K 647

Beskrivning till bergkvalitetskartor

Bergkvalitet Mälardalen

– kommunerna Strängnäs, Eskilstuna, Västerås, Hallstahammar, Kungsör, Köping och del av Sala

Gry Møl Mortensen, Paula Lindgren & Mattias Göransson

SGU Sveriges geologiska undersökning

ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7403-454-7

Omslagsbild: Finkornig granit som bryts i Malmby bergtäkt. Inom Malmbytäkten har man visat att denna bergart kan förädlas till flera olika ersättningsmaterial för naturgrus. Det mesta av bergmaterialet från denna täkt levereras till betongtillverkning och uppgick under 2016 till 150 000 ton. I täkten produceras fortfarande även naturgrus (ses i bakgrunden under trädlinjen).

Fotograf: Gry Møl Mortensen.

Författare: Gry Møl Mortensen, Paula Lindgren & Mattias Göransson
Granskad av: Claes Mellqvist
Ansvarig enhetschef: Mugdim Islamovic
Redaktör: Johan Sporrong
Utgivningsår: 2020

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning 4
Geologisk översikt för Mälardalen 6
Berggrunden generellt 6
Bergartsgrupper som förekommer i Mälardalen 8
Ytbergarter 8
Sedimentgnejs 8
Gråvacka (vacka) 9
Sandsten 10
Kristallin karbonatsten 10
Sur vulkanit 10
Andesit och basalt 11
Tuffit 11
Djupbergarter 11
Tidigorogen granitoid (granit, granodiorit och tonalit) 12
Amfibolit 12
Senorogen granit och pegmatit 13
Diabas 14
Metodik 15
Klassning 16
Sammanställning av bergkvalitetskartor 16
Bergarters kvalitet – allmänna kriterier 18
Kulkvarnsvärde och micro-Devalvärde – bergmaterials förmåga att motstå skavande nötning 18
Los Angelesvärde – bergmaterials förmåga att motstå fragmentering 18
Aktivitetsindex – ett mått på naturlig strålning 20
Alkalisilikareaktivitet 21
Sulfidmineral 21
Kornform, glimmermineral, reologi och arbetbarhet 22
Vattenabsorption 22
Leromvandlad eller vittrad berggrund 23
Kvartshalt 23
Bergarternas kvalitet i Mälardalen – beskrivning till kartinformationen 23
Berggrundens lämplighet för vägändamål 24
Berggrundens lämplighet för järnvägsändamål 26
Berggrundens lämplighet för betongändamål 28
Bergtäkter inom analysområdet Mälardalen 32
Sammanfattning och slutsatser 33
Referenser 35
Bilaga 1. Alkalisilikareaktivitet, ASR 38
Bilaga 2. Betongtester 40

INLEDNING

Tätortsregionerna runt sjön Mälaren är viktiga utvecklingsområden i Sverige och de förväntas vara områden som kommer att fortsätta växa intensivt. År 2050 beräknas Stockholmregionens invånarantal vara 3,4 miljoner (Stockholms läns landsting 2018). Detta innebär att samhället inom kort kommer att behöva bygga både nya bostäder och ny infrastruktur. Flera av kommunerna runt Mälaren; Strängnäs, Eskilstuna, Västerås, Hallstahammar, Kungsör, Köping och Sala utgör dessutom grannkommuner till huvudstadsregionen och flera av de viktiga infrastrukturlederna går igenom området. Det förekommer i dag starka motstående intressen till täktverksamhet i Stockholmsregionen vilket i framtiden kan innebära att råmaterialen för byggandet istället kan behöva utvinnas i Stockholms närområden. För att underlätta och stärka framtidens samhällsbyggande är det viktigt att det finns tillgång till aktiva täkter som kan producera alla de råmaterial som behövs i både Stockholm och Mälardalsregionen. För detta behövs bra underlag och kunskap om berggrunden och dess egenskaper inom regionen.

I området Mälardalen finns idag 16 grus- och bergtäkter (se senare avsnitt *Bergtäkter i Mälardalen*). De täkter som idag har ett utvinningstillstånd har i genomsnitt mindre än 20 år kvar, vilket innebär att vi inom bara en generation måste förnya samtliga av de befintliga lokaliseringarna eller starta nya täkter. Samtidigt växer regionen kraftigt vilket innebär att behovet av ballast förväntas bli ännu högre i framtiden då befolkningens storlek korrelerar mycket bra mot byggbehoven. På grund av detta har berggrunden i dessa områden undersökts avseende dess lämplighet att användas som byggnadsmaterial för ändamål som betong, vägar och banvallar till järnväg. Geologiska underlag och bergkvalitetsinformation kan förse samhället med kunskap om var de goda tillgångarna av byggråvaror finns, samt var bergkvaliteten är sämre och därför utgör en utmaning för den lokala eller den regionala materialförsörjningen.

Under 2002 och 2007 gjorde Sveriges geologiska undersökning (SGU) undersökningar av bergkvaliteten inom delar av analysområdet (Ripa m.fl. 2002, Lundin m.fl. 2007, Persson m.fl. 2007a, b, c, d). Projektet som presenteras här är en komplettering till, och uppgradering av, tidigare undersökningar, där analysområdet, se figur 1, har expanderats och nu utgörs av tre olika produkter: bergkvalitet för väg, bergkvalitet för järnväg och bergkvalitet för betong. Varje produkt utgörs av en egen bergkvalitetskarta samt en gemensam beskrivning till bergkvalitetskartorna (denna rapport). Bergkvalitetskartan för väg utgör i detta projekt en komplettering av de tidigare undersökningarna (Ripa m.fl. 2002, Lundin m.fl. 2007, Persson m.fl. 2007a, b, c, d) och består enbart av analyser inom Strängnäs kommun. Bergkvalitetskartorna är tematiska kartor för analysområdet Mälardalen och visar översiktligt berggrundens lämplighet för framställning av ballast för väg-, järnväg- och betongändamål. Kartorna är sammanställda utifrån SGUs berggrundsinformation i samband med petrografiska och geofysiska analysresultat från mätningar på representativa bergarter inom området. Visualisering av bergkvalitetskartorna kan nås via SGUs interaktiva webbtjänst *Kartvisare Ballast* (apps.sgu.se/kartvisare). Rapporten ger en sammanställning av analysområdet Mälardalens geologi, bergkvalitetsdata och tolkningar av dessa, och rapporten kan med fördel läsas tillsammans med bergkvalitetskartorna.

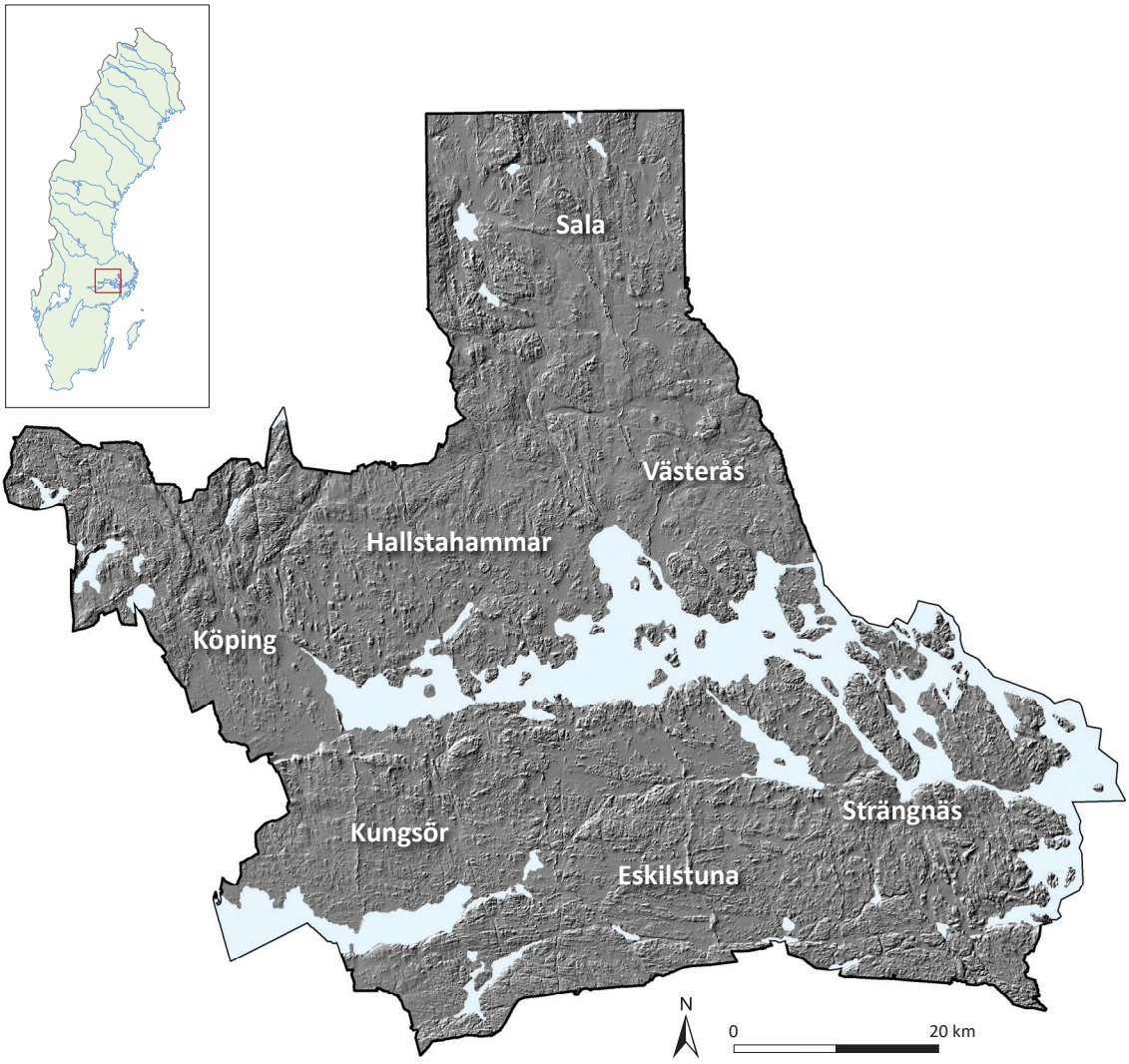
Syftet med SGUs bergkvalitetskartor och -information är bland annat att stärka kunskapsunderlaget för prospekteringsverksamhet samt att inom den kommunala och regionala översiktsplaneringen fungera som geologiskt underlag för en optimal och effektiv framtida användning av berggrunden. Bergkvalitetsinformationen kan bidra till att underlätta en utvärdering av berggrundens bästa användningsområde för ändamålet ballast, i synnerhet för väg-, järnvägs- och betongballast. Eftersom kraven mellan de olika användningsområdena skiljer sig åt innebär det att inte alla bergarter nödvändigtvis är optimala för samtliga användningsområden. För ballast till vägändamål är det i första hand krav på bergets hållfasthetsegenskaper

som är avgörande, till skillnad från ballast för betongändamål där främst bergets strålning och kemiska reaktivitet kravsätts.

Bergkvalitetskartorna är även tänkta som hjälp för att underlätta övergången från naturgrusproduktion till krossbergsproduktion. Naturgrus betraktas i dag som en ändlig resurs, och naturgrusavlagringarna utgör samtidigt en viktig källa för vår dricksvattenförsörjning i dag och i framtiden. Av den anledningen strävar samhället mot en minskning av grusanvändningen (MB 9 kap. 6 §).

Ballastmaterial som används för byggnation och anläggningsverksamhet är en samhällsstrategiskt viktig produktråvara och utgör i dag den råvara vi använder mest av i Sverige näst efter vatten. Produktionen av ballastmaterial i Sverige uppgick under 2018 till 98,7 miljoner ton, vilket är en ökning med 2,9 miljoner ton sedan 2017. Därav levererades 2,7 miljoner ton ballastmaterial från täkter i Mälardalsområdet (ännu opublicerat data från Svenska MiljörapporteringsPortalen).

Bergkvalitetskartan är att betrakta som ett översiktligt underlag, eller en modell, för prospektering av bergmaterial och för planering av materialförsörjningen i en region. Om mer detaljerad information skulle komma fram, till exempel i en konsultrapport där tätare provtagning har gjorts, kan denna modell behöva ändras.



Figur 1. Analysområdet för Bergkvalitet Mälardalen med de kommuner som ingår. Figuren representerar en höjdmodell med vattenområden i blått.

GEOLOGISK ÖVERSIKT FÖR MÄLARDALEN

Mälardalen är ett förhållandevis tättbefolkat område som ligger runt sjön Mälaren och inkluderar sydvästra Uppland, sydöstra Västmanland och norra Södermanland. Kommuner som ligger i analysområdet Mälardalen är Strängnäs, Eskilstuna, Västerås, Hallstahammar, Kungsör, Köping och en del av Sala kommun. Det aktuella analysområdets avgränsning visas i figur 1.

Mälardalen har ett kuperat landskap med bördiga åkermarker nära Mälaren, och skogsklädda småkulliga urbergsytor på lite högre belägna partier (Stålhös 1976). Berggrunden i Mälardalen ingår i den så kallade Bergslagens litotektoniska enhet, som ingår i en numera kraftigt nedvittrad och vidsträckt bergskedja som bildades under den svekokarelska orogenesen (bergskedjebildningen) för 2,0–1,8 miljarder år sedan (Curtis m.fl. 2018). I samband med en långt senare spröd deformation för cirka 1 500–1 000 miljoner år sedan trängde diabasgångar upp genom sprickor i jordskorpan (Ripa m.fl. 2002). Inom analysområdet finns det även flera isälvsavlagringar, exempelvis Enköpingsåsarna (Pousette m.fl. 1984). Nedan ges en översiktlig genomgång av berggrunden inom analysområdet Mälardalen.

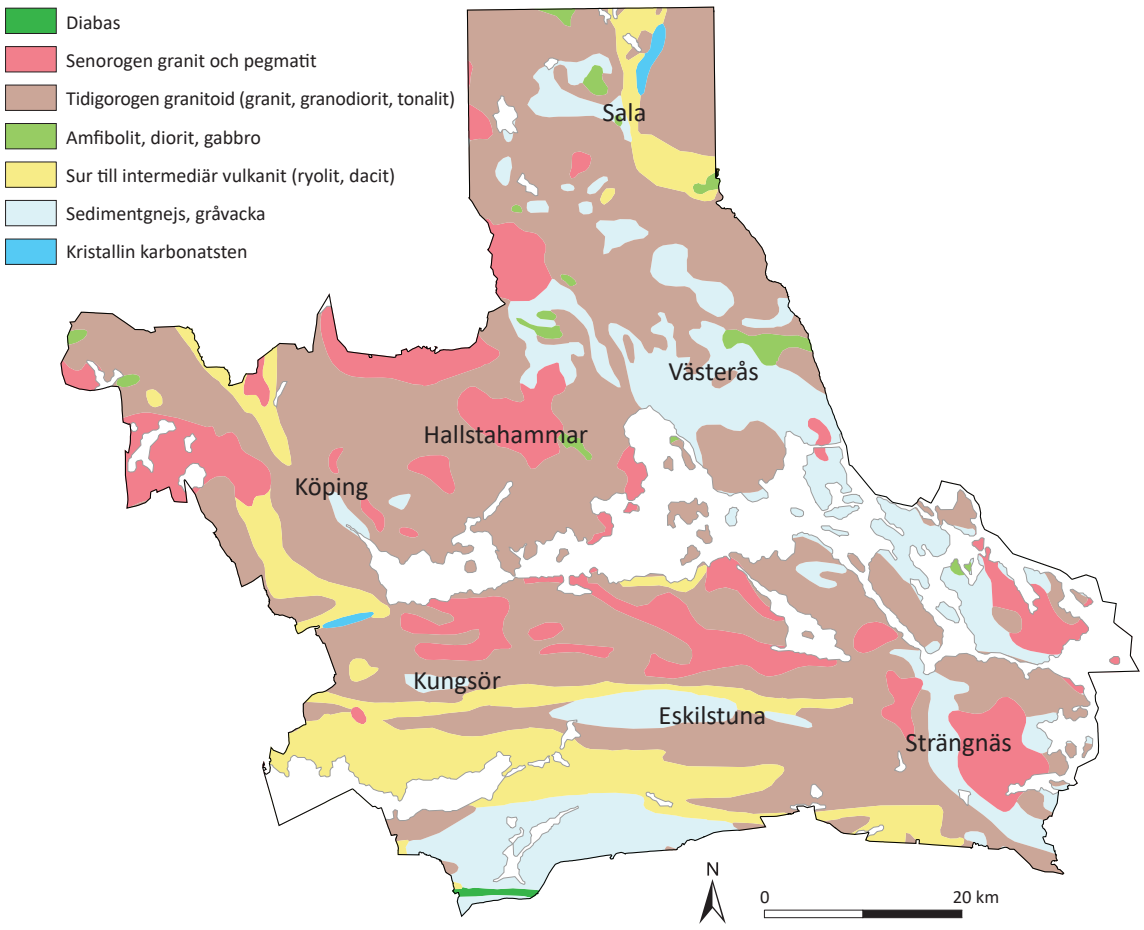
Berggrunden generellt

Den svekokarelska orogenesen inleddes med att mäktiga lager av sedimentära och vulkaniska bergarter avsattes för över 1 900 miljoner år sedan (Arnbom 1999). Dessa ytbergarter bildades nära den dåvarande jordytan och konsoliderades efterhand som de utsattes för ökade tryck och temperaturer i jordskorpan. De sedimentära bergarterna förekommer främst i de östra, södra och norra delarna av analysområdet och vulkaniterna förekommer främst i de södra, västra och norra delarna av området. I dag framstår de som starkt deformerade och omvandlade med en brant stupning (Lundegårdh 1974). Särskilt söder om Mälaren är bergarterna generellt kraftigt migmatitiserade (Persson m.fl. 2010). I äldre litteratur användes begreppen ”metasediment” och ”metavulkaniter” för att uttrycka att dessa bergarter är starkt omvandlande och deformerade, men prefixet ”meta-” används numera inte längre. De ursprungliga sedimenten avsattes både på land och i vatten. Sedimenten var framförallt leriga och sandiga, men även kalkrika sediment förekom vilka i dag är omvandlade och omkristalliserade karbonatbergarter (Lundegårdh 1974). De leriga och sandiga sedimenten har vanligtvis omvandlats till så kallade sedimentgnejser som är bitvis migmatitiserade, och uppträder som både kvartsfältspatsrika och glimmerrika varianter. De är grå till färgen, veckade, och ofta med ljusare körtlar eller sliror av kvarts och fältspat (Arnbom 1999). Vulkaniterna i Mälardalen består till största delen av sura bergarter som dacit till ryolit. Att de är sura betyder i strikt mening att de är SiO_2-rika, men innebär i allmänhet samma sak som att de är rika på kvarts. De basiska (SiO_2-fattiga) varianterna, andesit till basalt, förekommer främst i västra delen av analysområdet. Även vulkaniterna har omvandlats till gnejs (Lundegårdh 1983, Ripa m.fl. 2002). Den svekokarelska orogenesen kan i viss mån jämföras med vad vi ser i dag i bergskedjan Anderna längs Sydamerikas västkust, där en oceanisk jordskorpa glider ner under en kontinental skorpa i en subduktionszon (Ripa m.fl. 2002). I det avseendet kan ytbergarterna, det vill säga de sedimentära och vulkaniska, ha bildats tätt förbundna i en så kallad *back-arc*-miljö präglad av extension (Lundqvist m.fl. 2011).

