningar). Mer än 65 % av sprickplanen stupar brant till vertikalt (60° – 90°). Spricktätheten har bedömts eller uppmäts på 15 provlokaler dels genom att uppskatta antal sprickor per meter (spm i tabell 2) och dels, i mindre omfattning, genom profilmätningar (10-meters sektioner) över blottade bergytter. Spricktätheten kan ses som en relativ beskrivning av sprickfrekvensen på provtagningsplatserna inom kommunen. Spricktätheten är för de flesta bergarter låg till medelhög (spm; 2 till 6). Vid en lokal (LEP940024, amfibolit) är spricktätheten hög (spm = 10).

Utbredningen av spröda deformationszoner är baserad på tolkning av geofysiskt och topografiskt underlag (fig. 9). Spröda deformationszoner utgörs generellt av zoner av krossat berg vilket gör dem lättvitrade och lättroderade samt potentiellt rikt vattenförande. De mest framträdande deformationszonerna finns främst där det idag är lerfyllda dalar och långsträckta sjöar.

Magnetfältskartan visar en bandning av låga och höga anomalier med en dominerande nordöstlig strykning. Kartan över markens elektriska ledningsförmåga visar goda ledare, t.ex. i sjön Lagren och sjön Viren. Den visar också att de långsträckta goda ledarna sammanfaller med de flesta lerfyllda eller vattenförande sprickzonerna. Ett ost–västligt magnetiskt minimum sträcker sig från väster om sjön Viren till söder om Losjön (nära Roslags-Kulla). Zonen sammanfaller med den goda ledaren som uppträder på kartan över markens elektriska ledningsförmåga (fig. 7).

TEKNISKA ANALYSER

Vid lokaler där det finns en bergart som är representativ för ett större område har ca 60 till 100 kg berg provtagits för bergmaterialtester: kulkvarnsanalys, Los Angeles-analys, micro-Devalanalys och alkali-silikareaktivitet. Berget som provtas är inte vittrat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket om ingenting

Tabell 2. Tekniska analysvärden och användbarhetsklassificering av prover från Österåkers kommun för väg, järnväg och betong. ρ_s är korndensitet, ρ_s är korndensitet, A_N är kulkvarnsvärde, LA är Los Angeles-värde, M_{DE} är micro-Devalvärde, RA är radiumindex, SPM är sprickor per meter, ASR är alkaliskreaktivitet.

