

K 755

Beskrivning till
**Bergkvalitetskartan
för betong i delar av
Västra Götaland**

Mattias Göransson & Paula Lindgren



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-89421-68-4

Omslagsbild: Berghäll med en lågstrålande och glimmerfattig röd Marydsgranit i Västra Götalandsregionen. Bergarten är lämplig som ersättningsmaterial till naturgrus för betonganvändning.

Fotograf: Ulf Bergström.

Författare: Mattias Göransson & Paula Lindgren

Granskad av: Sven Lundqvist

Ansvarig enhetschef: Ola Hallberg

Redaktör: Johan Sporrang

Utgivningsår: 2024

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning	4
Samhällets behov av betong	5
Tidigare bergkvalitetsundersökningar i projektområdet.....	6
Sammanfattande metodik bergkvalitetskarta	7
Analysmetoder och resultat	8
Allmänna kriterier för bergkvalitet betong.....	8
Betongtekniska analyser	10
Glimmermineral.....	11
Sulfidmineral.....	11
Alkalisilikareaktivitet (ASR)	11
Reologi	14
Plastisk viskositet.....	14
Flytgränsspänning.....	14
Resultat av bruksreologiförsöken.....	14
Berggrundens strålningsegenskaper.....	16
Resultat av berggrundens strålning	17
Petrografisk analys.....	18
Glimmermineral.....	18
Sulfidmineral.....	21
Geologi	22
Geologisk översikt.....	22
Beskrivning av bergartsgrupper	23
Bohusgraniten.....	23
RA-graniten.....	24
Stora Le-Marstrandsformationen.....	25
Myloniter.....	26
Sandstenar och kvartsiter	27
Gnejsiga graniter till tonaliter (Idefjordenterrängen)	28
Granitiska till tonalitiska gnejser (Östra segmentet).....	29
Basiska bergarter.....	30
Bergkvalitetsklassning.....	31
Bergkvalitetskartan – beskrivning av klassningen	32
Klass 1. Bergkvalitet för betong.....	32
Klass 2. Bergkvalitet för betong.....	32
Klass 3. Bergkvalitet för betong.....	32
Klass 4. Bergkvalitet för betong	33
Råvaruförsörjning till betong – tips på vidare läsning.....	33
Referenser	34