Efter att ytbergarterna avsattes, men fortfarande i ett tidigt skede av bergskedjebildningen, för cirka 1 900–1 880 miljoner år sedan, trängde sura och basiska magmor upp i jordskorpan (Arnbom 1999). Magmorna kontaktomvandlade, breccierade och deformerade de då ännu relativt välbevarade ytbergarterna och stelnade sedan till så kallade tidigorogena djupbergarter i form av bland annat granit, granodiorit, tonalit, diorit och gabbro (Stålhös 1982). Främst var

det kvartsrika bergarter som granit, granodiorit och tonalit som bildades i området Mälardalen (Ripa m.fl. 2002). Den svekokarelska orogenesen nådde sedan sin kulmen för cirka 1 850–1 800 miljoner år sedan, med veckning, deformation och ökade tryck och temperaturer (Arnbom 1999). I samband med det genomgick både djupbergarter och ytbergarter en metamorfos där bland annat granitoiderna fick en gnejsprägel och de sedimentära ytbergarterna omvandlades till glimmerskiffrar och homogena eller ådrade sedimentgnejser (Lundegårdh 1983). I en sen fas av bergskedjebildningen, för cirka 1 780 miljoner år sedan, intruderade en andra generation av magmor och bildade så kallade senorogena djupbergarter som främst var graniter med tillhörande pegmatiter (Arnbom 1999). Dessa är i stort sett massformiga och fria från deformationsstrukturer (Lundegårdh 1974, Stålhös 1976), men kan lokalt uppvisa svag deformation (Stålhös 1982). Dessa tidig- och senorogena djupbergarter är resultaten av magmor som bildats och stelnat djupt ner i jordskorpan under bergskedjebildningen vid subduktionsprocessen (Ripa m.fl. 2002). Djupbergarterna, med framförallt granit och granodiorit, dominerar de centrala och norra delarna av analysområdet Mälardalen.

Efter den svekokarelska orogenesen följde en lugn period där berggrunden svalnade av, men för cirka 1 500–1 000 miljoner år sedan rörde sig berggrunden åter igen, och två generationer basiska magmor trängde upp i sprickor och bildade diabasgångar (Arnbom 1999, Ripa m.fl. 2002). Efter diabaserna följde en lugn tidsperiod, och i dag är bergskedjans nedvittrade rötter blottlagda i norra, centrala, och sydöstra Sverige – där Mälardalen ingår, se figur 2.



Figur 2. Schematisk översikt över Mälardalens berggrund.

Bergartsgrupper som förekommer i Mälardalen

Nedan följer en kort sammanställning och generaliserad beskrivning av de bergarter som dominerar den exponerade berggrunden inom analysområdet Mälardalen. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till SGUs tidigare publicerade berggrundsbeskrivningar (Lundegårdh 1974, 1983, Stålhös 1976, 1982, 1984, Lundegårdh & Nisca 1978, Arnbom 1999, Ripa m.fl. 2002, Persson m.fl. 2010) samt tidigare publicerade rapporter för bergkvalitetskarteringar (Ripa m.fl. 2002, Lundin m.fl. 2007, Persson m.fl. 2007a, b, c, d) inom samma projektområde.

Ytbergarter

Ytbergarterna i Mälardalen är de bergarter som bildades på (eller nära) dåtidens jordyta. Det rör sig både om sedimentära och vulkaniska bildningar. Övergångarna mellan dessa bergarter är diffusa och det visar att sedimentation och vulkanism har skett samtidigt (Persson m.fl. 2010).

Sedimentgnejs

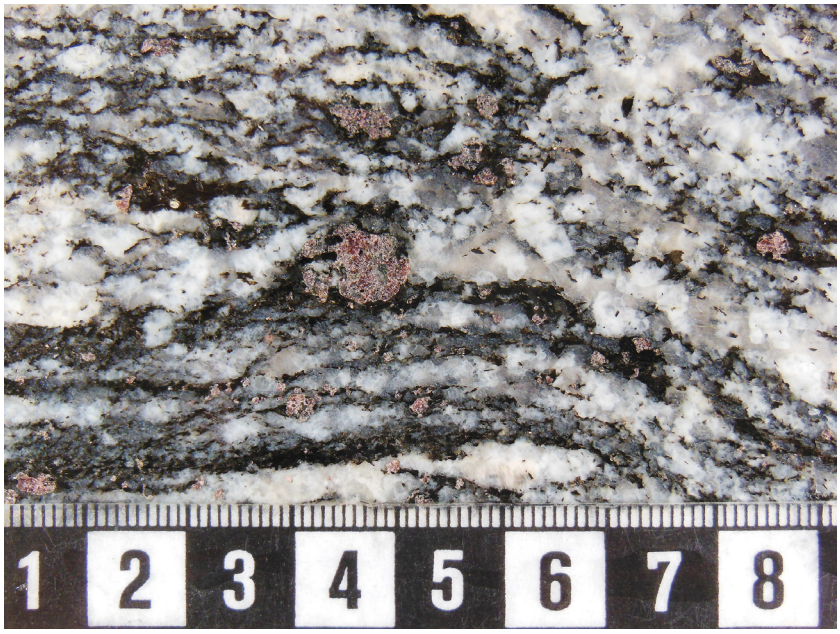
Sedimentgnejs, också kallad paragnejs, är i området vanligen grå och glimmerförande. Bitvis övergår den till glimmerskiffer eller glimmergnejs. Kornstorleken är vanligtvis finkornig till fint medelkornig, och huvudmineralen är kvarts, fältspat och glimmer. Glimmermineralen har en tydlig parallellorientering. Lokalt uppträder rostfärgade partier och sprickytor på sedimentgnejserna vilka bildats genom vittring av bergartens sulfidmineral. Migmatitisering med åderbildning är vanligt i den södra delen av Mälardalen, se figur 3. I flera områden är sedimentgnejserna kraftigt omvandlade och på grund av bergartens kemiska sammansättning har mineralet granat bildats, se figur 4. På vissa platser förekommer även mineralen sillimanit eller kordierit som indikerar vid vilka temperaturer och tryck bergarterna har bildats.

Sedimentgnejs lämpar sig på grund av höga glimmerhalter, och ibland även dålig hållfasthet, oftast mindre bra för ballastprodukter inom både väg-, järnväg- och betongändamål.

Figur 3. Sedimentgnejs med åderbildning från bergtäkten Balsta. Diametern på kameralinsskyddet är cirka 5 cm. Foto: Jan-Olof Arnbom.

Gråvacka (vacka)

Sedimentgnejsen består av centimeter- till decimeterbreda stråk av glimmer, varvat med ljusare kvarts- och fältspatrika lager, se figur 3. I vissa områden finns sedimentär primärstruktur som har bevarats, så kallad *graded bedding*, och i dessa fall kallas sedimentgnejsen för gråvacka eller vacka, se figur 5. Sedimentgnejs, inklusive gråvacka, finns framförallt i den östra och södra delen, men även i den norra delen av analysområdet.



Figur 4. Sedimentgnejs med åderbildning och granater från Hällberga, sydost om Eskilstuna.
Foto: Stefan Persson.

Figur 5. Gråvacka från Tösta, norr om Västerås. Primära sedimentära strukturer är bevarade som sandiga lager i nedre delen av bilden, följt av ler och siltiga lager med kordieritporfyroblaster. Pennans bredd är 1 cm.
Foto: Stefan Persson.

Sandsten

Sandsten är en klastisk sedimentär bergart med kornstorlek på 0,06–2 mm. Inom analysområdet är sandstenen kraftigt omvandlad och uppträder dels som kvartsrika varianter exempelvis kvartsarenit, men även mer fältspatsrik sandsten såsom arkos förekommer. Grövre varianter, exempelvis konglomerat, finns också. Sandsten har en mycket begränsad utbredning i området. Kvartsrika varianter finns bland annat i nordöstra Västerås och i Eskilstuna kommun. Fältspatsrik sandsten förekommer i de östra delarna av analysområdet, runt norra Strängnäs och sydvästra Enköping.

Sandsten lämpar sig oftast bra för ballastprodukter för både väg-, järnväg- och betongändamål. Särskilt varianten kvartsarenit, som då inte får vara glimmeranrikad, kan utgöra ett förstklassigt bergmaterial för vägändamål.

Kristallin karbonatsten

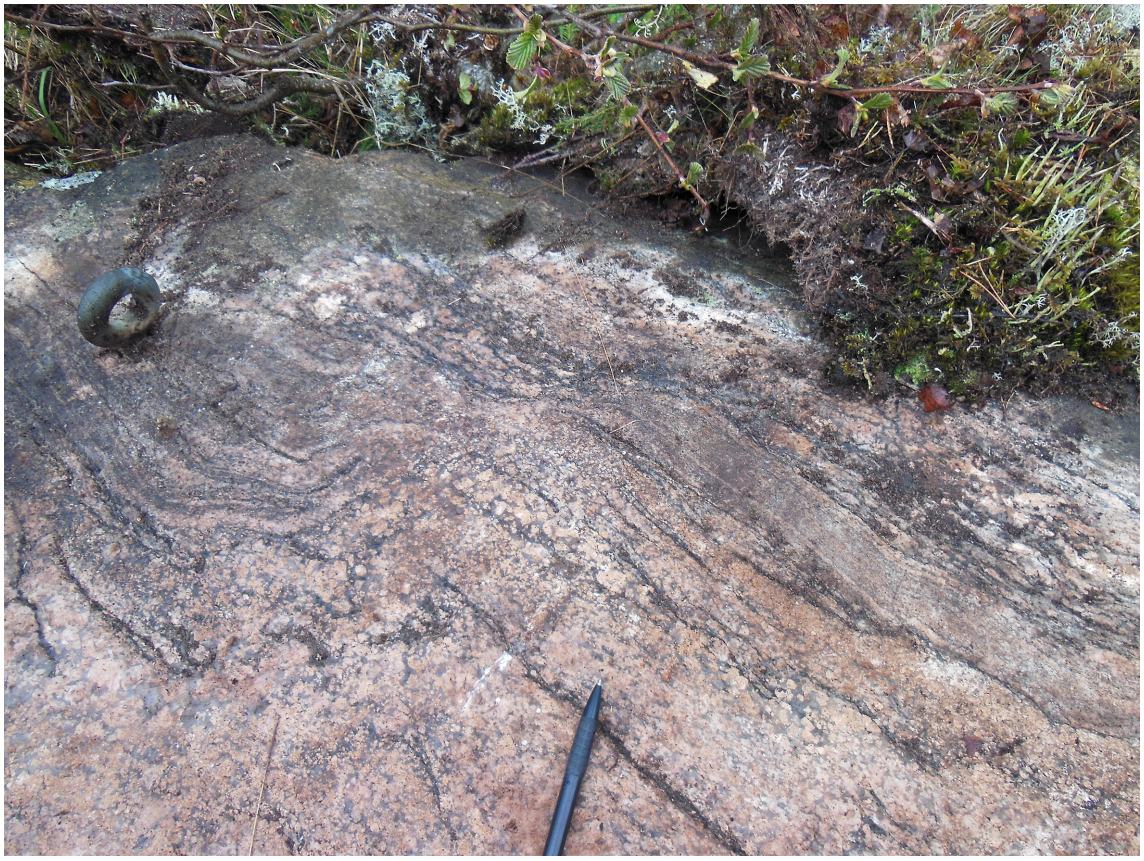
Kristallin karbonatsten, också kallad marmor eller urkalksten, är en metamorf karbonatsten. I Mälardalen förekommer både kalcit- och dolomitrik marmor, ofta tillsammans med vulkaniter i områdets västra och norra delar. Utöver karbonatmineral innehåller bergarten bland annat mindre mängder av magnetit som lokalt har anrikats till järnmalm, exempelvis i nordvästra Eskilstuna. I kontakter med vulkaniter kan urkalkstenen ha utsatts för kontaktmetamorfos och vara skarnförande, det vill säga innehålla anhopningar av kalcium-, magnesium- och järnsilikatmineral som amfibol, pyroxen, klorit och serpentin.

Kristallin karbonatsten lämpar sig oftast utmärkt för betongändamål, men mindre bra för väg- och järnvägsändamål på grund av oftast dålig hållfasthet. Flera av de karbonatstenar som förekommer inom området har man genom tiden utvunnit industrimineral ifrån.

Sur vulkanit

De flesta vulkaniterna i Mälardalen har en sur (till intermediär) sammansättning i form av dacit och ryolit, där daciten innehåller mer plagioklas i förhållande till ryoliten som är mer rik på kalifältspat. Dessa bergarter förekommer i de södra och västra delarna av analysområdet, främst i Eskilstuna och Västerås. Vulkaniterna är mer eller mindre omvandlade, ibland till bandade gnejser eller glimmerskiffrar, och en allmän beteckning på dessa bergarter är sura vulkaniter, se figur 6. Bland dessa var tidigare hälleflinta och leptit vanligt förekommande bergartsnamn men termerna används inte längre i moderna berggrundsgeologiska kartor och beskrivningar. För att ändå förstå den gamla terminologin så är hälleflinta en mycket finkornig och kompakt bergart bildad genom omvandling av sura lavor eller askor med ursprunglig kornstorlek på 0,03–0,05 mm och leptit har en sur–intermediär sammansättning och en ursprunglig kornstorlek på 0,03–1 mm. De sura vulkaniterna kan vara porfyriska med strökorn av kvarts eller fältspat. Bland vulkaniterna förekommer även vulkaniska breccior som är bergarter med kantiga fragment bildade genom explosiv vulkanism och agglomerat som består av vulkaniska bomber inbäddade i fint material.

Sura vulkaniter har oftast en bra hållfasthet och lämpar sig därmed i de flesta fall utmärkt som ballastprodukter för väg- och järnvägsändamål. För betong däremot, lämpar sig oftast sura vulkaniter dåligt eftersom de utgör en hög risk för alkalisilikareaktivitet (se avsnitt *Bergarternas kvalitet – allmänna kriterier*).



Figur 6. Sur vulkanit med gnejsig struktur och ådring, söder om Härad, Strängnäs. Pennans bredd är 1 cm. Foto: Stefan Persson.

Andesit och basalt

Bland de basiska vulkaniterna påträffas andesit och basalt. Dessa bergarter förekommer också främst i de södra och västra delarna av analysområdet men med en betydligt mindre utbredning än de sura vulkaniterna. De basiska vulkaniterna är mörkare i färgen och kan vara kloritomvandlade. De kan också vara porfyriska med strökorn av plagioklas; ibland kallas bergarten då för plagioklasporfyrit.

Andesit och basalt har oftast god hållfasthet vilket gör att de lämpar sig bra för ballastprodukter för väg och järnväg.

Tuffit

Vulkaniterna och sedimenten i området är tätt sammanlänkade, därför uppträder även tuffit som är en blandbergart av vulkaniska produkter med varierande inblandning av sedimentärt material. Tuffit har en mycket begränsad utbredning i området. Den förekommer sparsamt i norra Strängnäs, i östra delen av analysområdet.

Djupbergarter

Djupbergarter är bergarter som bildats djupt ner i jordskorpan. De centrala och norra delarna av Mälardalen domineras av två generationer djupbergarter; de tidigorogena, som huvudsakligen består av gnejsiga granitoider, följt av senorogen granit som är relativt fria från deformationsstrukturer.

Tidigorogen granitoid (granit, granodiorit och tonalit)

Granitoider, också kallade gnejsiga granitoider eller ortognejser, tillhör de tidigorogena djupbergarterna i Mälardalen. Dessa är kvartsrika och har sammansättningar i leden granit–granodiorit–tonalit, där skillnaden utgörs av bergarternas andelar av mineralen plagioklas och kalifältspat. Tonaliten har mest plagioklas i förhållande till granodiorit och granit, och graniten är den som innehåller mest kalifältspat. Vanligast i området är granodiorit. Dessa äldre granitoider är mer eller mindre folierade eller gnejsiga, se figur 7. Även migmatitiserade varianter förekommer, speciellt söder om Mälaren där berggrunden utsatts för en mer kraftig omvandling (Stephens m.fl. 2009). Lokalt kan det förekomma högstrålande partier i samband med zoner av uppsmältning och mobilisering (neosom). Granitoiderna är ofta medelkorniga och har en grå till rödgrå färg, där de tonalitiska leden är något mörkare grå. Lokalt förekommer kalifältspatsögon i granit och granodiorit och strökorn av plagioklas i tonalit.