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

Prov	N-S- koordinat	O-V- koordinat	Bergartsbeskrivning (fältbedömning)	ρ_s g/cm ³	A_N %	LA %	M_{DE} %	IS_{50L}	IS_{50U}	RA	GA	ASR	SPM	Bergkvalitetsklassning ¹ Väg	Järnväg	Betong
Sample	N-S coordinate	E-W coordinate	Rock description (field observation)	ρ_s g/cm ³	STT %	LA %	M_{DE} %	IS_{50L}	IS_{50U}	RA	GA	ASR	JPM	Road	Railway	Concrete
DAN040037A	6601590	1650540	Granodiorit, rödgrå, grovt medelkornig, porfyrisk, stänglig	2,74	13,5	23,3						1	1	2	1	1
DAN040175A	6606030	1653500	Basisk bergart, svart, finkornig, porfyrisk, folierad	2,98	17,2	15,4						1		2,5	1	1
DAN040215A	6608402	1658434	Granit, grå-röd, fint medelkornig till medelkornig, småporfyrisk, stänglig	2,66	11,5	22,3			0,28	0,96	2	2	2	2	1	1,5
FHA030273A	6604091	1646286	Granit, röd, fint medelkornig, gnejsig	2,67	10,3	18,1			0,20	0,62	2	4	2	2	1	1,5
FHA030279A	6605622	1646265	Granit, röd, fint medelkornig	2,62	10,1	23,5			0,30	0,83	1		2	2	1	1
JOA930007A	6595850	1634150	Kvartsdiorit, gråsvart, medelkornig, folierad	2,80	13,7	20,6		8,2	8,5			1	3	2	1	1
JOA930008A	6595850	1634150	Granit, vit, medelkornig, folierad	2,62	13,4	36,0		8,7	8,5			1	3	2	2	1
JOA930009A	6595850	1634150	Granit, grå, medelkornig, folierad, strökörn	2,67	14,1	35,0		7,9	7,4			1	3	1	2	1
LEP940019A	6597620	1642960	Granit, grå-röd, medelkornig, folierad, strökörn	2,70	13,6	35,5						1	2	3	3	2
LEP940020A	6598540	1648470	Granodiorit, grå-röd, fint medelkornig, folierad	2,67	8,0		5,4	12,4	9,9	0,22	0,66	1	5	1	1	1
LEP940024A	6594060	1638270	Amfibolit, svart, finkornig	2,95	21,1		18,2	8,8	6,5			1	10	3	2	1
LEP940033A	6595850	1634150	Granit, grå-röd, medelkornig, folierad	2,65	11,6	30,0	6,5	9,3	9,5			1	3	1,5	1	1
MGO050204A	6602341	1640146	Monzonit, rödsvart, grovkornig, stänglig-gnejsig	2,75	13,6	23,3	9,8		0,09	0,13			2	2	1	1
MGO980002A	6597750	1643600	Granit, svart-röd, folierad, strökörn	2,72	15,1	25,7						2	2,5	3	2	2
SVL040001A	6605590	1651001	Gabbro, fint medelkornig, grå-svart, massformig	2,90	13,4	11,4			0,05	0,16			2	2	1	1
SVL059001A	6610887	1657264	Tonalit, grå, grovt medelkornig, stänglig	2,80	18,0	26,9						1		3	1	1
SVL940010A	6599650	1636850	Granodiorit, rödgrå, medelkornig, folierad, strökörn	2,67	12,5	21,1						1	3	2	1,5	1
SVL940099A	6597490	1638780	Tonalit, svartgrå, finkornig, folierad	2,78	10,7							1		2	1,5	1
SVL940169A	6596750	1637330	Granodiorit, gråsvart, finkornig, folierad	2,76	14,7	18,1						1	4	2	2	1
SVL940303A	6597800	1646000	Tektonisk breccia, röd, mycket finkornig till medelkornig	2,59	6,8							3		1	1	3
SVL940305A	6598510	1645950	Granit, röd, folierad, medelkornig, strökörn	2,61	15,7	28,8			0,20	0,80	1		2,5	3	1	1
SVL940311A	6599200	1645670	Granit, röd, folierad, medelkornig, strökörn	2,65	11,8				0,14	0,70	1		2	1,5	1	1
SVL940392A	6597000	1645320	Granit, grå-röd, finkornig, folierad	2,62	7,3	24,4						1	6	1	2	1
SVL970141A	6596530	1644680	Basisk bergart, svart, finkornig	3,06	16,1				0,04	0,17	1	2	2	2	2	1
SVL970142A	6596430	1644680	Basisk bergart, svart, finkornig	3,01	11,8	12,8			0,04	0,17	1	2	2	2	2	1
SVL970146A	6595850	1634150	Amfibolit, svart, finkornig	2,94	16,6							1	4	2	2	1
SVL040022A	6606840	1650790	Granit, grå-rödgrå, fint medelkornig-grovkornig, porfyrisk, stänglig	2,69	14,8	27,7			0,17	0,65	1		2	2	1,5	1
SVL040023A	6606354	1650746	Granit, rödgrå-grå-röd, finkornig till fint medelkornig, folierad	2,65	10,7	26,9			0,19	1,02	2		2	2	1	1,5
SVL040033A	6609506	1653995	Granodiorit, grå-rödgrå, fint medelkornig till medelkornig, stänglig	2,76	11,9	17,0			0,14	0,40	1		2	2	1	1

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

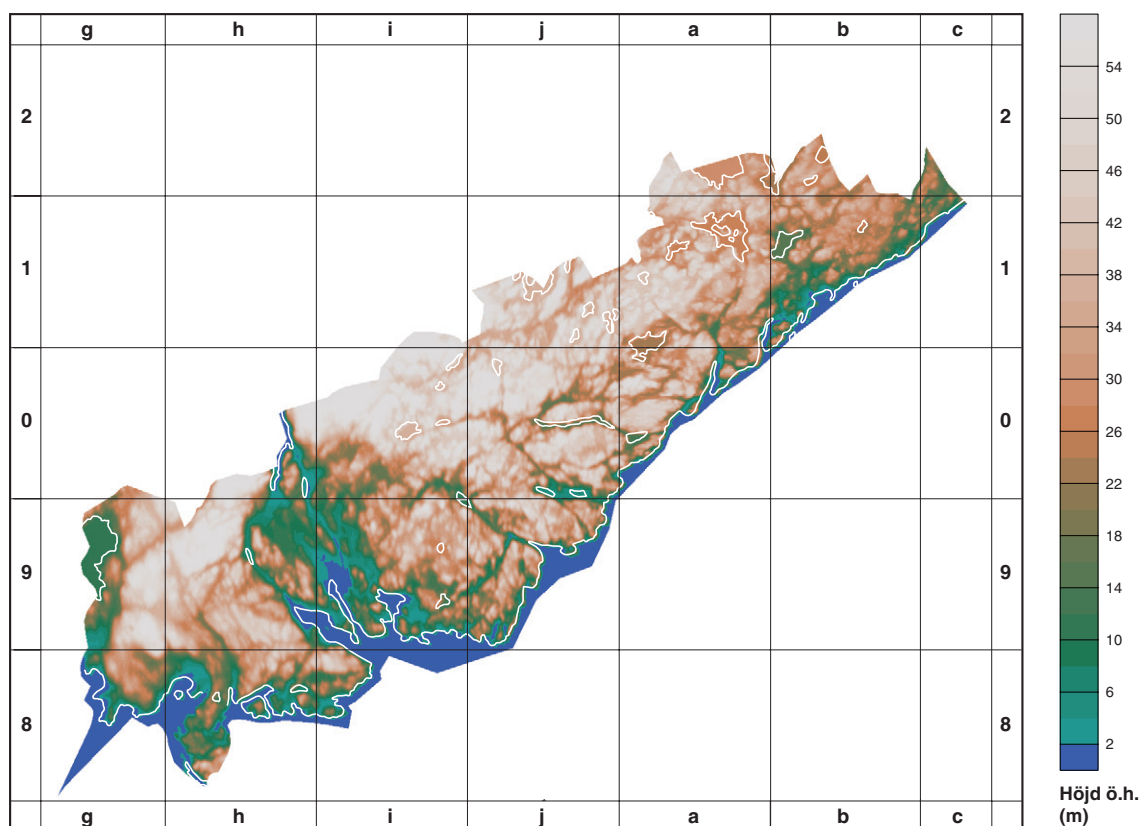


Fig. 9. Höjdreliëfkarta över del av Österåkers kommun (skala 1:250 000). Kartan baseras på Lantmäteriets digitala höjddatabank med 50 m rutnät.

Height relief map covering part of Österåker municipality (scale 1:250 000). The map is based on data from the 50 m grid digital height data bank of the Surveying Office of Sweden.

annat anges. Samtliga bergprover har tagits på platser där tillräckligt med lossprängd sten eller friska blottningar funnits, dvs. i bergsskärningar längs med vägar eller vid byggplatser. Provtagning har skett med slägga och spett. Vid provtagning av de olika bergarterna har stor vikt lagts vid att provmaterialet ska vara petrografiskt och bergtekniskt representativt för bergmaterialet vid provlokalen. Vid provtagning i bergtäkter har specifika bergprover tagits och dessa provers egenskaper kan därför 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 29 prover tagits från 25 lokaler (11 inom ramen för detta projekt). Gammastrålningsmätning har skett vid de flesta av dessa lokaler. Även resultat från tidigare undersökning i kommunen från kartbladet 10I Stockholm NO redovisas (Persson m.fl. 1998 a). Vid den sistnämnda undersökningen utfördes även punktlastindex på några prover.

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

Tabell 3. Medelvärden av kulkvarnsvärde, Los Angeles-värde och micro-Devalvärde för de analyserade bergartsenheter i Österåkers kommun.

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

Bergartsenhet Rock unit	Kulkvarnsvärde % Studded tyre test value %			Los Angeles-värde % Los Angeles value %			Micro-Devalvärde % Micro-Deval value %		
	Sprid. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov No. of samples	Sprid. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov No. of samples	Sprid. Interval	Medelvärde Mean value	Antal prov No. of samples
Granit, medelkornig– grovkornig	12–16	13,5	9	22–36	30,1	8		6,5	1
Granit, finkornig till fint medelkornig	7–11	9,0	5	18–27	23,2	4			
Granodiorit–tonalit	8–18	12,9	8	17–27	21,6	6	5–10	7,6	2
Mafiska bergarter	12–21	15,7	7	11–21	15,0	4		18,2	1

av klassificeringsgränsvärden (se bilaga 2) har dubbelprov utförts. Kulkvarnsvärdena (A_N) presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheter redovisas i tabell 3.

Kulkvarnsvärdet är ett mått på bergets nötningsmotstånd. De bästa resultaten (7–10 %) har finkorniga till fint medelkorniga graniter i de centrala delarna av kommunen. Tre av dessa prover är tidigare karterade som vulkaniter (Stålhös 1972 b), men bedöms idag tillhöra granitoidgruppen. Det bästa resultatet får en granit som utsatts för stark deformation (tektonisk breccia, SVL940303A). De högsta (sämsta) värdena kommer från en amfibolit (21 %, LEP940024A) och en grovt medelkornig tonalit (18 %, SVL059001A).