Granitoider har ofta bra hållfasthetsegenskaper och lämpar sig därför bra som ballastprodukter för både väg-, järnväg- och betongändamål. De grövre varianterna, inklusive pegmatit, är dock ofta spröda och klassas vanligen ner. Om en granitoid är glimmerrik eller sulfidförande uppnår den också en sämre klass.

Amfibolit

Amfibolit, ibland också kallad grönsten eller basit, är en övergripande term för en omvandlad basisk bergart. De tidigorogena amfiboliterna domineras framförallt av bergarter som diorit och gabbro, men även kvartsdiorit förekommer. Färgen är grönsvart till svartgrå och de är omvandlade och folierade i varierande grad, se figur 8. Huvudmineralen är hornblände, biotit, pyroxen och plagioklas. Metamorf granat förekommer, exempelvis i sydöstra Enköping. Det

Figur 7. Gnejsig granodiorit från täkten Broberget i Västerås kommun. Foto: Jan-Olof Arnbom.

Figur 8. Amfibolit, starkt folierad och med ljusare ådror, från bergtäkten Nytorpsberget, Kungsör.
Foto: Jan-Olof Arnbom.

finns också starkt deformerade gångar och linser av amfibolit bland de tidigorogena djupbergarterna. Amfibolit förekommer underordnat inom hela analysområdet, men finns framförallt i de norra delarna såsom östra Västerås och sydvästra Enköping.

Amfibolit har oftast en god hållfasthet, men kan på grund av foliation uppnå en mindre god kornform vilket påverkar klassningen. Det finns även risk för höga halter glimmer eller sulfider, vilket också påverkar klassningen i negativ riktning.

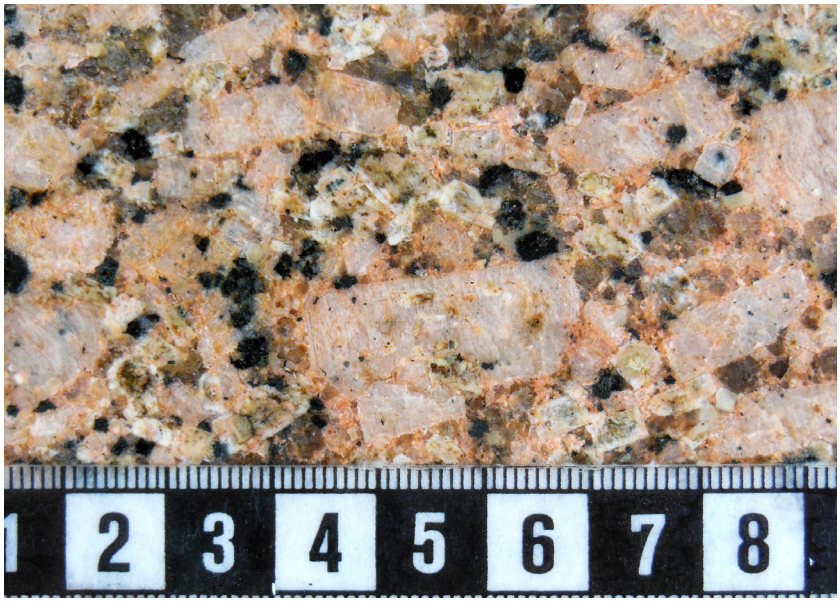
Senorogen granit och pegmatit

De senorogena djupbergarterna dominerar de centrala och norra delarna av analysområdet och utgörs främst av granit och till denna associerad pegmatit. Denna yngre granit är ofta mer högstrålande än de äldre tidigorogena granitoiderna, då den inte har utsatts för samma grad av omvandling och mobilisering av kalium, torium och uran. Senorogen granit är vanligen massformig (fig. 9) men kan lokalt uppvisa en svag foliation. Kornstorleken varierar från finkornig till grovkornig och har ofta en rödgrå till röd färg. Det finns både porfyrisk granit i området med strökorn av fältspat (fig. 10) och mer jämnkorniga varianter av granit.

Pegmatit förekommer som mindre enheter inom hela analysområdet. Pegmatit är en grovkornig bergart med granitisk sammansättning och förekommer både som gångar och mindre massiv, vilka slår igenom de äldre yt- och djupbergarterna i området. Ibland innehåller pegmatiterna mer sällsynta mineral som exempelvis turmalin.

Granit lämpar sig oftast utmärkt som ballastprodukt för både väg-, järnväg- och betongändamål. Högstrålande varianter klassas dock ner på grund av rådande regler för strålning i samband med byggnationer (se avsnitt *Bergarternas kvalitet – allmänna kriterier*). Som tidigare nämnts uppvisar de grövre varianterna, inklusive pegmatit, en högre sprödhet som klassar ner dem.

Figur 9. Massformig senorogen granit från den nyligen stängda bergtäkten Ärja, Strängnäs. Bildens bredd är cirka 12 cm. Foto: Mattias Göransson.



Figur 10. Massformig senorogen granit med porfyrisk textur från Skultuna, Västerås. Foto: Stefan Persson.

Diabas

Det finns två generationer postsvekokarelska diabasgångar i området och de bildades för cirka 1 500–1 000 miljoner år sedan. Båda generationerna har trängt upp i brant stupande sprickor och slår igenom de äldre svekokarelska bergarterna. Dessa diabaser är finkorniga till medelkorniga och har en mörkgrå färg. Huvudmineral är plagioklas och pyroxen, delvis omvandlade till biotit, hornblände och klorit. Vissa diabaser inom området kan vara sulfidförande. Det finns även olivinförande varianter av diabas inom analysområdet, exempelvis i södra Eskilstuna. På vissa ställen har diabaserna hålrum fyllda med kalcit, exempelvis på ön Granholmen i Mälaren. Den yngre generationen av diabas bildades för cirka 1 000–900 miljoner år sedan och stryker i västnordväst- och östnordöstlig riktning. Den äldre generationen av diabas stryker i öst–västlig riktning och bildades troligen för cirka 1 550–1 500 miljoner år sedan. Dessa äldre gångar tillhör antagligen den mäktiga Hälleforsdiabasen som uppträder i mellersta Södermanland. Diabaserna förekommer underordnat inom hela analysområdet. De största kropparna finns i södra delen av Eskilstuna kommun och i de nordöstra delarna av Västerås kommun.

Diabas lämpar sig utmärkt som ballastprodukt för väg- och järnvägsändamål. Basiska bergarter, och därmed diabas, kan vara svåra att blanda ut i cement, och kan även vara leromvandlade eller sulfidförande, vilket klassar ner dem något för betongändamål.

METODIK

Projektet Bergkvalitet Mälardalen är en komplettering till och uppgradering av de tidigare bergkvalitetskarteringarna inom delar av analysområdet, där befintliga analysresultat och mätdata har använts till att ta fram kartskikt för bergkvalitet för ballast till järnväg och betong, samt kompletterande delar av väg. Fördjupad kunskap om berggrunden inom analysområdet kan bland annat fås från följande publikationer: Lundegårdh 1974, 1983, Stålhös 1976, 1982, 1984, Lundegårdh & Nisca 1978, Pousette 1984, Arnbom 1999, Ripa m.fl. 2002 och Persson m.fl. 2010.

Bergkvalitetskartan är en tematisk karta som visar berggrundens lämplighet för framställning av ballast till byggnation av vägar och järnvägar samt som ballast till betong. Sammanställningen görs i tre kartskikt: bergkvalitet för väg, bergkvalitet för järnväg och bergkvalitet för betong.

De tre bergkvalitetskartorna bygger på en generaliserad tolkning av analysresultat och mätningar på representativa bergarter i analysområdet Mälardalen, vilket resulterar i en klassning av berggrundens lämplighet som ballast till de tre olika användningsområdena. Där analysresultat saknas har tekniska egenskaper från likvärdiga bergarter beaktats. Berggrundsgeologisk och geofysisk information från SGUs databaser har använts till sammanställningen. Även tidigare bergkvalitetskarteringar inom analysområdet och i anslutning till analysområdet (SGUs kartvisare) har fungerat som underlag i tolkningarna.

Tekniska analysresultat avseende hållfasthet och petrografiska egenskaper härrör från provtagningar där varje prov utgörs av cirka 70 kg bergmaterial från olika platser inom analysområdet. Polerade tunnslip framställda av bergarter från olika provplatser har gett underlag till petrografiska analyser och ASR-analys (alkalisilikareaktivitetsanalys). Även mängden av opaka mineral har undersökts. Petrografiska data samt alla tekniska analysvärden finns redovisade i tidigare publikationer (Ripa m.fl. 2002, Lundin m.fl. 2007, Persson m.fl. 2007a, b, c, d). Dessa data finns sammanställda sedan tidigare i ett bergkvalitetsskikt för väg som finns tillgängligt i SGUs Kartvisare Ballast (apps.sgu.se/kartvisare)

En kompletterande bedömning av berggrundens risk för förhöjd gammastrålning, uttryckt som aktivitetsindex, har utförts av Cecilia Jelinek inom detta projekt. Utvärdering av aktivitetsindex har gjorts både från flygmätt gammastrålning, från gammaspektrometrimätningar på häll samt litokemiska analyser av bergartsprover. Flygmätningarna över analysområdet utfördes mellan 1969 och 2007. Mätningarna ger halterna av kalium, uran och torium i markytan, och ur dessa kan då aktivitetsindex beräknas. Flygmätta värden representerar ett utjämnat värde där häll och omkringliggande jord och vegetation ingår. Markmätningar på häll inom samma områden ger ofta ett högre värde än flygmätningarna. Inom områden täckta av lera råder stor osäkerhet då flygmätningarna här inte anses representera den underliggande berggrunden rätt. Dessa områden har därför inte ingått i underlaget för analysen, men underliggande berg kan ändå ha högt aktivitetsindex. Data från gammaspektrometriska mätningar på häll samt litokemiska analyser har hämtats från SGUs databaser. Inom analysområdet har det utförts runt 1 440 gammaspektrometriska mätningar på häll (1–3 mätningar per lokal). Mätningarna ger halterna av kalium, uran och torium i bergarten och utifrån dessa kan ett aktivitetsindex beräknas. Gällande litogeokemiska analyser har det inom analysområdet gjorts 271 analyser, där 189 av dessa har innefattat halter av kalium, uran och torium, och aktivitetsindex har kunnat beräknas.

Klassning

För varje användningsområde (väg, järnväg eller betong) finns ett antal parametrar som är avgörande för berggrundens lämplighet, se förenklade klassningsprinciper för väg, järnväg och betong i tabell 1–3 (Mortensen & Göransson 2018). I bergkvalitetskartorna urskiljs områden med fyra kvalitetsklasser, där kvalitet 4 anses som olämplig att använda för gällande ändamål. Mer detaljerad information om parametrarna finns i avsnittet *Bergarternas kvalitet – allmänna kriterier*. I de fall analysdata är inkompletta, om det till exempel saknas en kritisk nyckelegenskap, har tekniska egenskaper från likvärdiga bergarter beaktats.

Sammanställning av bergkvalitetskartor

I projektet gjordes tre kartor över de olika bergkvalitetsklasserna med utgångspunkt i de tekniska och petrografiska analyserna samt de geofysiska mätningar som gjorts på bergprover från olika platser som anses representera berggrunden inom analysområdet Mälardalen. Med tanke på berggrundens heterogenitet ska sammanställningen ses som mycket översiktlig, och det är därför nödvändigt att komplettera bergkvalitetskartorna med detaljundersökningar vid prospektering och planering för uttag av bergmaterial.

Vid sammanställningen av bergkvalitetskartorna över analysområdet klassas de olika bergarternas lämplighet som ballast till de tre huvudsakliga användningsområdena väg, järnväg och betong. Variation gällande mineralsammansättning, textur och struktur kan förekomma i en och samma bergartsenhet. Detta påverkar bergmaterialets tekniska egenskaper där till exempel en glimmerrik gnejs har sämre tekniska egenskaper än en glimmerfattig gnejs. I en bergartsenhet som utgörs av granit kan det finnas områden med förhöjt innehåll av uran och torium som ger ökad gammastrålning och därmed förhöjt aktivitetsindex (AI). Dessa områden i graniten kan vara mindre lämpliga att använda som betongballast för husbyggnadsändamål. Följaktligen kan en bergartsenhet delas upp och klassificeras olika vad gäller dess bergkvalitet (fig. 11) beroende på till exempel petrografiska variationer.

Tabell 1. SGUs förenklade klassningsprinciper för väg.

VÄG	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Kulkvarnsvärde, $A_{N\ 11/16\ mm}$	< 10 %	10–18 %	> 18 %	
Los Angelesvärde, $LA_{\ 10/14\ mm}$	< 30 %	< 30 %	> 30 %	> 50 %
Micro-Devalvärde, $M_{DE\ 10/14\ mm}$	< 7 %	7–14 %	> 14 %	> 30 %

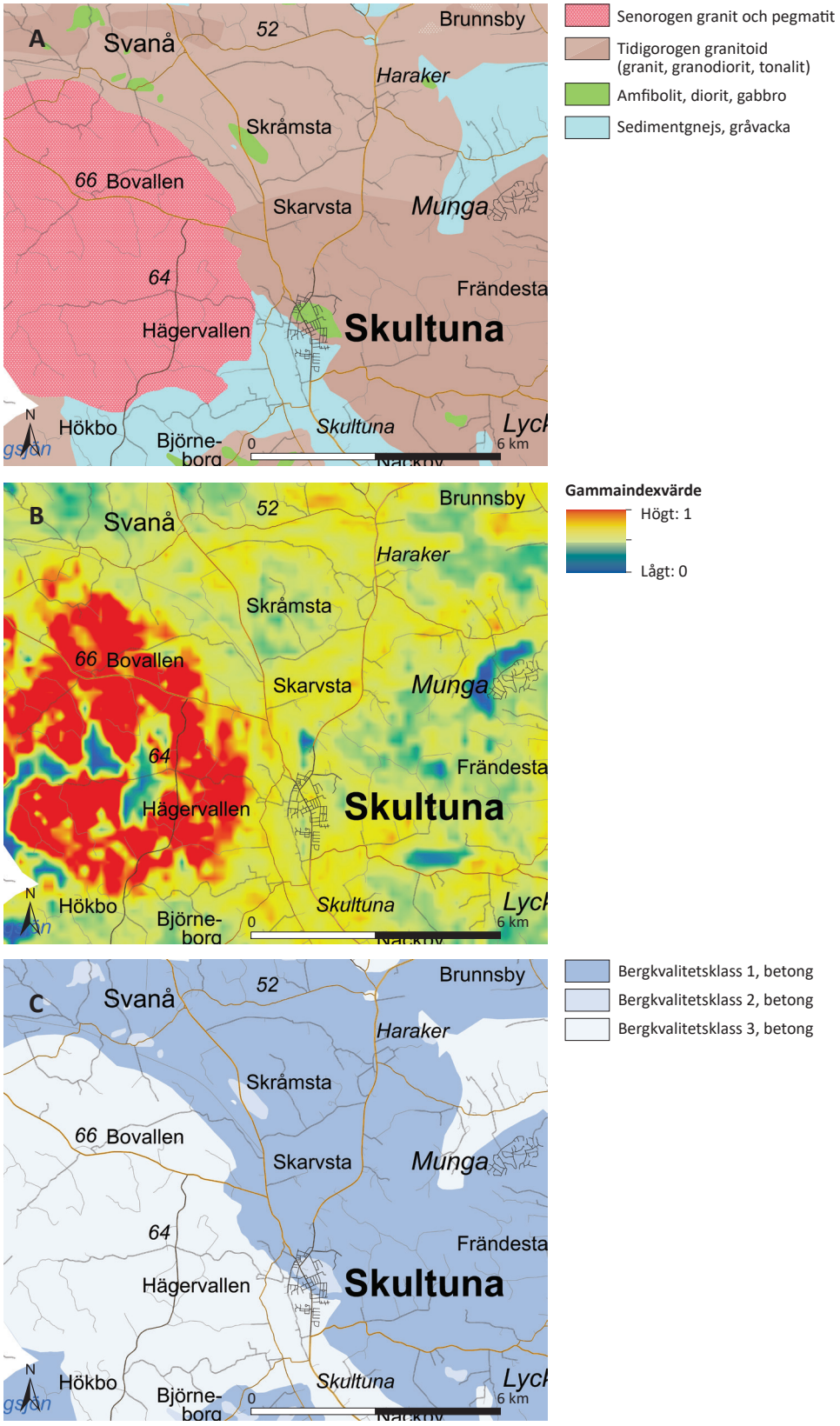
Tabell 2. SGUs förenklade klassningsprinciper för järnväg.

JÄRNVÄG	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Glimmerhalt	< 10 %	10–25 %	25–50 %	> 50 %
Los Angelesvärde, $LA_{\ 10/14\ mm}$	< 25 %	25–30 %	30–50 %	> 50 %
Micro-Devalvärde, $M_{DE\ 10/14\ mm}$	< 17 %	< 17 %	17–24 %	> 24 %

Tabell 3. SGUs förenklade klassningsprinciper för betong.

BETONG	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Glimmerhalt	< 10 %	10–20 %	> 20 %	> 50 %
Aktivitetsindex, AI	< 1	1–2	> 2	
Alkalisilikareaktivitet[1], ASR	1	2	3	

[1] Modifierad RILEM AAR-1 (RILEM 2003)



Figur 11. Exempel på klassning för betong vid Skultuna, norr om Västerås, där berggrunden visas i bild A, aktivitetsindex i bild B, och resultat av klassningen för betong i bild C. Graniten i bild A har ett förhöjt aktivitetsindex (AI), där flera av de mätningar som gjorts på häll har AI > 2. Graniten framträder även tydligt på aktivitetsindex-kartan i förhållande till de lågstrålande sidobergarterna. I den slutgiltiga klassningen av betongkvaliteten har den högstrålande graniten bedömts tillhöra klass 3, och likaså sedimentgnejserna på grund av deras höga glimmerhalter.