Los Angeles-analys

Krossning och siktning för Los Angeles-analys har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Detta har givit ett flisighetstal (samtliga bergartsmaterial) på 1,30–1,40, vilket gör laboratoriekrossat material mer jämförbart med material erhållet från storproduktionsdrift. Los Angeles-värdet (LA-värdet) har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-2. Resultaten presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheter redovisas i tabell 3. De äldsta proverna har analyserats med avseende på sprödhetstalet (FAS-metod 210-01). Sprödhetstalet korrelerar normalt väl med LA-värdet varför den sista beräknats med hjälp av den första (se bilaga 2).

LA-värdet är ett mått på bergartens sprödhet. De grovporfyriska graniterna erhåller ibland höga (dåliga) LA-värden (JOA930008A, 36 %, JOA930009A, 35 % och LEP940019A, 36 %). Bergarterna saknar som regel i dessa fall ett sammanhållande matrix. De lägsta (bästa) resultaten erhåller de mafiska (kvartsfattiga) bergarterna (SVL940001A, 11 % och SVL970142, 13 %). Dessa bergarter deformeras duktilt vid slagpåverkan, på grund av sina järn- och magnesiumrika sammansättningar, i mycket högre utsträckning än sina granitiska ekvivalenter vilka deformeras sprött.

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 micro-Deval helt komma att ersätta kulkvarnsmetoden, varför en lokal korrelation mellan de två metoderna anses vara nödvändig att göra. Krossning och siktning har skett på samma sätt som för kulkvarnsanalyserna. Micro-Devalvärdet (M_{DE}) har därefter bestämts på enkelprov med storleksfraktionen 10–14 mm enligt SS-EN 1097-1. Då analysresultaten hamnat i närheten av klassificeringsgränsvärden (se bilaga 2) har dubbelprov utförts. Resultaten presenteras i tabell 2. Medelvärden för de olika bergartsenheter redovisas i tabell 3. I Österåkers kommun har enbart fyra prov analyserats med denna metod. Micro-Devalvärdena korrelerar mycket väl mot kulkvarnsvärdena och samma bergarter som ger låga A_N -värden ger också låga M_{DE} -värden.