BERGARTERS KVALITET – ALLMÄNNA KRITERIER

De viktigaste parametrarna för en ballastproducent är både bergmaterialets kvalitet och en strategisk lokalisering av täkten för att minska långa masstransporter. Vilka styrke- och beständighetsegenskaper som efterfrågas beror på vilket eller vilka användningsområden man avser använda ballasten till. Ett material som är lämpligt för betong är inte nödvändigtvis lämpligt för andra användningsområden. Nedan redogörs kort för de olika parametrarna som i varierande grad är viktiga för att bergmaterialet ska vara lämpligt som ballastmaterial inom användningsområdena väg, järnväg och betong.

Kulkvarnsvärde och micro-Devalvärde – bergmaterials förmåga att motstå skavande nötning

Man kan mäta ett bergmaterials förmåga att motstå nötning med två olika metoder: kulkvarnsmetoden A_N, SS-EN 1097-9:2014 (Svensk Standard 2014) för asfaltbundna lager, och micro-Deval-metoden M_{DE}, SS-EN 1097-1:2011 (Svensk Standard 2011) för obundna lager, se figur 12. Det är framför allt bergmaterialets kornstorlek, kornstorleksfördelning, mineralsammansättning, kornfogarnas utseende och struktur som har inverkan på dess förmåga att motstå nötning, listat i ungefärlig ordning efter viktigaste parametrar.

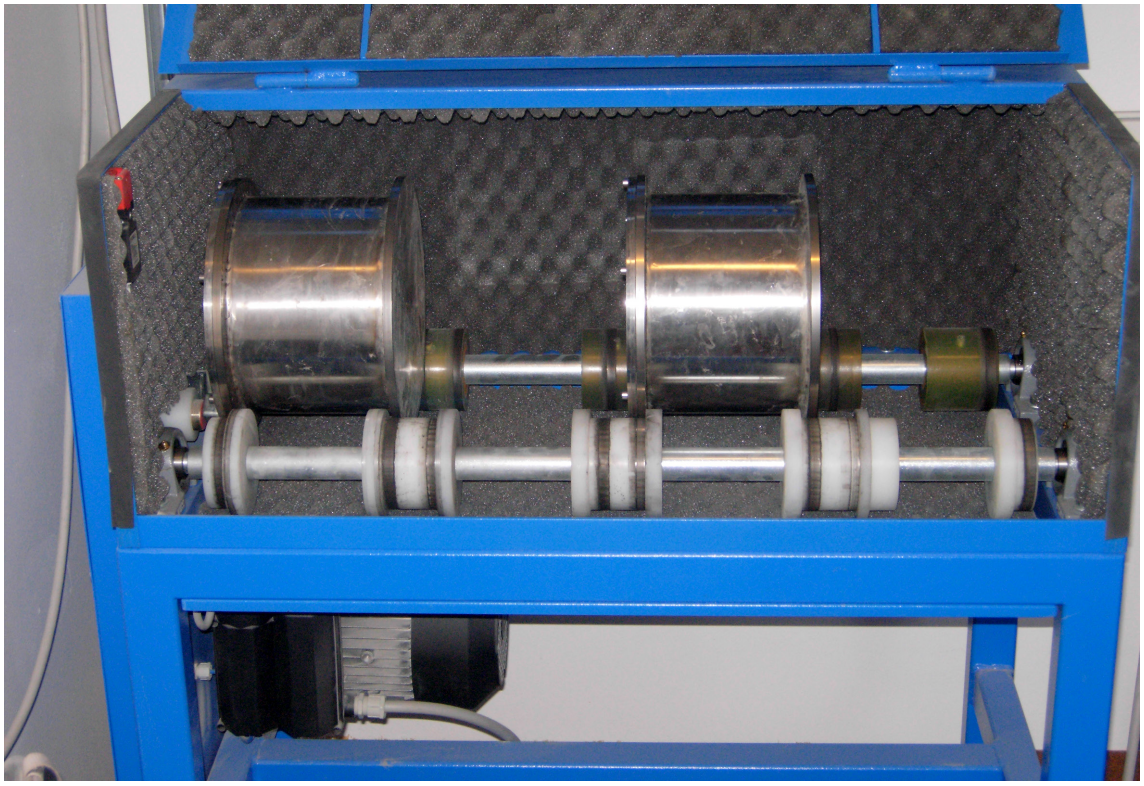
Kulkvarns- och micro-Devalvärden redovisas som den procentuella andel av den invägda provfraktionen (vanligen fraktionen 11,2/16 mm eller 10/14 mm) som efter nötning passerar en sikt på 2 respektive 1,6 mm. Om en liten andel av stenmaterialet nötts bort, fås ett lågt tal som alltså anger gott motstånd mot skavande nötning. Ett kulkvarnsvärde under 10 % innebär mycket god motståndskraft. För ordinärt granitiskt ballastmaterial är kulkvarnsvärdet cirka 8–14 %.

Inom analysområdet Mälardalen finns enbart ett fåtal analyser gjorda för micro-Deval. Detta har främst betydelse vid klassning av järnväg där man traditionellt sett enbart använder micro-Deval för bestämning av materialets förmåga att motstå nötning (tabell 2). Eftersom detta är en viktig parameter går det istället att använda kulkvarnsanalyser, som det finns gott om inom analysområdet, då dessa har visat sig korrelera bra med micro-Devalvärden, se figur 13. Gällande bergkvalitet för järnväg har vi därför inom detta projekt klassat bergmaterialens lämplighet avseende de krav som ställs på micro-Devalvärdet med hjälp av korrelationen med kulkvarnsvärdet enligt följande principer: klass 1–2 för kulkvarnsvärden mindre än 23 %, klass 3 för kulkvarnsvärden 23–32 %, och klass 4 för tillfällen där kulkvarnsvärden skulle överstiga 32 %.

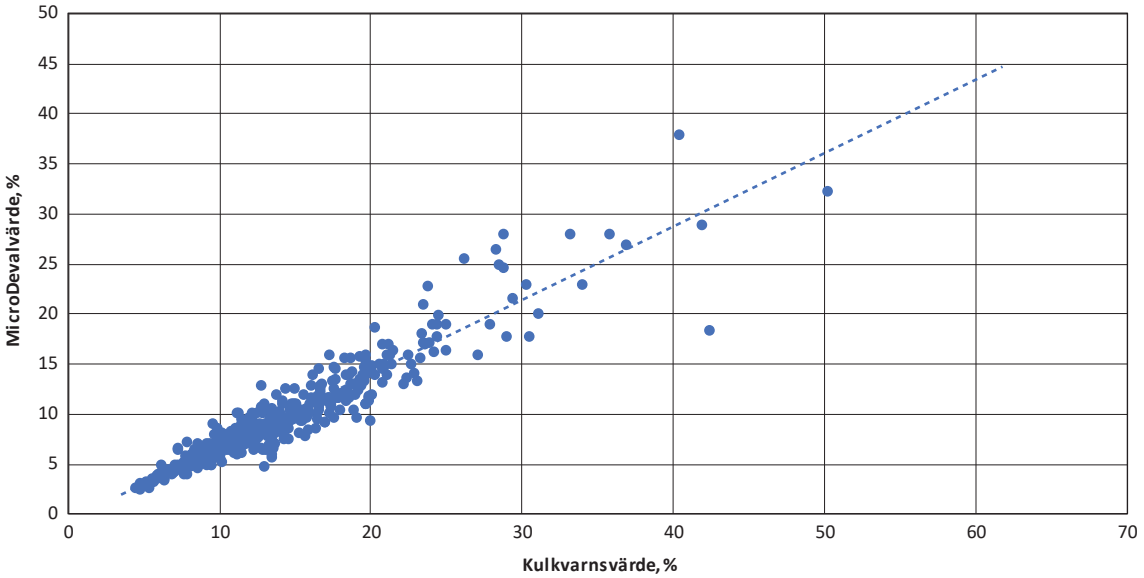
Los Angelesvärde – bergmaterials förmåga att motstå fragmentering

För att bedöma en bergarts sprödhet, eller förmåga att motstå fragmentering, provas bergmaterial med Los Angelesmetoden, LA, SS-EN 1097–2:2010 (Svensk Standard 2010), se figur 14. De viktigaste parametrarna som styr bergmaterialets sprödhet är desamma som för kulkvarnsvärde, men vanligen i en annan ordning och med en annan påverkningsgrad, nämligen först mineralsammansättning och sedan kornstorleksfördelning, kornfogning, och strökorn.

LA-apparaten utgörs av en stor trumma, med en inre diameter av 0,71 m, där provfraktionen för obundet vägmaterial är 10/14 mm. Provfraktionen är kravsatt av Trafikverket (Trafikverket 2015c) men används även som Europanorm. Motstånd mot fragmentering av ballast till järnväg ska redovisas för fraktion 31,5/50 mm (Trafikverket 2015b). I LA-trumman får provfraktionen rotera tillsammans med elva stålkulor under 500 varv. LA-värdet definieras



Figur 12. Micro-Devalapparat. Ett bergmaterials nötningsmotstånd mäts med micro-Devalmetoden. Bergmaterialet körs tillsammans med små stålkulor i roterande metallcylindrar. I och med att apparaten saknar lyftribbor är nednötningen av bergmaterialet mer skonsam i micro-Deval än i kulkvarnstrumman.
Foto: Mattias Göransson.



Figur 13. Korrelationen mellan kulkvarns- och micro-Devalvärde är mycket god (baserat på SGU data).

som den andel material som krossats ner till mindre än 1,6 mm av det ursprungliga, invägda provet. Ett lågt LA-värde anger att bergarten har ett gott motstånd mot fragmentering. För ordinärt granitiskt ballastmaterial är LA-värdet cirka 18–35 %.

Figur 14. Los Angelestrumman är försedd med en lyftribba. Bergmaterialet och stålkulorna lyfts tillsammans med hjälp av denna ribba upp till trummans topposition varefter materialet faller fritt till botten. De betydligt större stålkulorna krossar stenmaterialet mot trummans botten. LA-värdet definieras som den andel bergmaterial som slutligen krossats ner under 1,6 mm efter körning, uttryckt som viktprocent av analysprovet. Foto: Mattias Göransson.

Aktivitetsindex – ett mått på naturlig strålning

Allt bergmaterial innehåller små mängder av de naturligt radioaktiva ämnena kalium, uran (radium) och torium. Kalium finns naturligt i bergarter som innehåller kaliummineral såsom kalifältspat, biotit och muskovit. Halterna av uran och torium varierar i olika typer av bergarter på grund av deras olika bildningssätt och kemiska och mineralogiska sammansättning. Halter av uran i granitiska bergarter ligger vanligen mellan 1 och 10 ppm (gram per ton). Innehållet av torium är normalt högre med halter mellan 5 och 30 ppm (Jelinek & Eliasson 2015). Förhöjd strålning ses ofta i olika typer av yngre, senorogena graniter.

Förhöjda halter av radioaktiva ämnen i ett bergmaterial kan orsaka problem, dels på grund av för hög gammastrålning, dels genom en ökad radonavgång. Detta medför att det finns vissa restriktioner vid användning av bergmaterial med förhöjd strålningsnivå eller hög radonavgång till husbyggnadsändamål.

Innehållet av radioaktiva ämnen i ett bergmaterial kan anges med aktivitetsindex (AI), som också används som ett mått för ett byggnadsmaterials stråldos. Aktivitetsindex beräknas utifrån halterna av kalium, uran (radium) och torium. Enligt Strålskyddsförordningen (2018:506) är referensnivån för stråldos från byggnadsmaterial 1 mSv (millisievert) per år. Ett byggmaterial med aktivitetsindex 1 beräknas ge upphov till en stråldos på högst 1 mSv/år, förutsatt att samma material används i både golv, väggar och tak (Europeiska Kommissionen 1999).

Detta gäller det färdiga byggmaterialet (till exempel betong) och inte enskilda komponenter (till exempel ballast). Om aktivitetsindex för ett (färdigt) byggnadsmaterial är över 1 måste man räkna på vilken dos det kan ge i den färdiga byggnaden. Vid dosberäkningen tas bland annat hänsyn till i hur stor mängd materialet används, och vilken densitet och tjocklek det har. Ett europeiskt standardiseringsarbete pågår om hur aktivitetskoncentrationen av radium, uran och torium ska mätas i materialen och hur dosen ska beräknas. För att uppskattningar av dosnivå i färdig byggnad ska kunna göras ställer Strålskyddsförordningen krav på att den som säljer ett material som kan vara av betydelse ur strålskyddssynpunkt ska kunna uppge materialets halter av kalium, uran och torium.

Alkalisilikareaktivitet

För bergmaterial som är rika på kvarts finns det risk att det ska uppstå en kemisk reaktion på sikt om detta blandas in i betongen. Reaktionen kallas alkalisilikareaktivitet (ASR) och sker som ett resultat av att reaktiv kvarts från ballasten reagerar med den starkt alkalina porlösningen i betongen och därmed bildar en geléartad massa, så kallad alkalisilikagel (Lagerblad & Trägårdh 1995). Alkalisilikagelen kan i vissa fall expandera vilket innebär risk för att själva betongen spricker. Exempel på reaktiva varianter av kvarts och ogynnsamma texturer är i fallande skala: flinta, deformerad kvarts (till exempel eng. *ribbon quartz*), suturerade kornfogar och mikrokristallin kvarts. Problem med ASR uppstår endast när ballastmaterialet används för betong och främst då en betongkonstruktion placeras i en fuktutsatt miljö.

En tregradig indelning för förenklad okulär bedömning av risken för ASR utförd på tunnslip enligt RILEM AAR-1 (RILEM 2003) av RISE (*Research Institutes of Sweden*) lyder:

1. Berget är mycket osannolikt alkalisilikareaktivt.
2. Osäker eller potentiell risk finns.
3. Berget är mycket sannolikt alkalisilikareaktivt.

Kompletterande information om ASR finns i bilaga 1, Alkalisilikareaktivitet, ASR.

Sulfidmineral

Sulfidmineral förekommer, oftast i mindre mängder, i många bergarter. Det vanligast förekommande sulfidmineralet är pyrit (FeS_2) följt av magnetkis (även benämnt pyrrhotit, $Fe_{1-x}S$). Dessa två järnsulfider påträffas i flera olika magmatiska bergarter men företrädesvis i mörka bergarter såsom gabbro och kvartsdiorit. Pyrit och magnetkis kan också finnas i metamorfa bergarter, som till exempel amfibolit. Sedimentära bergarter som glimmerskiffer, glimmerrika sedimentgnejser och även vissa kalkstenar kan lokalt innehålla förhöjda halter pyrit och magnetkis.

I bergmaterial kan ett högt innehåll av sulfidmineral orsaka problem; dels vid användning av bergmaterialet som obunden ballast i väg- och järnvägsanläggningar, dels vid framställning av betong.

I samband med byggnation av vägar och järnvägar utnyttjas i så hög grad som möjligt bergmaterial i anläggningens produktionslinje. Bergmassorna som losshålls och krossas från bergskärningar lagras vanligen i tillfälliga upplag för att senare användas i projektet. Om ballasten innehåller sulfider kan dessa i kontakt med vatten och syre oxideras, varvid pH-värdet i lakvattnet 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. Trafikverket

(2015d) beskriver hur man ska hantera sulfidförande bergarter i väg- och järnvägsprojekt för att minimera miljöpåverkan. Vid till exempel lagring och användning av ballast med höga sulfidhalter bör tillgången på syresatt vatten minskas genom exempelvis övertäckning eller deponering under grundvattenytan.

Även vid framställning av betong kan bergballast som innehåller sulfidmineral orsaka problem. Sulfidmineral som pyrit och magnetkis oxiderar förhållandevis lätt till järnsulfat eller vattenhaltiga järnhydroxider. Järnsulfater kan under ogynnsamma förhållanden störa betongblandningens härdning och ge en volymökning som på sikt kan spräcka upp betongen. Dessutom kan vittrande sulfidmineral missfärga en betongkonstruktion. I *Ballast för betong* (Svensk Standard 2008) anges att speciella försiktighetsåtgärder krävs om magnetkis förekommer i ballasten. Om förekomsten av detta mineral är känd, ska den totala svavelhalten i ballasten inte överstiga 0,1 %.

Kornform, glimmermineral, reologi och arbetbarhet

En ballasts kornform avgörs dels av bergartstyp och dess textur, dels av själva krossprocessen. Om en ballastprodukts partiklar har en flisig kornform finns det risk att dessa kommer att fragmenteras vid senare belastningar. En betongblandning med flisiga korn kräver mer vatten och cement för att få bra flytegenskaper. Bergarter som tenderar att generera mycket flisiga eller stängliga aggregat bör därför undvikas. Bergmaterialets kornform, och även dess partikelsortering, är parametrar som har stor påverkan på ballastens fysikaliska egenskaper.

Exempel på bergarter som vid krossning ofta genererar partiklar med flisig kornform är skiffrar och vissa gnejser. Även bergarter med en hög halt av glimmermineral genererar vid krossning ofta en ballast med flisig kornform i finfraktionen.

Till betong kan man som ersättning till naturgrus använda så kallad helkrossad ballast vilket utgörs av krossat berg i alla fraktioner, även finfraktionen (0–8 mm).

Vid krossning kan glimmermineral som frigjorts från bergartsmaterialet åstadkomma problem när det används som en del av helkrossad ballast till betong på grund av sin mycket ogynnsamma, flisiga kornform (Lagerblad m.fl. 2008). För bergarter med en låg glimmerhalt, mindre än 10 %, anses glimmern inte utgöra en kritisk parameter till arbetbarheten för betong. För flera betongändamål, till exempel sprutbetong, är pumpbarhet och arbetbarhet viktiga egenskaper för betongmassan. Ett annat problem med glimmermineral är att de absorberar betydligt mer vatten än andra mineral vilket innebär problem vid frysgrader, särskilt om glimmerhalten varierar mycket i betongen, se mer i kommande avsnitt *Vattenabsorption.*

Plastisk viskositet är ett mått på materialets inre friktion och därmed ett uttryck för hur trögt ett bruk tillverkat av ballastmaterialet flyter när det väl är satt i rörelse. Betongens reologiska egenskaper är ett uttryck för dess arbetbarhet, pumpbarhet och flytbarhet. De reologiska egenskaperna hos betongen är därför viktig och utgör ett indirekt mått för ett bergmaterials lämplighet som råvara i en betong som kräver god arbetbarhet. De reologiska egenskaperna är beroende av hur hög rundningsgrad ballasten har, en högre rundningsgrad medför en god rörlighet partiklarna emellan.

Kompletterande information om reologiska egenskaper från bergmaterial från analysområdet finns i bilaga 2, Betongtester.

Vattenabsorption

Vattenabsorptionen ger ett mått på bergmaterialets öppna porositet, det vill säga porer som står i förbindelse med ballastkornens yta. Vattenabsorption definieras som massan av vatten som finns i ett vattenmättat bergartsprov, som en procentsats av dess initiala massa.

Bergmaterialens grad av vattenabsorption har betydelse för ballastens frostbeständighet. Vid anläggande av betongkonstruktion i vattenmiljö är betongballastens frostbeständighet kritisk. Om vattenabsorptionen för ett bergmaterial är lägre än 0,5 viktprocent anses ballasten vara frostbeständig (Trafikverket 2015b). Normalt klarar det svenska urberget detta. Porösa bergarter kan ha hög vattenabsorption, och även höga glimmerhalter kan höja vattenabsorptionen. Bergarter som kan vara frostkänsliga är till exempel skiffer, glimmerskiffer, fyllit, märgelsten, lerskiffer, porös flinta, omvandlad porös basalt, vissa konglomerat och breccior, porös sand- och kalksten samt vittrade bergarter. Dessa bergarter är dock inte vanliga i Mälardalen.

Leromvandlad eller vittrad berggrund

En vittrad berggrund innebär att delar av berggrundens beståndsdelar har omvandlats eller nerbrutits kemiskt eller mekaniskt. Kraftigt vittrad berggrund har dålig till mycket dålig beständighet och är olämplig för samtliga användningsområden. Vittrad berggrund förekommer vanligen inom mindre områden eller längs med sprickzoner i berggrunden.

Ett leromvandlat eller vittrat bergmaterial kan uppträda volyminstabilt. Med detta menas att materialet vid betonganvändning kan ge upphov till mekanisk avskalning, kraterbildning och krympning, vilket i sin tur kan leda till allvarliga konstruktionsskador (Lagerblad & Trägårdh 1995). Bergarter som vanligen kan ge upphov till volyminstabilitet är till exempel lerskiffrar, leromvandlad gråvacka och basalt. Dessa bergarter är dock inte vanliga inom analysområdet. Inom analysområdet Mälardalen är berggrunden vanligen inte nämnvärt utsatt för en kraftig vittring.

Kvartshalt

Av arbetsmiljöskäl, exempelvis silikosrisk, ska bergmaterialets kvartshalt redovisas, då bergmaterial med hög kvartshalt fordrar särskilda skyddsåtgärder (Trafikverket 2015b). Arbete med kvartsrika bergarter ska följa föreskriften AFS 2015:2 (Arbetsmiljöverket 2015). I regel kan man använda sig av en halvmask med P3-filter, eller väta materialen som håller höga halter av kvartsdamm för att undvika att dessa inandas.

BERGARTERNAS KVALITET I MÄLARDALEN – BESKRIVNING TILL KARTINFORMATIONEN

Nedan ges en kortfattad beskrivning av berggrundens lämplighet för de olika ändamålen väg, järnväg och betong samt översiktliga beskrivningar till kartinformationen för kartskikten *väg, järnväg* och *betong* inom analysområdet Mälardalen. Kartinformationen finns i SGUs Kartvisare Ballast (apps.sgu.se/kartvisare). Delar av kartskiktet *väg* finns redovisad i tidigare publikationer (Ripa m.fl. 2002, Lundin m.fl. 2007, Persson m.fl. 2007a, b, c, d). Beskrivningarna nedan omfattar generella trender samt mer specifika egenskaper för de bergarter som påträffas inom analysområdet Mälardalen. Bergarterna beskrivs utifrån de analyser och observationer som finns tillgängliga. Modaldata, till exempel andelen opaka mineral eller glimmerhalt, är angivna som volymprocent.

Vid framställning av bergkvalitetskartorna användes SGUs berggrundsgeologiska kartdata med beskrivningar, samt klassningsprinciperna i tabell 1–3. Fysikaliska mätningar är inte utförda på alla bergarter och variationer av dessa, och därför gjordes det även en viss generalisering för klassningen, beroende på typ av bergart. Klassningen av bergkvalitet måste ses som en modell av de bergkvalitetsdata som finns tillgängliga för närvarande. Modellen är därför inte statisk, utan kan komma att ändras med kompletterande data.

Berggrundens lämplighet för vägändamål

Om ett bergmaterial ska användas som vägmakadam är hållfasthet och kornform viktiga parametrar. Kraven på vägmakadam varierar beroende på vilket lager i vägkonstruktionen som materialet ska användas till. De högsta kraven sätts på slitlagerstenen för högtrafikerade vägar såsom motorvägar. Bergmaterialets motstånd mot däckens skavande nötning på vägbanan mäts genom kulkvarns- och micro-Devalvärdet (A_N och M_{DE}, se tidigare avsnitt *Bergarternas kvalitet – allmänna kriterier*) och dess motstånd mot sönderkrossning (fragmentering) genom Los Angelesvärdet (LA, se tidigare avsnitt *Bergarternas kvalitet – allmänna kriterier*). Bergmaterialet behöver på så sätt ha en hög grad av stabilitet och motstånd mot däckens skavande nötning på vägbanan, det vill säga ett lågt A_N-värde och lågt M_{DE}-värde, samt en god motståndskraft mot sönderkrossning, ett lågt LA-värde.

Ett bra bergmaterial som ska användas som vägmakadam och rangordnas som ett klass 1-material i SGUs klassificeringssystem, ska

- ha god motståndskraft mot skavande nötning vilket motsvarar ett lågt kulkvarnsvärde på < 10 %
- ha god motståndskraft mot fragmentering vilket motsvarar ett lågt LA-värde på < 30 %
- ha en måttlig glimmerhalt
- inte vara leromvandlat eller vittrat
- ha en god kornform, det vill säga inte vara stängligt eller flisigt.

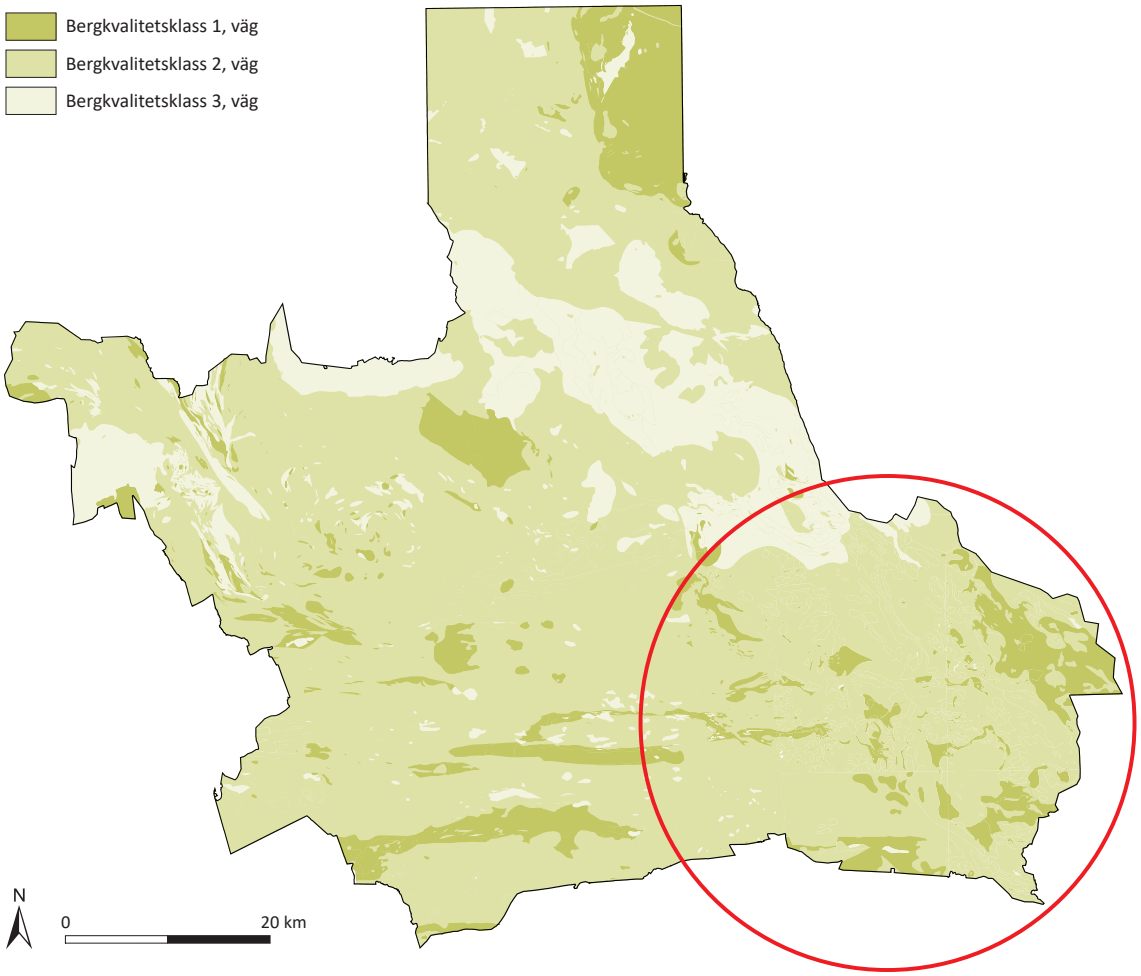
Mer information kring krav för vägmakadam finns i Trafikverkets kravdokument (Trafikverket 2015a, 2015c).

Bergkvalitet för väg är en komplettering till tidigare undersökning (Ripa m.fl. 2002, Lundin m.fl. 2007, Persson m.fl. 2007a, b, c, d) och utgör i detta projekt enbart ny klassning inom kommunen Strängnäs. Denna bergklassning har värderats i en fyrgradig skala enligt tabell 1. Indelningen har i huvudsak gjorts mot bakgrund av bergartstyp då det inom Strängnäs kommun endast finns mycket få tekniska analyser gjorda. I de fall där det inte föreligger tekniska analyser har klassningen gjorts på bakgrund av bergartstyp och analysresultat från liknande bergarter.

Beroende på bergartstyp eller generella egenskaper gjordes några generella klassningar för vägkartan. Diabas, sura vulkaniter och fin- till medelkorniga senorogena graniter bedömdes överlag tillhöra klass 1 för väg på grund av dessa bergmaterials mycket goda hållfasthet. Vulkaniterna har av klass 1-bergarterna de allra bästa kulkvarns- och LA-värdena. Vulkaniternas kvaliteter motsvarar i flera fall de idag högst ställda kraven för den specialsten som idag används som slitlagersten på motorvägarna. Amfibolit, kvartsarenit, gråvacka, diorit och gabbro samt tidigorogena granitoider blev överlag grupperade i klass 2 på grund av deras generellt sett goda hållfasthet. Glimmerskiffer–sedimentgnejs och pegmatit placerades i klass 3 på grund av höga glimmerhalter och dålig hållfasthet.

De generella klassningarna har i efterhand utretts med avseende på lokala avvikelser som bland annat kan orsakas av höga glimmerhalter eller andra avvikande tekniska analyser. I de fall lokala avvikelser har förekommit har klassningen anpassats därefter.

Inom Strängnäs kommun domineras berggrunden av tidigorogena granitoider, senorogen granit och sedimentära bergarter. Granitoiderna och de sedimentära bergarterna har mestadels klassats som klass 2 på grund av deras ofta lite sämre kulkvarnsvärden, 10–18 %. Senorogen granit har i huvudsak klassats som klass 1 eftersom kulkvarns- och LA-värden ofta är goda. Bergkvalitetsklassningen för vägändamål i Mälardalen ses i figur 15.



Figur 15. Kartskikt över analysområdet Mälardalen som visar bergkvalitetsklassning för väg. Inom detta projekt var det enbart Strängnäs kommun (markerad med röd ring) som analyserades. Övriga del av analysområdet representerar tidigare klassningar.

Nedan ges en förenklad översikt över användningsområden följt av resultatet av bergkvalitetsanalyserna för vägändamål inom analysområdet Mälardalen.

Klass 1. Bergkvalitet för väg.
Bergmaterialet bedöms kunna användas som ballast både i slitlager, massabeläggningar, bärlager och förstärkningslager.

I Strängnäs kommun domineras klass 1-bergartstyperna av de senorogena graniterna, diabaser och sura vulkaniter. Inom klass 1 förekommer det även mindre massiv av vulkaniska breccior med motsvarande egenskaper.

Klass 2. Bergkvalitet för väg.
Bergmaterialet bedöms företrädesvis kunna användas som ballast i massabeläggningar, bärlager och förstärkningslager.

I Strängnäs kommun domineras berggrunden av klass 2-material representerat av bergartstyperna kvartsarenit och välbevarad gråvacka, sedimentgnejs, amfibolit, diorit, gabbro, tidigorogena granitoider (granit–granodiorit–tonalit), och vissa senorogena graniter.

Klass 3. Bergkvalitet för väg.
Användning av bergmaterialet till ballast i slitlager och massabeläggningar bedöms vara starkt begränsat till obefintligt. Användning som ballast i bärlager och förstärkningslager är möjligt.

I Strängnäs kommun utgörs klass 3-bergmaterial av glimmerrik sedimentgnejs, sandsten och pegmatit och förekommer främst inom områdets norra och nordöstra del.

Klass 4. Bergkvalitet för väg.
Bergmaterialet lämpar sig inte som ballast för vägändamål.

Ingen berggrund har klassats som klass 4 inom Mälardalsområdet i detta projekt. Exempel på bergarter som kan falla inom klass 4 är glimmerskiffrar med mycket höga halter glimmer och kraftigt vittrad berggrund.

Berggrundens lämplighet för järnvägsändamål

För ett bergmaterial som ska användas som järnvägsmakadam är bland annat glimmerhalten väsentlig eftersom bergarter med höga glimmerhalter oftast genererar ballastkorn med olämplig kornform. Glimmermineral absorberar även betydligt mer vatten än andra mineral vilket gör bergarter med höga glimmerhalter känsliga vintertid om vattnet fryser till is. Andra viktiga egenskaper för järnvägsmakadam är god motståndskraft mot fragmentering (lågt LA-värde) samt en hög grad av stabilitet och motstånd mot skavande nötning (lågt M_{DE}-värde/ A_N-värde). Inom analysområdet Mälardalen finns enbart ett begränsat antal tekniska analyser för micro-Deval och därför gjordes klassningen avseende motstånd mot skavande nötning istället på bakgrund av modifierade kulkvarnsanalyser då dessa korrelerar bra mot micro-Deval, se figur 13.

Ett bra bergmaterial som ska användas för järnväg och rangordnas som ett klass 1-material i SGUs klassificeringssystem, ska

- ha en låg till måttlig glimmerhalt (< 10 %)
- ha ett gott motstånd mot fragmentering med LA-värde ≤ 20 % bestämd på fraktion 31,5/50 mm vilket motsvarar ungefär 25 % för fraktion 10/14 mm
- ha ett Micro-Devalvärde < 12 % bestämd på fraktion 31,5/50 mm vilket motsvarar ungefär 17 % för fraktion 10/14 mm
- inte vara leromvandlat eller vittrat
- ha en låg till måttlig vattenabsorption (< 0,5 viktprocent)
- ha en bra kornform, ej vara stänglig eller flisig (LT-index 3 ≤ 20 viktprocent, bestämd på fraktion 31,5/63 mm).

Se vidare i Trafikverkets BVDOK – Makadamballast för järnväg (Trafikverket 2015b).