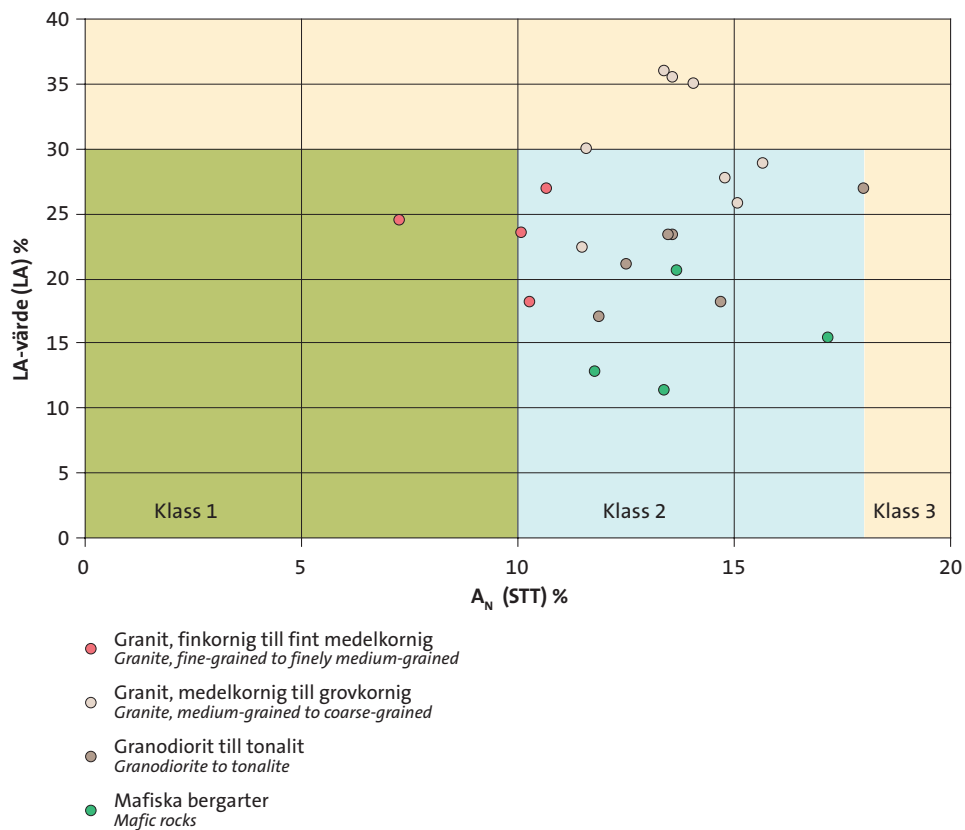


Fig. 10. Diagram som visar de tekniska analysresultaten, kulkvarnsvärde (A_N) och Los Angeles-värde (LA) för de olika bergartsproverna i kommunen. Klassificeringen (1–3) avser vägmakadam och är endast baserad på de ovanstående två parametrarna varför vissa avvikelser kan finnas jämfört med de övriga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

Diagram showing the results of technical analysis, i.e. studded tyre test value (STT) and Los Angeles-value (LA) for the different rock samples of the municipality. The classification (1–3) for road-material is only based on LA and STT. Some divergences may therefore occur in comparison to the remaining data in table 2.

Punktlastindex

Punktlastindex (I_{S50}) är ett mått på brottlasten. Enbart de äldsta proverna (Persson m.fl. 1998 a) inom kommunen har analyserats med denna metod. Borrkärnor med diametern 45 mm borrades ut. Dessa kärnor testades därefter i en BEMEK "rock tester" vid SGU. Korta bitar av borrkärnor belastas radiellt mellan två konspetsar till brott. Testningen sker parallellt och vinkelrätt mot den deformationsstruktur som finns i bergarten. Ungefär tio stycken godtagbara mätningar har om möjligt utförts i vardera riktningen. Redovisade resultat anges som medelvärden (jfr ISRM 1985). Kvoten mellan de vertikala och parallella värdena anger bergartens styrkeanisotropi (I_A). Punktlastindex bestämdes enligt Broch & Franklin (1972) och Brook (1993). Resultaten presenteras i tabell 2.

Samtliga sex testade prover ger mer än 6 MPa i tryckhållfasthet för både vertikala och parallella tester vilket motsvarar god till mycket god kvalitet med avseende på de krav som ställs för skyddssten (se bilaga 2). Högsta hållfastheten ger en fint medelkornig granodiorit (LEP940020A, 6598540/1648470).

Alkalisilikareaktivitet

Alkalisilikareaktivitet (ASR) är benägenheten (risken) för ett bergmaterial att bilda en alkalisilikagel som ett resultat av att kiseldioxid från ballasten löses upp av den starkt basiska, alkalina porlösningen i betongen (Lagerblad & Trädgårdh 1992). Den senare kan i vissa fall expandera och därmed innebära

risk för att betongen spricker. Exempel på reaktiva mineral och texturer är i fallande reaktivitetsskala: Opal (amorf kvarts), cristobalit, tridymit, deformerad kvarts "ribbon quartz", suturerade kornfogar och mikrokristallin kvarts. En tregradig indelning har gjorts enligt RILEM AAR-1 (RILEM 2000): 1. mycket osannolikt alkalireaktiv, 2. osäker eller potentiell risk, 3. mycket sannolikt alkalireaktiv. Resultaten presenteras i tabell 2.

Vid analys av de äldre proverna (Persson m.fl. 1998 a) har ursprungligen en fyrgradig skala vid riskbedömningen använts: 1. ingen risk, 2. sannolikt ingen risk (enstaka deformerade kvartskorn), 3. liten risk (tydlig deformation) och 4. klar risk (de flesta kvartskornen är kraftigt deformerade). Dessa är dock i tabell 2 konverterade till den tregradiga skalan (RILEM 2000, se ovan). Prover som har bedömts som klass 3 bör vidare analyseras innan materialet används till betong. Tunnslip av i stort sett alla prover har undersökts.

Endast en av de provtagna bergarterna i kommunen har bedömts som "mycket sannolikt alkalireaktiv", nämligen SVL940303, en tektonisk breccia strax norr om Gårdslöten (6597800/1646000). Denna bergart ger också det bästa kulkvarnsresultatet (6,8 %). Resultaten redovisas i tabell 2.

ÖVRIGA ANALYSER

Petrografisk analys

Bergartsprovernas 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, s.k. accessorier.

Vidare har en uppskattning av ingående mineralkorns storlek och bedömning av kornfogar genomförts.