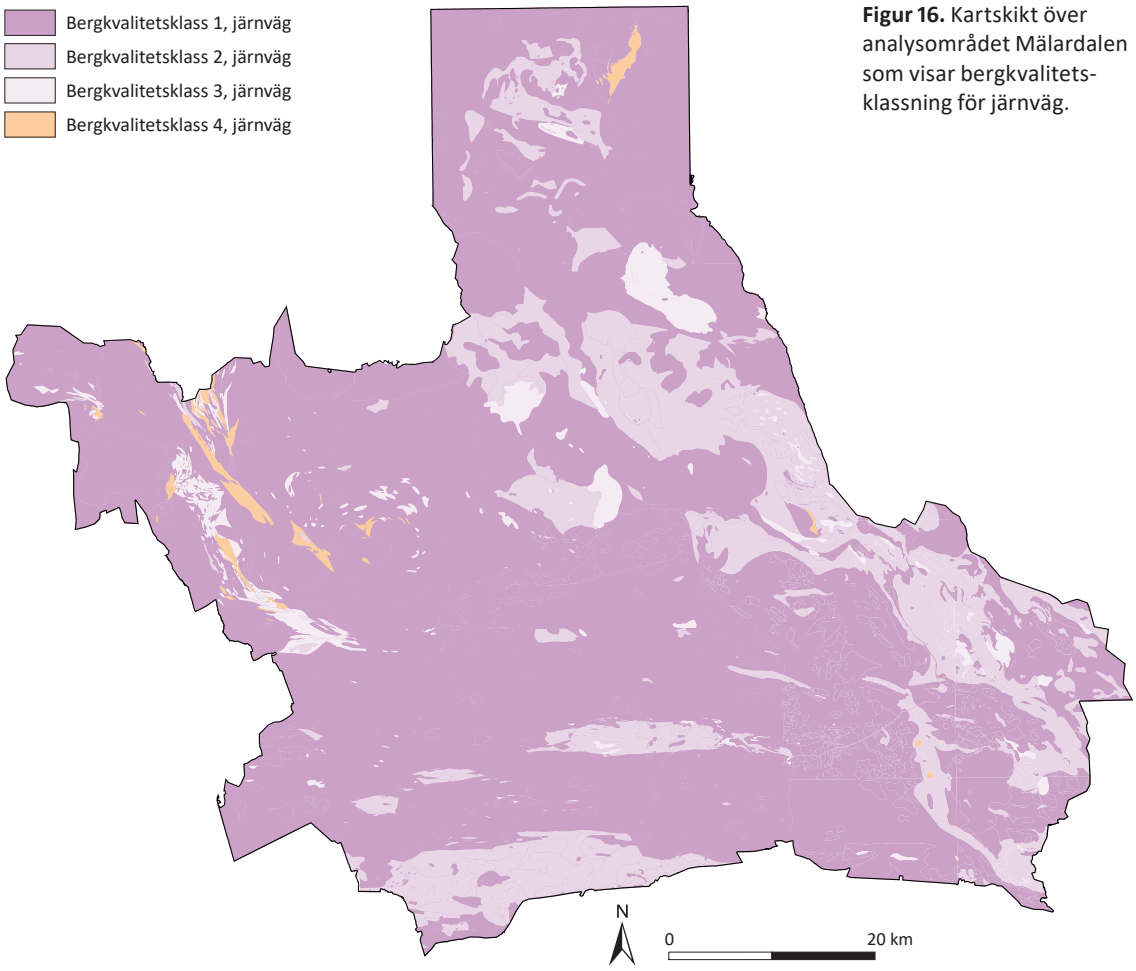
Bergkvalitet för järnväg har värderats i en fyrgradig skala enligt tabell 2. Indelningen har gjorts mot bakgrund av bergartstyp och tekniska analysresultat. I de fall där det inte föreligger tekniska analyser har klassningen gjorts på bakgrund av bergartstyp och analysresultat från liknande bergarter.

Beroende på bergartstyp eller generella egenskaper gjordes några generella klassningar för järnvägskartan. Gabbro till diorit, diabas, andesit till basalt samt amfibolit och vulkaniska breccior blev i en första genomgång överlag placerade i klass 1 för järnväg på grund av materialens höga hållfasthet. Dessa bergarter har dessutom vanligen en låg glimmerhalt. De basiska bergarterna förekommer oftast som mindre bergkroppar eller som gångbergarter med utbredning över hela analysområdet. Gråvacka, kvartsarenit och sandsten blev överlag

grupperade i klass 2. Dessa bergarter har generellt sett en god hållfasthet, men höga glimmerhalter kan förekomma lokalt och i dessa fall klassas bergmaterialet ned. Gråvacka, och i mindre grad kvartsarenit och sandsten, förekommer som breda stråk inom den nordöstliga delen av analysområdet samt i söder. Kristallin karbonatsten (marmor och dolomit) samt pegmatit blev överlag grupperade i klass 3. Dessa bergartstyper är oftast mer spröda och har en sämre hållfasthet. Båda bergarterna förekommer som isolerade kroppar med utbredning över hela analysområdet. Glimmerskiffer och sedimentgnejs blev överlag grupperade i klass 4 på grund av hög glimmerhalt och dålig kornform. Inom analysområdet förekommer dessa som mindre stråk eller mindre bergkroppar.

De generella klassningarna har i efterhand utretts med avseende på lokala avvikelser som bland annat kan orsakas av höga glimmerhalter eller andra avvikande tekniska analyser. I de fall lokala avvikelser har förekommit har klassningen anpassats därefter.

Berggrunden inom analysområdet domineras av tidigorogena granitoider och senorogen granit med en generellt god hållfasthet vilket speglas i de överlag låga värdena för LA och kulkvarn inom merparten av analysområdet. I den södra och västra delen förekommer stråk med sura vulkaniter, som även de oftast har god hållfasthet men lokalt kan ha förhöjda glimmerhalter. Breda stråk av sedimentära bergarter finns i de södra och nordöstra delarna av analysområdet, och merparten av dessa har klassats ner till klass 2 på grund av den sämre hållfastheten och oftast höga glimmerhalten. Bergkvalitetsklassningen för järnvägsändamål i analysområdet Mälardalen ses i figur 16.



Figur 16. Kartskikt över analysområdet Mälardalen som visar bergkvalitetsklassning för järnväg.

Nedan ges en förenklad översikt över användningsområden följt av resultatet från bergkvalitetsanalyserna för betongändamål inom analysområdet Mälardalen.

Klass 1. Bergkvalitet för järnväg.
Bergmaterialet bedöms lämpligt som makadamballast för användning i överbyggnad till järnväg och som frostisoleringslager och förstärkningslager för underbyggnaden.

En stor del av analysområdet Mälardalen har klassats som klass 1. Bergartstyperna som ingår i denna klassning domineras av tidigorogena granitoider (granit–granodiorit–tonalit), granitoid–syenitoid, sura vulkaniter (dacit–ryolit) samt basiska bergarter med låga LA- och kulkvarnsvärden samt glimmerhalter under 10 %. Enstaka sämre analysvärden inom vissa av dessa bergarter, till exempel förhöjda glimmerhalter, har tolkats som lokala variationer i berggrunden.

Klass 2. Bergkvalitet för järnväg.
Bergmaterialet lämpar sig som frostisoleringslager och förstärkningslager för underbyggnad samt i vissa fall även som makadamballast för överbyggnad. Osäkert om materialet lämpar sig för användning i överbyggnad till järnväg.

Merparten av bergartstyperna inom klass 2 i Mälardalen utgörs av sedimentära bergarter i form av gråvacka, kvartsarenit, sandsten och enstaka mer omvandlade sedimentgnejser, samt tidigorogena granitoider med något högre LA-värden. Glimmerhalterna i områdets vackor och kvartsareniter ligger vanligen mellan 10 och 20 %, med ett fåtal med lite högre halter.

Klass 3. Bergkvalitet för järnväg.
Bergmaterialet lämpar sig endast för användning som frostisoleringslager för järnväg.

Bergartstyperna tillhörande klass 3 i Mälardalen utgörs oftast av pegmatit och karbonatsten. Vissa bergartstyper inom grupperingarna tidigorogena granitoider (granit–granodiorit–tonalit) samt gråvacka har på grund av höga glimmerhalter på mer än 25 % klassats ned till klass 3. Inom berggrund som domineras av gråvacka eller kvartsarenit förekommer även inslag av glimmerskiffer som kan framvisa mycket höga glimmerhalter. I den nordvästliga delen av Eskilstuna kommun förekommer stråk med gnejs- och glimmerskifferomvandlade vackor där de gnejsomvandlade har klassats ner till klass 3 på grund av att dessa förmodligen kommer att generera en olämplig kornform.

Klass 4. Bergkvalitet för järnväg.
Bergmaterialet lämpar sig inte som ballast för järnväg.

Några få mindre bergartskroppar bestående av omvandlad glimmerskiffer och sedimentgnejs har klassats som klass 4. Båda dessa bergartstyper har mycket höga halter glimmer som utgör en risk för hög vattenabsorption och därav följande frostkänslighet samt flisig kornform som utgör en risk för fragmentering vid senare belastning. I Köpings kommun förekommer stråk med gnejs- och glimmerskifferomvandlad gråvacka där de glimmerskifferomvandlade varianterna har klassats ner till klass 4 på grund av höga glimmerhalter. I Salas kommun förekommer dolomit som även den har klassats ner på grund av dåligt motstånd mot fragmentering.

Berggrundens lämplighet för betongändamål

I en betongkonstruktion ställs höga krav på ballastens glimmerhalt och beständighet. Glimmermineral försämrar rörligheten i bruk och betongmassa samtidigt som glimmer dessutom absorberar betydligt mer vatten än andra mineral. Detta kan innebära problem, särskilt om glimmerhalten varierar kraftigt i bergmaterialet. Högstrålande bergmaterial med aktivitets-

index (AI) större än 1 rekommenderas inte att användas som ballast för husbetong, men går utmärkt att använda till exempelvis bro- eller tunnelbyggen där människor inte vistas mer än tillfälligt. Alkalisilikareaktiva bergmaterial är problematiska för betongändamål då de på sikt kan förorsaka en uppsprickning av betongkonstruktionen, särskilt om den är utsatt för fukt (till exempel brofundament). Hållfasthet är normalt av underordnad betydelse förutsatt att ballasten inte ska användas till exempelvis betongvägar. Ju fler av nedanstående kriterier som är uppfyllda desto högre kvalitet och fler användningsområden är möjliga för betongballasten. Alla kriterier behöver inte vara uppfyllda för vissa enklare betongsorter. Ett bra bergmaterial som ska användas för betong och rangordnas som ett klass 1-material i SGUs klassificeringssystem ska

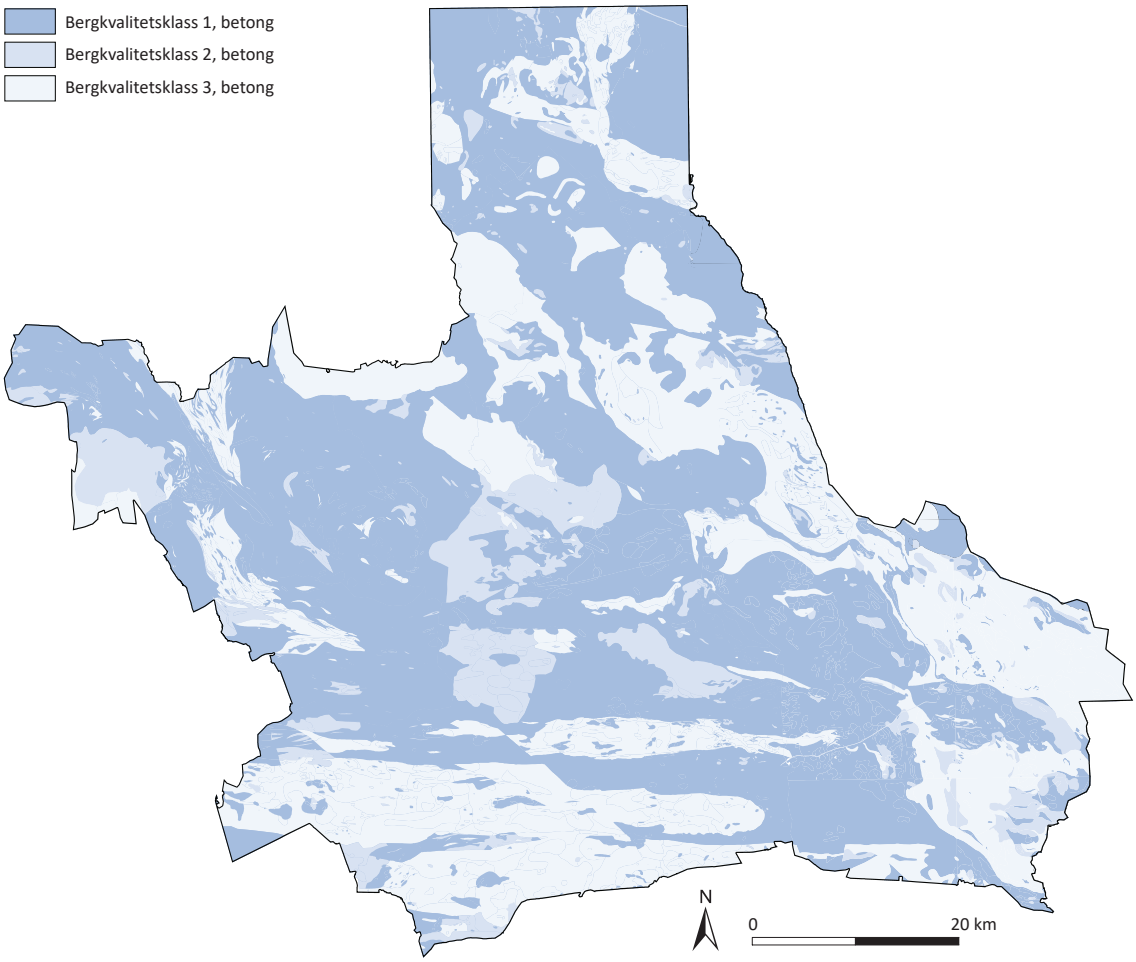
- ha en låg till måttlig glimmerhalt (< 10 %) för att generera en bra arbetbarhet
- uppvisa en låg totalstrålning (AI < 1)
- inte vara alkalisilikareaktivt (ASR < 2)
- inte innehålla sulfidmineral, det vill säga total svavelhalt ska inte överstiga 0,1 %*
- inte vara leromvandlat eller vittrat
- ha en låg till måttlig vattenabsorption (< 1 %)
- ha en god kornform, det vill säga inte stänglig eller flisig.

*Om bergmaterialet inte innehåller det instabila mineralet pyrrhotit kan man godta en total svavelhalt > 1,0 %.

Se vidare krav och rekommendationer i SS-EN 12620/A1:2008, Ballast för betong (Svensk Standard 2008).

Bergkvalitet för betong har värderats i en fyrgradig skala enligt tabell 3. Indelningen har gjorts mot bakgrund av bergartstyp och tekniska analyser. I de fall det inte funnits tekniska analyser har klassningen gjorts på bakgrund av bergartstyp och analysresultat från liknande bergarter.

Beroende på bergartstyp eller generella egenskaper gjordes några generella klassningar för betongkartan. Kristallin karbonatsten (marmor och dolomit), pegmatit, icke-högstrålande senorogen granit, och tidigorogena granitoider blev i första hand överlag bedömda att tillhöra klass 1 för betong på grund av deras oftast låga glimmerhalt samt låga strålning. Sandsten, kvartsarenit med underordnat glimmerskiffer, vulkaniska breccior, tonalit, tuffit samt basiska bergarter (diabas, gabbro till diorit, andesit till basalt, amfibolit) bedömdes generellt tillhöra klass 2 för betong. Sandsten och kvartsarenit kan vara alkalisilikareaktiva. De sedimentära bergarterna förekommer i huvudsak i södra delen samt som ett diagonalt stråk med en sydöst–nordvästlig riktning i den nordöstra delen av analysområdet. Vissa basiska bergarter kan vara svåra att blanda ut med cementen. Dessutom kan dessa bergarter vara leromvandlade eller sulfidförande. Basiska bergarter förekommer som mindre kroppar och gångar med spridning över hela analysområdet. Tonalit har ofta sämre reologiska egenskaper än granit. Dacit–ryolit, sedimentgnejs och gråvacka bedömdes överlag tillhöra klass 3 eftersom dessa bergarter oftast är alkalisilikareaktiva eller glimmerförande. De sura vulkaniterna förekommer som stråk främst i de södra, västra och norra delarna. Senorogen granit som förekommer som större bergkroppar i en nordväst–sydöstlig diagonal genom analysområdet ger ofta upphov till en högstrålande berggrund och har i dessa fall klassats ner till klass 2 eller 3. De generella klassningarna har i efterhand utretts med avseende på lokala avvikelser som bland annat kan orsakas av höga glimmerhalter eller andra avvikande tekniska analyser. I de fall lokala avvikelser har förekommit har klassningen anpassats därefter.



Figur 17. Kartskikt över analysområdet Mälardalen som visar bergkvalitetsklassning för betong.

Bergkvalitetsklassningen för betongändamål inom analysområdet Mälardalen visas i figur 17. Nedan ges en förenklad översikt över användningsområden, följt av resultatet av bergkvalitetsanalyserna för betongändamål inom analysområdet Mälardalen.

Klass 1. Bergkvalitet för betong.
Bergmaterialet bedöms kunna användas som ballast för de flesta betonganvändningsområden. Problem att uppnå en lika god kornform som naturgrus kan förekomma, vilket kan påverka arbetbarhet och pumpbarhet för betongmassan.

Stora delar av analysområdet Mälardalen har klassats som klass 1 eftersom berggrunden domineras av tidigorogena granitoider med låg glimmerhalt och strålning. Även kristallin karbonatsten (marmor och dolomit) som förekommer som mindre kroppar i områdets västra och norra delar bedöms ha goda egenskaper som ballast för betong.

Klass 2. Bergkvalitet för betong.
Bergmaterialet bedöms kunna användas som ballast för flera betonganvändningsområden. Materialegenskaperna gör att kraven eller rekommendationerna för vissa betonganvändningsområden (till exempel för husbetong på grund av något förhöjd strålning) kan vara svåra att uppnå.

Bergartstyperna inom klass 2 i Mälardalen utgörs av basiska bergarter (diabas, gabbro till diorit, amfibolit) med låga glimmerhalter, sandsten, kvartsarenit med underordnad glimmerskiffer, tonalit och vulkaniska breccior.

Klass 3. Bergkvalitet för betong.
För vissa användningsområden inom betong är en möjlig produktion starkt begränsad. Materialegenskaperna uppnår inte krav eller rekommendationer för ett eller flera betonganvändningsområden (till exempel husbetong på grund av AI större än 2 eller som ballast i fuktig betongmiljö på grund av ASR-värde på 3).

De sura vulkaniterna i södra, västra och norra delen av området bedöms tillhöra klass 3 då dessa bergarter oftast är alkalisilikareaktiva. Även stråket med sedimentära bergarter i nordöstra delen har klassats som klass 3 på grund av deras höga glimmerhalter. De högstrålande (AI > 2) senorogena graniterna som förekommer som stora bergkroppar inom de sydöstra och nordvästra delarna har också klassats som klass 3.

Klass 4. Bergkvalitet för betong.
Bergmaterialet lämpar sig inte som ballast för betong.

Inom analysområdet Mälardalen har ingen berggrund klassats som klass 4. Exempel på bergarter i klass 4 från andra områden i Sverige kan vara skiffer (särskilt alunskiffer), vittrade bergarter och kritkalksten med mycket flinta (Mortensen & Göransson 2018).

BERGTÄKTER INOM ANALYSOMRÅDET MÄLARDALEN

Bergtäkter för ballastmaterial kan delas in i fyra huvudgrupper: naturgrustäkter, bergtäkter och moräntäkter samt kombinationer av dessa råvaruslag. År 2018 var det registrerat 12 aktiva bergtäkter och 4 naturgrustäkter i Mälardalsområdet, se figur 18 och tabell 4 (data från SMP, Svenska MiljörapporteringsPortalen, oktober 2019). Inga utpräglade moräntäkter finns i regionen utan morän bryts bara i mindre skala. En generell trend i Sverige är att antalet täkter minskar men att produktionen inom varje täkt ökar. Nedan ges en schematisk förteckning över de aktiva bergtäkterna i Mälardalsområdet 2018, se tabell 4.

Bergtäkterna i Mälardalen producerade tillsammans 2,7 miljoner ton ballast och grustäkterna producerade uppskattningsvis 0,4 miljoner ton. Till detta kan man räkna restmaterial från dolomitförekomsten vid Tistbrottet och det entreprenadberg som uppstår vid diverse byggprojekt i regionen. I hela området bor cirka 360 000 invånare vilket innebär att den genomsnittliga konsumtionen är 8,6 ton per invånare och år. Detta är något lägre än det nationella genomsnittet på 9,7 ton per år men betydligt högre än genomsnittet för Stockholmsregionen. Mälardalen gränsar till Stockholm och exporterar troligen ballast till huvudstadsregionen.

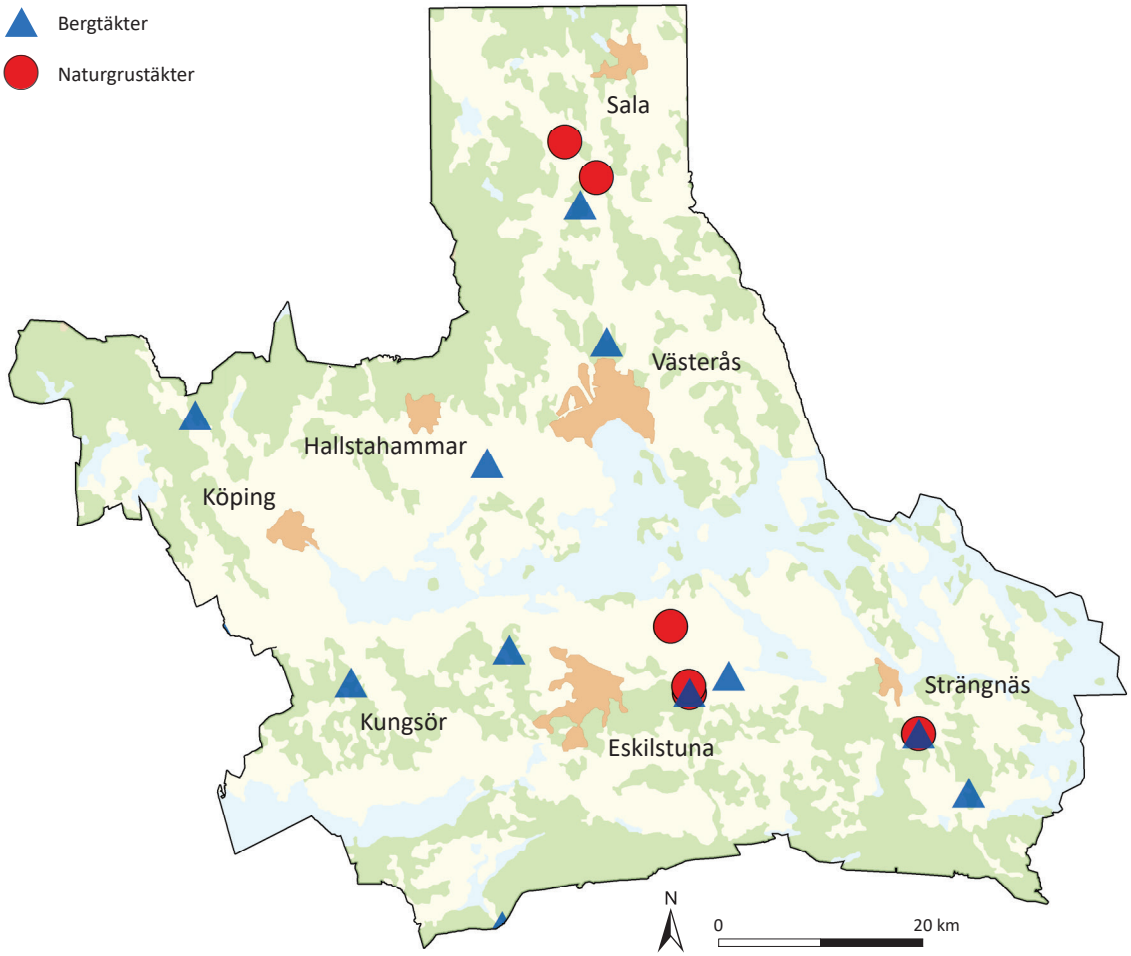
Ballastmaterialet i Mälardalen används i lite högre grad till väg- och betongändamål jämfört med vad ballast används till i hela Sverige, se tabell 5. Naturgruset används huvudsakligen till betongändamål. Asfaltsten med riktigt bra hållfasthet är i flera områden i Sverige en bristvara varför dessa råvaror på många platser importeras från grannlänen eller grannkommunerna. I flera täkter i Mälardalsregionen produceras specialsten som asfaltmakadam för användning i våra högtrafikerade vägar.

Tabell 4. Översikt över samtliga täkter i Mälardalsregionen (från SMP, Svenska MiljörapporteringsPortalen, åtkommen oktober 2019).

Kommun	Täktnamn	Operatör	Täkttyp	Bergmaterial
Eskilstuna	Balsta	Skanska	Berg	Paragnejs
Eskilstuna	Barva	Svevia AB	Berg	Granit
Eskilstuna	Gröndal	NCC	Berg	Diorit, syenit
Eskilstuna	Husby-Lundby	Arctic road AB	Berg	Vulkanit
Eskilstuna	Kjula-Blacksta Syd	NCC	Berg	Gnejsig granit
Kungsör	Nytorpsberget	Kungsörs Grus AB	Berg	Granit
Köping	Solberga	Svevia AB	Berg	Vulkanit
Strängnäs	Malmby	Sätertorps Grus AB	Berg, Naturgrus	Granit
Västerås	Broberget	Broberget bergtäkt AB	Berg, Morän	Gnejsig granodiorit
Västerås	Erikslund	Skanska	Berg	Ögonförande granit
Västerås	Gryta (även deponi?)	NCC	Berg	Paragnejs
Västerås	Vändle	Swerock AB	Berg	Granit
Eskilstuna	Jäders-Åsby	Jäders Grus & Betongprod. AB	Naturgrus	
Eskilstuna	Kjula-Blacksta Syd	NCC	Naturgrus	
Sala	Hebo	Myrbergs grus AB	Naturgrus	
Sala	Tomta Lånsta	Swerock AB	Naturgrus	

Tabell 5. Användningsområdena för ballastmaterial i Mälardalsregionen och i Sverige (Sveriges geologiska undersökning 2019).

	Väg	Betong	Fyllnadsmaterial	Övrigt
Mälardalen	63 %	17 %	15 %	5 %
Sverige	57 %	12 %	16 %	15 %



Figur 18. Aktiva bergtäkter i Mälardalen. År 2018 uppgick antalet bergtäkter (röd triangel) i produktion till tio stycken i Mälardalen. Antalet grustäkter (grön triangel) är fyra stycken och kombinerade täkter för både berg och morän var två stycken (beige triangel).

SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Berggrunden inom analysområdet Mälardalen domineras av tidigorogena granitoider, senorogena graniter, sedimentära bergarter och sura vulkaniter. Bergartstyper som gabbro, diabas, basalt, amfibolit, diorit, pegmatit, andesit, tuffit och breccia är alla underordnade och förekommer enbart som mindre kroppar, gångar eller sliror i området.

De tidigorogena granitoiderna i området har generellt sett en god hållfasthet, låg glimmerhalt och oftast låg strålning (AI), vilket i många fall gör dem lämpliga som ballastmaterial för främst betong men även för väg och järnväg. De senorogena graniterna i området är ibland högstrålande vilket gör dem mindre lämpade för vissa typer av betongballast, men på grund av deras ofta goda hållfasthet och låga glimmerhalt lämpar de sig i många fall bra för väg och järnväg. De sedimentära bergarterna inom analysområdet Mälardalen utgörs av sedimentgnejs, gråvacka eller gråvacka, sandsten och kristallin karbonatsten i olika varianter. Särskilt sedimentgnejsen, som i vissa områden består av glimmerskiffer, har oftast hög glimmerhalt, dålig hållfasthet och genererar oftast en ballast med dålig kornform vilket gör den mindre lämplig för alla tre huvudändamålen inom ballast. Gråvacka och sandsten framvisar ofta en god hållfasthet och kan, om de inte har för höga glimmerhalter, vara lämpliga som ballast för både väg-, järn-

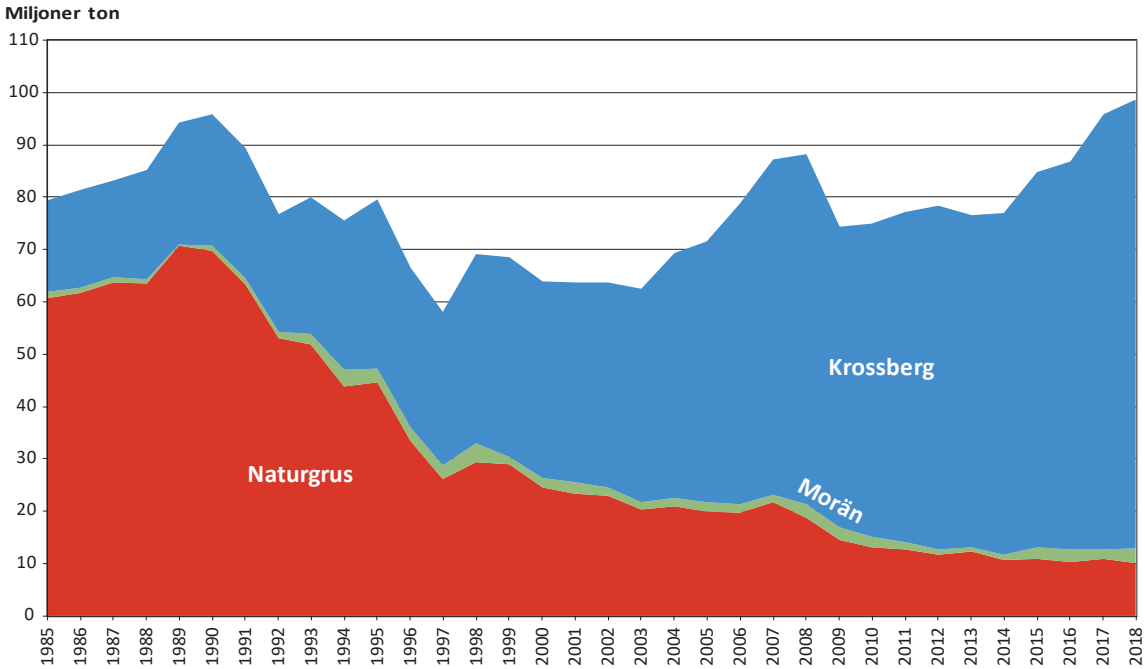
väg- och betongändamål, men oftast som klass 2. Kristallina karbonatstenar i varianterna marmor och dolomit kan ha en lite sämre hållfasthet vilket gör dem olämpliga som väg- och järnvägsmakadam, men däremot lämpar de sig oftast utmärkt för betongballast då de enklare uppnår samma goda kornform som naturgrus.

De sura vulkaniterna har oftast god hållfasthet och mycket bra kulkvarns- och LA-värden vilket gör att de motsvarar de högst ställda kraven för vägballast för motorvägar. För betongballast lämpar sig dessa bergartstyper dock oftast mindre bra på grund av risk för hög alkalisilikareaktivitet.

En ökad befolkningstillväxt kräver byggnation av nya bostäder och infrastruktur som i sin tur kräver god tillgänglighet till lämplig berggrund inom närområdet. För bästa möjliga materialförsörjning krävs god kunskap och geologiska underlag om berggrundens beskaffenhet gällande bergkvalitet. Bergkvalitetskartan och dess beskrivning är en modell för att beskriva den lokala till den regionala berggrundens lämplighet för olika ballaständamål.

Samhällets mål för minskning av användandet av naturgrus innebär att produktion och användande av ersättningsmaterial behöver öka. Krossat berg från bergtäkter fungerar i de flesta fall utmärkt som ersättningsmaterial för naturgruset. I Mälardalsområdet finns idag flera bergtäkter som producerar ersättningsmaterial till naturgruset i samband med betongproduktion. Den bedömning som SGU gjort är att förekomsterna av krossat berg för betong är goda i regionen och med den närhet som föreligger till Stockholm kan man på sikt troligen även delvis försörja den regionen. I takt med att tätortsregionerna växer ökar även de motstående intressena till bergmaterialverksamheter, varför export och import av dessa material kan bli vanligt i framtiden. Flera lågstrålande graniter och gnejser i regionen har visat sig vara lämpliga för produktion av betongballast. Ett ökat användande av ersättningsmaterial för naturgrus kommer innebära en ökad produktion av ballastmaterial, se figur 19.

Med de goda förekomsterna av asfaltsten som förekommer i regionen, exempelvis dacit och ryolit samt finkorniga eller ojämnkorniga graniter, finns det även goda exportmöjligheter



Figur 19. Ballastproduktion 1985–2018 (Sveriges geologiska undersökning 2019).

av slitlagersten till grannområdena samt goda förutsättningar för att klara av den egna försörjningen. Flera bergarter i området, särskilt finkornig senorogen granit och tidigorogena granitoider samt diabas och gabbro, bedöms som mycket lämpliga för produktion av järnvägsmakadamballast. I analysområdet Mälardalen är det framförallt bergarter som glimmerrika sedimentgnejser och grovkristallina granitoider som har svårt att möta de materialegenskaper som krävs för diverse ballastprodukter. Dessa bergarter har vanligen klassats ner och kan då mest användas som obundna vägmaterial, fyllnadsmassor för järnvägsvallar eller endast för vissa betongändamål. Materialen är fortfarande användbara då dessa produkter utgör stora volymer av det totala byggandet.

God kunskap och dokumentation av råmaterialet (berggrunden) ger bra förutsättningar för en effektiv och hållbar samhällsplanering med ständigt minskad användning av naturgruset och minskning av långa masstransporter. För ett hållbart samhällsbyggande med minskade transporter och optimerat uttag av bergmaterial fungerar bergkvalitetskartan som underlag för en effektiv framtida användning av berggrunden för ändamålen väg, järnväg och betong.

Bergkvalitetsmodellen för analysområdet Mälardalen är inte en statisk modell och kan komma att ändras om nya provtagningar eller utforskning av berggrunden tillkommer. De tekniska analyserna som användes inom detta projekt kommer från provtagningar av enskilda bergarter och representerar därför inte nödvändigtvis de variationer som förekommer i de ofta heterogena bergarterna. Olika variationer representerade av exempelvis mineralsammansättning, kornstorleksfördelning, kornform och kornfogar, sprickzoner samt vittringsgrad kan förekomma inom samma bergart vilket inte speglas i enstaka provresultat. Kompletterande detaljundersökningar kommer därför alltid att vara nödvändiga vid prospektering och planering av uttag för berg.

REFERENSER

Arbetsmiljöverket, 2015: Kvarts – stendamm i arbetsmiljön (AFS 2015:2). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter, AFS 2015:2,* 21 s.

Arnbom, J-O., 1999: Beskrivning till berggrundskartan 11G Västerås SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 204,* 46 s.

Curtis, P., Wahlgren, C-H., Bergman, S., Antal Lundin, I., Mellqvist C., Luth, S., Olsson, S., 2018: 3D-modell över litotektoniska enheter och regionala deformationszoner i Sveriges berggrund. *SGU-rapport 2018:05.* Sveriges geologiska undersökning, 56 s.

Europeiska Kommissionen, 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.

Golubeva, M., Lagerblad, B. & Cirera, J., 2014: Reologiundersökningar av krossbergsmaterial från Mälardalen. *Uppdragsrapport 4P00384.* CBI Betonginstitutet AB, 31 s.

Grånäs, K., Göransson, M., Thorsbrink, M. & Wåhlén, H., 2013: Underlag till materialförsörjningsplan för Uppsala län. *SGU-rapport 2013:19.* Sveriges geologiska undersökning, 107 s.

Jelinek, C. & Eliasson, T., 2015: Strålning från bergmaterial. *SGU-rapport 2015:34.* Sveriges geologiska undersökning, 26 s.

Lagerblad, B. & Trägårdh, J., 1995: Ballast för betong – egenskaper, karaktärisering, beständighet och provningsmetoder. *CBI-rapport 1995:4.* CBI Betonginstitutet, 78 s.

Lagerblad, B., Westerholm, M. & Fjällberg, L., 2008: Bergkrossmaterial som ballast i betong. *CBI-rapport 2008:1.* CBI Betonginstitutet, 121 s.

Lundegårdh, P.H., 1974: Beskrivning till berggrundskartan Eskilstuna NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 111,* 75 s.

Lundegårdh, P.H., 1983: Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 139,* 58 s.

Lundegårdh, P.H. & Nisca, D., 1978: Beskrivning till berggrundskartan och geofysiska kartorna Västerås SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 122,* 60 s.

Lundin, I.A., Göransson, M., Persson, L. & Reginiussen, H., 2007: Beskrivning till bergkvalitetskartan Eskilstuna kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 71,* 20 s.

Lundqvist, J., Lundqvist, T., Lindström, M., Calner, M. & Sivhed, U., 2011: *Sveriges geologi från urtid till nutid.* Upplaga 3:1. Studentlitteratur AB, Lund, 628 s.