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 trafikeras av tung trafik (Vägverket 2004). Även omvandlingsmineral som klorit, serpentinit och epidot är intressanta i bedömningen av bergartens beständighet. Information om mineralsammansättningen redovisas i tabell 1. Två mafiska bergarter har relativt höga glimmerhalter (SVL970146A, amfibolit, 21 % och SVL970142A, mafisk bergart, 18 %) och en tonalit (SVL940099A) har en hög andel kloritiserad biotit och amfibol (17 %) och dessutom 9 % biotit och muskovit. Detta till trots har bergarten ändå ganska bra kulkvarnsvärde (11,7 %).

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 viktprocent 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 syre och 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.

Generellt är halten av opaka mineral och därmed innehållet av sulfidmineral tämligen låg i Österåkers kommun. Högst halter av opaka mineral har följande bergarter: SVL970141A, mafisk bergart, 5 %, SVL970142A, mafisk bergart, 4 % och SVL940099A, tonalit, 3 %.

Gammastrålningsmätningar

Gammastrålningsmätningar på berghällar utförs vid berggrundskartering för att bl.a. identifiera bergarter med risk för förhöjda radonvärden.

Riksdagen fattade år 1999 beslut om 15 nationella miljökvalitetsmål. Målet för detta miljöarbete är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta. Påverkan på miljön ska ha minskat till nivåer som är långsiktigt hållbara. I delmålet *Säker strålmiljö* ges direktiv om hur människan ska skyddas mot skadlig strålningspåverkan i byggnader och alla övriga slags anläggningar. Strålskyddslagen behandlar strålningsrelaterade frågor i miljön generellt och har gett Statens strålskyddsinstitut (SSI) i uppdrag att utforma ramarna för strålningspåverkan och föreskrifter om strålningsskyddade miljöer. Bergkvalitetskartan ger punktvisa uppgifter om berggrundens naturliga gammastrålning i form av radiumindex och aktivitetsindex. Totalt har 237 gammastrålningsmätningar på berghällar utförts på 79 platser inom kommunen. Härvid har den totala gammastrålningen samt halten av kalium-40, uran-238 och torium-232 bestämts. Radiumindex och aktivitetsindex har beräknats för samtliga mätpunkter. Radiumindex är ett mått på radiuminnehållet i ett material och ska för byggnadsmaterial vara mindre än 1,0 (Åkerblom m.fl. 1990, jfr BFS 1990). Det beräknas genom bestämning av urankoncentrationen i materialet. 16,2 ppm uran motsvarar 200 Bq/kg radium-226, vilket i sin tur motsvarar radiumindex 1,0.

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, radon-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:

$$1 \% K = 313 \text{ Bq/kg } (^{40}\text{K})$$

$$1 \text{ ppm U} = 12,35 \text{ Bq/kg } (^{226}\text{Ra})$$

$$1 \text{ ppm Th} = 4,06 \text{ Bq/kg } (^{232}\text{Th})$$

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

Kartan över markens uranhalt (fig. 7) visar generellt låga strålningsnivåer inom kommunen. I vissa områden kan man på kartan se förhöjda uranhalter. Markuppföljning med gammaspektrometer visar att bara en del av de förhöjda uranhalterna härrör från berggrunden. Radiumindex överstiger 1,0 på två lokaler som är markerade på bergkvalitetskartan. En lokal består av en pegmatit (radiumindex = 2,69 och aktivitetsindex = 2,77) och den andra är en migmatitgranit (radiumindex = 1,62 och aktivitetsindex = 1,86).

Spektromettermätningar på berghällar visar att de tidigorogena mafiska intrusivbergarterna har de lägsta strålningsnivåerna (0,5–1,2 % kaliumhalt, 0,5–1,1 ppm uranhalt och 0,5–2,7 ppm toriumhalt). Den högsta kaliumhalten (4,6 %) finns hos en gnejsgranit. Den högsta toriumhalten (36,0 ppm) finns hos den tidigorogena rödgrå till röda, fint medelkorniga till grovkorniga granit–granodioriten.

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, men den kan ändå anses vara en värdefull riktlinje för användaren. Vanligen urskiljs områden med tre kvalitetsklasser, nämligen: 1. god, 2. mindre god och 3. dålig kvalitet. Denna indelning baseras främst på kulkvarnsvärdena i relation till de krav som ställs i ATB VÄG 2004 (Vägverket 2004). Mer än 50 % av makadamproduktionen i Sverige går till vägbyggnation. Berggrund som är direkt olämplig för detta ändamål är av ekonomiska skäl mindre intressant för täktverksamhet. En bedömning har gjorts parallellt med övriga analysresultat (jfr Persson & Schouenborg 1995) såsom Los Angeles-värde och potentiell förekomst av alkalisilikareaktivt material samt av geofysisk information. Det är dock viktigt att bergkvalitetskartan kompletteras med detaljundersökningar vid prospektering och planering för uttag av berg. Provtagningen har, om inte annat anges, omfattat enskilda bergarter även från markberedningsområden. Dessa resultat överensstämmer följaktligen inte helt med dem som erhålls från producerat material från t.ex. täkter.

Berggrunden i Österåkers kommun domineras av klass 2-material (se främst tabellerna 2 och 3 samt fig. 9). Finkorniga till fint medelkorniga, gnejsiga granitoider ger de bästa tekniska resultaten (A_N -värden <10 %) och har på en del ställen bedömts som klass 1-material. En stor del av kommunen utgörs av grovporfyriska granitoider. I vissa områden där jämnkornig, grovkornig granit dominerar bedöms bergarten som klass 3-material på grund av dåliga sprödhetsegenskaper (höga LA-värden). Jämnkorniga, grovt medelkorniga till grovkorniga tonaliter i öster har bedömts som klass 3-material. Även enstaka metasedimentära bergarter, i synnerhet migmatitiserade eller glimmerrika varianter och amfiboliter samt grovkorniga, mafiska bergarter har bedömts som klass 3-material på grund av höga kulkvarnsvärden (motstånd mot skavande nötning). Inga berggrundsområden i Österåkers kommun har bedömts ha ett radiumindex >1 .

REFERENSER

- Banverket, 2004: *BVS 585.52, Makadamballast för järnväg*. Eva-Lotta Olsson, 2004-09-01, 29 s.
- BFS, 1990: Nybyggnadsregler ändringar. Boverkets författningssamling. *BFS 1990:28, Nr. 2*. Stockholm, ISBN 91-38-12510-2, 41 s.
- Boverket 2004: Boverkets handbok om betongkonstruktioner, *BBK 04*, 271 s.
- Broch, E. & Franklin, J.A., 1972: The Point Load Strength Test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 9, 669–697.
- Brook, N., 1993: The measurement and estimation of basic rock strength. I J. Hudson (red.): *Comprehensive rock engineering, principles, practice & projects. Vol. 3, Rock testing and site characterization*, 41–81. Pergamon Press.
- CIRIA SP083, 1991: *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering*. Construction Industry Research and Information Association, 603 s.
- CUR/RWS 2000: *Manual on the use of rock in hydraulic engineering. CUR report 169*. Centre for Civil Engineering Research and Codes. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Division, Directorate-General for Public Works and Water Management. Gouda. A.A. Balkema, Rotterdam, 902 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.
- Henkel, H., 1994. Standard diagrams of magnetic properties and density – a tool for understanding magnetic petrology. *Journal of Applied Geophysics* 32, 43–53.

- International Society for Rock Mechanics (ISRM) 1985: Suggested method for determining point load strength. International society for rock mechanics, commission on testing methods. *International journal of rock mechanics and mining sciences and geotechnical abstracts*, 22, 51–60.
- Lagerblad, B. & Trädgårdh, J., 1992: Alkalisilikareaktioner i svensk betong. *Cement och Betong Institutet. CBI rapport 4:92*, 74 s.
- Lagerblad, B. & Trädgårdh, J., 1995: Ballast för betong. *Cement och Betong Institutet. CBI rapport 4:95*, 78 s.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Pamnert, M., 1998a: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 202 Bk*, 16 s.
- Persson, L., Antal, I., Göransson, M., Lundqvist, S. & Pamnert, M., 1998b: Beskrivning till bergkvalitetskartan 10I Stockholm NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 203 Bk*, 15 s.
- Persson, L. & Göransson, M., 1998: Bergkvalitetskartan 11I Uppsala SV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 105 Bk*.
- 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.
- Persson, L., Sträng, M. & Antal, I., 2001: Berggrundskartan 10I Stockholm, skala 1:100 000. *Sveriges geologiska undersökning Ba 60*.
- RILEM Recommended test method AAR-1, 2000: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method, *Materials and structures* 36, 480–496.
- Stenlid, L., 1996: Klassificering av bergarter med Los Angeles-trumma. *Slutrapport SBUF projekt nr 2135*. Skanska Mellansverige AB, Väglaboratoriet Bålsta. 84 s.
- Stålhös, G., 1968: Stockholmstraktens berggrund, skala 1:100 000. *Sveriges geologiska undersökning Ba 24*.
- Stålhös, G., 1972a: Berggrundskartan 11I Uppsala SO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 106*.
- Stålhös, G., 1972b: Beskrivning till berggrundskartorna Uppsala SV och SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 105–106*, 165 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, 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 – Geometrisk egenskap – 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.
- Swedish concrete association, 1991. Durable concrete structures. *Concrete Report No. 1 (E)*, 55 s.
- The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 2000: Naturally occurring radioactivity in the Nordic countries – recommendations. *ISBN 91-89230-00-0*, 81 s.
- Trädgårdh, J. & Lagerblad, B., 1996: Influence of ASR cracking on the frost resistance of concrete. *Cement och Betong Institutet. CBI rapport 1:96*, 48 s.
- VVMB 613, 2001: Bestämning av glimmerhalt i materialets finfraktion, Vägverkets metodbeskrivningar till ATB Väg, *VV Publ. 2001:100*, 8 s.
- Vägverket, 2004: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. *ATB VÄG 2004 Publ 2004:111*, 541 s.
- Åkerblom, G., Petterson, B. & Rosén, B., 1990: Markradon. Handbok för undersökning av markradonförhållanden. *Byggforskningsrådets rapport R85: 1988, reviderad utgåva 1990*, 160.