Mortensen, G.M. & Göransson, M., 2018: Bergkvalitet Skåne – beskrivning till bergkvalitetskartor över delar av Söderåsen, Kristianstadsområdet, Linderödsåsen och Romeleåsen. *Sveriges geologiska undersökning K 623,* 49 s.

Persson, L., Lundin, I.A., Göransson, M., & Sträng, M., 2007a: Beskrivning till bergkvalitetskartan Hallstahammars kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 72,* 12 s.

Persson, L., Göransson, M. & Kübler, L., 2007b: Beskrivning till bergkvalitetskartan Köpings kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 73,* 12 s.

Persson, L., Göransson, M., Kübler, L. & Sträng, M., 2007c: Beskrivning till bergkvalitetskartan Kungsörs kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 74,* 12 s.

Persson, L., Lundin, I.A., Göransson, M. & Hildebrand, L., 2007d: Beskrivning till bergkvalitetskartan Västerås kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 75,* 16 s.

Persson, L., Lundin, I.A. & Reginiussen, H., 2010: Beskrivning till berggrundskartan Eskilstuna kommun. Sveriges geologiska undersökning K 275, 43 s.

Pousette, J., Müllern C-F. & Engqvist, P., 1984: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Södermanlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 7,* 75 s.

RILEM, 2000: A – TC 106-2 – Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – The ultra-accelerated mortar bar test. *Materials and Structures 33,* 283–289.

RILEM, 2003: AAR-1 – Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method. *Materials and Structures 36,* 480–496.

Ripa, M., Kübler, L., Persson, L. & Göransson, M., 2002: Beskrivning till berggrundskartan och bergkvalitetskartan 11G Västerås NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 217,* 74 s.

Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C-H., Persson, P-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58,* 259 s.

Stockholms läns landsting, 2018: RUFS 2050. Regional utvecklingsplan för Stockholmsregionen – Europas mest attraktiva storstadsregion. *Rapport 2018:10,* 248 s.

Stålhös, G., 1976: Beskrivning till berggrundskartan Enköping SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 118,* 45 s.

Stålhös, G., 1982: Beskrivning till berggrundskartan Strängnäs SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 142,* 96 s.

Stålhös, G., 1984: Beskrivning till berggrundskartorna Strängnäs NV och NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 144 och 145,* 96 s.

Svensk Standard, 2008: SS-EN 12620/A1:2008 – Ballast för betong. Swedish Standards Institute, 64 s.

Svensk Standard, 2010: SS-EN 1097-2:2010 – Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 2: Metoder för bestämning av motstånd mot fragmentering. Swedish Standards Institute, 44 s.

Svensk Standard, 2011: SS-EN 1097-1:2011 – Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval). Swedish Standards Institute, 24 s.

Svensk Standard, 2014: SS-EN 1097-9:2014 – Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 9: Bestämning av motstånd mot nötning av dubbdäck. Swedish Standards Institute, 24 s.

Sveriges geologiska undersökning, 2019: Grus, sand och krossberg 2018. *Periodiska publikationer 2019:3.* Sveriges geologiska undersökning, 40 s.

Trafikverket, 2015a: Krav – Bitumenbundna lager. *TDOK 2013:0529, Version 2.0,* 130 s.

Trafikverket, 2015b: BVS 585.52 – Makadamballast för järnväg. *TDOK 2014:0759, Version 1.0,* 23 s.

Trafikverket, 2015c: Krav – Obundna lager för vägkonstruktioner. *TDOK 2013:0530, Version 2.0,* 80 s.

Trafikverket, 2015d: Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter. *Rapport 2015:057,* 51 s.

BILAGA 1. ALKALISILIKAREAKTIVITET, ASR

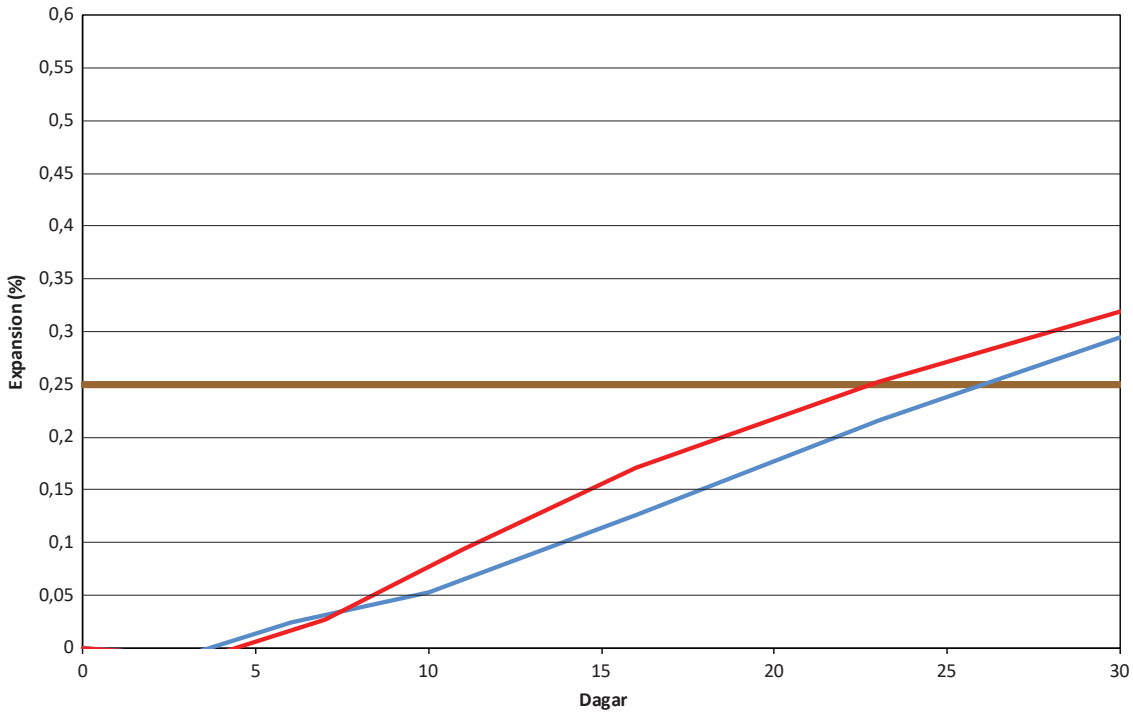
SGU har låtit analysera cirka 2 000 prover i Sverige med avseende på bergarternas alkalisilika-reaktivitet, RILEM AAR 1 - ASR. Alkalisilikareaktiviteten är avgörande för hur lämplig ett bergartsmaterial är att använda i en fuktutsatt betongkonstruktionsmiljö. En tregradig indelning för förenklad okulär bedömning av risken för alkalisilikareaktivitet (ASR) utförd på tunnslip enligt RILEM AAR-1 (RILEM 2003) av RISE lyder:

1) Berget är mycket osannolikt alkalisilikareaktivt
2) osäker eller potentiell risk finns, samt
3) berget är mycket sannolikt alkalisilikareaktivt.

I Sverige är det följande bergartsgrupper som traditionellt har bedömts vara potentiellt alkalisilika-reaktiva: deformerade bergarter (exempelvis så kallade kataklasiter och myloniter), vulkaniter (vanligen dacit–ryolit), granitoider (granit–granodiorit–tonalit), ortognejs, gråvackor och sedimentgnejs samt kvartsit och sandsten.

I Mälardalens län har cirka 80 prover analyserats enligt metod RILEM AAR-1. Cirka 7 % av dessa prover har bedömts vara potentiellt alkalisilikareaktiva, ASR = 3. Av dessa prover är det huvudsakligen de vulkaniska bergarterna som har kategoriserats som alkalisilikareaktiva. Framförallt är det vulkaniter med ryolitisk eller dacitisk mineralsammansättning som bedömts som alkalisilikareaktiva. Även ett fåtal deformerade, finkorniga graniter och en mylonit har bedömts som olämpliga att användas som ballast i fuktutsatta betongkonstruktioner.

För de bergarter som enligt RILEM AAR-1 bedöms vara alkalisilikareaktiva (ASR = 3) rekommenderas att man genomför det mer avancerade och noggrannare testet, RILEM AAR-2 (RILEM 2000). SGU har låtit utföra försök enligt RILEM AAR-2 på två bergarter i Mälardalen (fig. 20), en analys per bergart. De analyserade bergarterna är ett vulkanitprov med



Figur 20. Expansionsförsök enligt RILEM AAR-2 av två bergarter som bedömts vara alkalisilikareaktiva har utförts; en deformerad granit (röd linje) och en dacit (blå linje). Bägge dessa provmaterial är alkalisilikareaktiva och bör hanteras med försiktighet om man ska bygga betongkonstruktioner som ska placeras i en fuktig utomhusmiljö.

dacitisk (sur) sammansättning och ett prov av en deformerad granit. RILEM AAR-2 är att betrakta som en fullskalemetod, en metod för att mäta ett betongbruks egenskaper (bruksreologi) att motstå en alkalisilikareaktiv miljö. Båda bergartsproverna överskred toleransen för ett bruksprismas längdutvidgning efter att proverna hade lagrats under 30 dagar i 1,0 molar (M) natriumhydroxidlösning vid temperatur 80 °C. Resultaten för dessa prover överensstämmer med de resultat som SGU erhöll för sura vulkaniska bergarter (dacit–ryolit) i Upplands län (Grånäs m.fl. 2013). Sura vulkaniska bergarter är oftast alkalisilikareaktiva och måste hanteras med försiktighet i samband med betongkonstruktioner som anläggs i utomhusmiljöer.

En preliminär bedömning av de resultat som erhållits är att man inte utan vidare undersökningar kan rekommendera sådana bergarter för betongkonstruktioner i fuktig miljö utomhus, alternativt blandar upp ett sådant material med ett icke alkalisilikareaktivt material.

BILAGA 2. BETONGTESTER

Material och metoder

RISE har på uppdrag av Sveriges geologiska undersökning (SGU) utvärderat tio olika krossbergsmaterial från Mälardalen för att undersöka hur dessa lämpar sig som ballast för betong (Golubeva m.fl. 2014). Ballasten i undersökningen togs fram genom krossning av bergfragment från olika bergarter i Mälardalen. Studien fokuserade på de fina kornfraktionerna (upp till 2 mm) eftersom dessa partiklar är svårare att åtgärda vid olämplig flisighet. Bruken som undersöktes tillverkades av ballast, cement och vatten enligt recept i Uppdragsrapport 4P00384 (Golubeva m.fl. 2014).

Analys av ballastmaterialen

En petrografisk analys gjordes för att undersöka mineralogi och kornform i ballastmaterialen. Partiklar i storleksordningen från 0,125 mm till 0,25 mm undersöktes med genomfallande ljus, och mindre partiklar mellan 0,063 mm och 0,125 mm analyserades med svepelektronmikroskopi (SEM). Vidare mättes flödestal och hålrumsvolym på fraktionerna 0,125/0,25 mm och 0,5/1,0 mm. Flödestal är den tid i sekunder det tar för en given mängd sandmaterial att rinna igenom en tratt och är ett mått på kornformen; sfäriska partiklar rinner lättare och snabbare igenom tratten än vad flisiga partiklar gör. Hålrumsvolymen är även den ett mått på materialets kornform eftersom mer asymmetriska (flisiga) korn packar sig sämre och ger en större hålrumsvolym. Den petrografiska analysen, tillsammans med flödestal och hålrumsvolym, användes för att förklara de reologiska egenskaper som uppmättes i bruken.

Analys av bruken

Brukens reologiska egenskaper analyserades med hjälp av en viskometer och en reometer. Genom dessa undersökningar kunde flytgränsspänning och plastisk viskositet beräknas. Flytgränsspänningen är ett mått på den spänning som måste överskridas i ett material innan det kan börja flyta, och den plastiska viskositeten beskriver hur trögt materialet flyter när det väl är satt i rörelse. Ett material med hög viskositet flyter långsammare än ett material med låg viskositet, och viskositeten påverkas av bland annat partiklarnas kornform och packningsförmåga. Utifrån resultaten av bruksanalyserna klassades de olika ballastmaterialens lämplighet för betong i fyra klasser, där klass l är det bästa.

Resultat

Av de olika undersökningsmetodikerna ovan är själva analysen av bruken den som är mest lik ett fullskaleförsök varför resultaten från den är det som anges här. Bruksreologiförsöken kan förenklat delas in i fyra grupper, se figur 21.

Klass I: Inom detta område återfinns vanligtvis naturgrus och alternativa ballastmaterial med närliggande egenskaper. Alternativa ballastmaterial som faller inom detta område har goda möjligheter att ersätta naturgrus utan att vatten- och cementbehovet ökar signifikant. Naturgrus med lågt vatten- och cementbehov faller inom viskositet = 1–2 Pa s och flytgränsspänning = 100–150 Pa.

Klass II: Inom detta område återfinns bra alternativa ballastmaterial från krossat berg. Ballastmaterialen har ett något större vatten- och cementbehov och kommer vid användning som

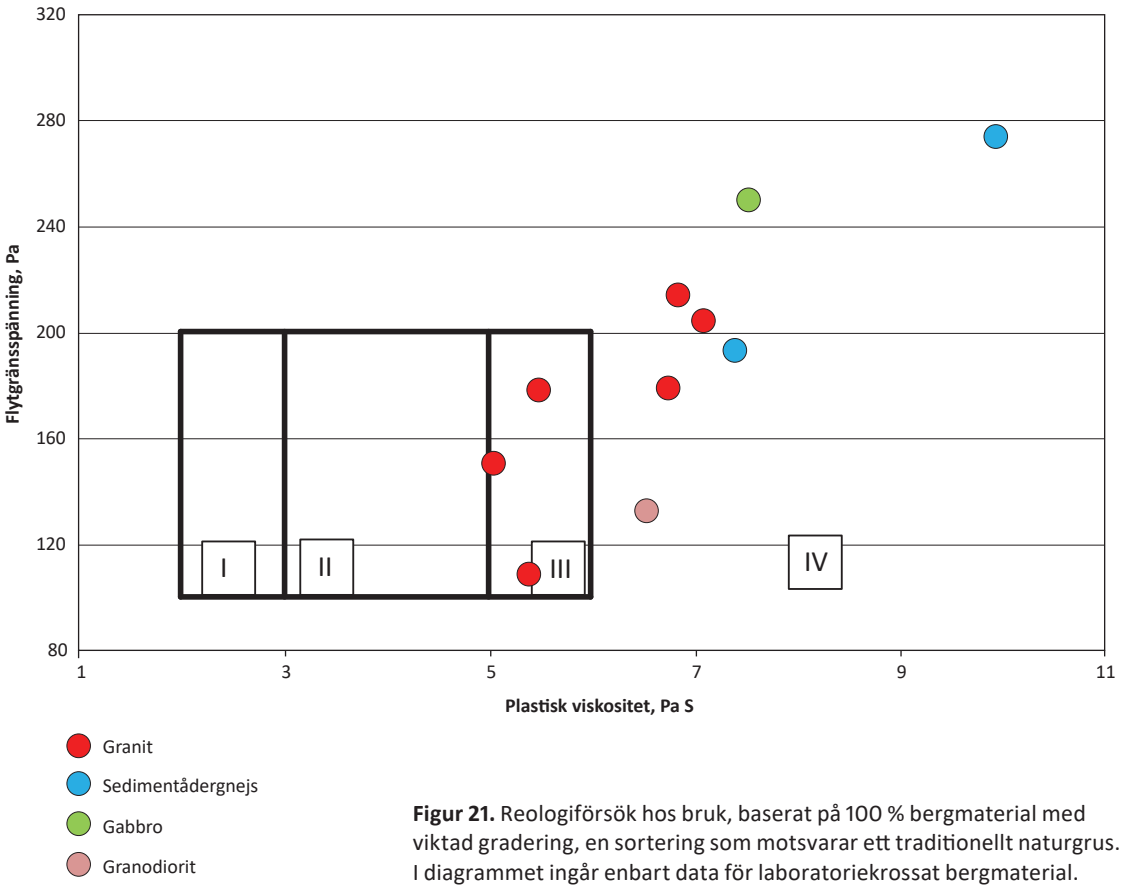
betongballast att ge betong med högre viskositet och sämre arbetbarhet än om man använder naturballast. De utgör dock ett användbart alternativ till naturgrus.

Klass III: Ballastmaterial vars reologi faller inom detta område har ett relativt större vatten- och cementbehov vid användning som betongballast. Betongen blir något mera viskös och svårbearbetad. Med hjälp av superplasticerare kan man dock relativt enkelt tillverka betong.

Klass IV: Ballastmaterial vars reologiska resultat faller utanför klass I, II och III, kräver en större cementhalt samt tillsatsmedel om materialet ska användas till betong. Ballastmaterial i denna kategori måste utvärderas för att få fram orsakssammanhang och åtgärder för förbättring.

Tre prover har reologiska egenskaper som är tillräckliga för att fungera som betongballast. Dessa prover utgörs av bergarter med en granitisk sammansättning, både homogena graniter och granitiska gnejser. Gemensamt för dessa tre bergartsmaterial är att de alla har en låg glimmerhalt och att de alla har den lägsta densiteten av alla proverna, 2,62 g/cm^3, samt den högsta SiO_2-halten, 77–80 %. Dessa bergartsmaterial ligger inom klass III vilket indikerar att dessa material har ett något större vatten- och cementbehov vid användning som betongballast. Bergartsmaterial som används som betongballast kan fungera bra men också resultera i att en betong blir mer svårbearbetad och mer viskös än om den har ett ordinärt naturgrusmaterial.

De bergartsmaterial som erhåller de sämre reologiska egenskaperna, klass IV, är paragnejser, gråvackor, basiska bergarter och gnejsiga tonaliter.



Figur 21. Reologiförsök hos bruk, baserat på 100 % bergmaterial med viktad gradering, en sortering som motsvarar ett traditionellt naturgrus. I diagrammet ingår enbart data för laboratoriekrossat bergmaterial.