Bilaga 1

KVALITETSKLASSNING AV PROVER

En bedömning har gjorts av användbarheten av analyserade prover (tab. 2) till betongballast, järnvägs-makadam (spårballast) och vägmakadam (jfr Persson och Schouenborg 1995, 1996). Erhållna tekniska analyser har även jämförts med det stora antal som redovisats av Stenlid (1996), Persson & Göransson 1998 och Persson m.fl. (1998 a och b).

Vägmakadam

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

1	Berget bedöms kunna användas både som slitlager*, massabeläggningar, bärlager och förstärkningslager. Kulkvarnsvärde <10 % och Los Angeles-värde <30 %. * = Ej till slitlayerskikt för vägar med höga ÅDT-tal (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.

Järnvägs-makadamballast

Kvalitetsklassningen för användning av stenmaterial som spårballast grundar sig på krav uppställda av Banverket (2004). Kraven är en nationell anpassning av EUs produktstandard för "Makadamballast för järnvägar" (SS-EN 13450). Glimmerhalten bör vara låg (<25 %), då glimmer vanligtvis sänker hållfastheten, minskar bergartens förmåga att motstå vittring samt ger olämplig kornform vid alltför höga koncentrationer. Kvartsrika bergarter ska undvikas på grund av arbetsmiljöskäl. Motstånd mot fragmentering 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 och 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 (Banverket 2004).

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

1	Berget bedöms <i>vara lämpligt</i> 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 <i>kunna användas</i> 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 <i>inte kunna användas</i> 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. glimmer-innehåll), omvandlingsgrad, förekomst av alkalisilikareaktivt material och sulfider, struktur, kornfogning och kornstorlek (se vidare Lagerblad & Trädgårdh 1995, Trädgårdh & Lagerblad 1996, 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 av proverna för betongballast:

1	Berget bedöms <i>vara lämpligt</i> som betongballast. Berget bedöms klara föreskrivna krav eller rekommendationer såsom låg till moderat glimmerhalt, låg halt av vittringsbenägna och skadliga mineral (sulfider, salter, svällare, alkalisilikareaktiva mineral (se RILEM AAR-1) etc.), låg porositet, vattenabsorption <1,0 %. Ballasten bör dessutom ej överstiga 1,0 i radiumindex eller 2,0 i aktivitetsindex.
1,5	Osäker klasstillhörighet mellan klass 1 och 2.
2	Berget bedöms <i>kunna användas</i> 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 <i>inte kunna användas</i> som betongballast. Berget bedöms <i>inte</i> 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.

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

En god korrelation finns mellan sprödhetstal (s , 8–11 mm, FAS-metod 210-01) och 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 förra kan uppskattas med hjälp av det senare.

De krav som finns för skyddssten (erosionsskydd vid vattendrag) redovisas i tabell 4 (CIRIA SP 083, 1991, jfr CUR/RWS 2000). De flesta bergarter i Sverige hamnar i klassen god.

Tabell 4. Krav för skyddssten i pirar och kajer enligt CIRIA SP 083

Test	Mycket god	God	Medel	Dålig
Densitet (g/cm ³)	>2,9	2,6–2,9	2,3–2,6	<2,3
Vattenabsorption (%)	<0,5	0,5–2,0	2,0–6,0	>6,0
Punktlastindex, I_{550} (MPa)*	>8,0	4,0–8,0	1,5–4,0	<1,5

* = ISRM, 1985