INLEDNING

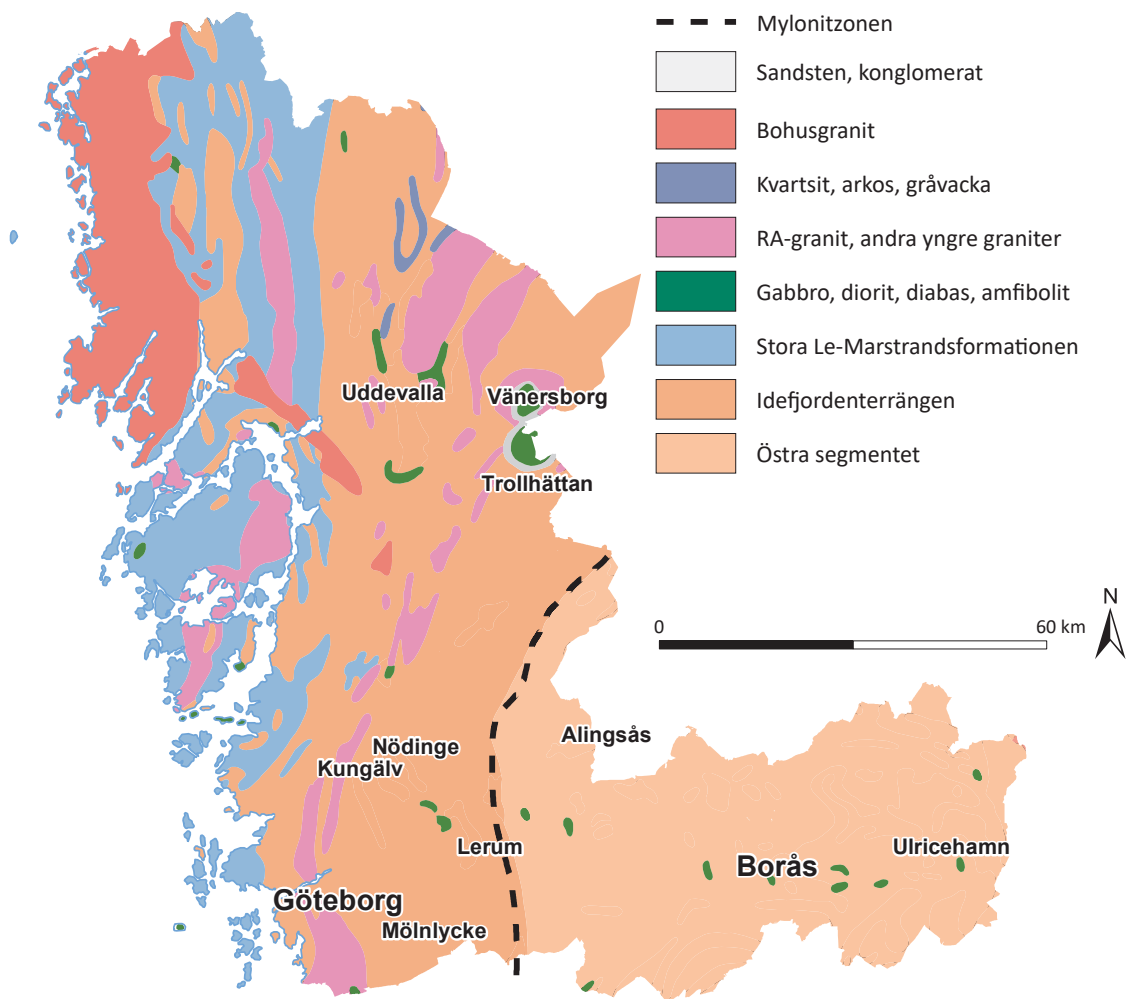
Denna rapport är en beskrivning till bergkvalitetskartan för betong i delar av Västra Götalands län, nämligen kommunerna Göteborg, Bollebygd, Borås, Ulricehamn, Alingsås, Ale, Lilla Edet, Trollhättan, Vänersborg, Stenungssund, Kungälv, Sotenäs, Partille, Tjörn, Lysekil, Munkedal, Färgelanda och Öckerö. En bergkvalitetskarta för betong är en tematisk produkt som visar berggrundens lämplighet som ballast till betongändamål. Den kompletterar Sveriges geologiska undersöknings (SGU) berggrundskarta och tas fram i skala 1:50 000. För att kunna göra en bergkvalitetskarta är därför en berggrundskarta i samma skala ett nödvändigt underlag. Mer information om var i Sverige lämpliga berggrundskartor är framtagna finns i SGU:s interaktiva kartvisare *Berggrund 1:50 000–1:250 000*, som kan nås via webbplatsen www.sgu.se.

Utöver berggrundskartan har befintliga betongtekniska analyser, modaldata och strålningsdata från SGU:s databaser legat till grund för framställningen av bergkvalitetskartan för betong i det aktuella området. Kartan och den här beskrivningen är således en ny produkt skapad genom bearbetning och tolkning av tidigare framtagen geologisk och betongteknisk information i området.

Projektområdets utbredning utgör en sammanhängande landyta på cirka 10 000 km² och ligger i sydvästra Sverige. Området karakteriseras av bergarter som är knutna till den svekonorvegiska bergskedjebildningen vilken ägde rum för cirka 0,9–1,1 miljarder år sedan (Bingen m.fl. 2021). Området har genomgått en komplex geologisk utveckling och domineras av två större, äldre separata berggrundsenheter; Idefjordenterrängen och Östra segmentet. Bergarter som glimmerrika ytbergartsgnejser, gnejsiga graniter till tonaliter och kraftigt omvandlade gnejser förekommer inom båda dessa bergartsenheter. Efter bergskedjebildningen har bergarter som granit, pegmatit och diabas intruderat den äldre berggrunden. Bohusgraniten är den största och yngsta förekomsten. Idefjordenterrängen och Östra segmentet är separerade av Mylonitzonen som är en storskalig deformationszon (fig. 1).

Bergkvalitetskartan för betong i delar av Västra Götaland med tillhörande beskrivning har tagits fram med gemensamma medel i ett samverkansprojekt mellan SGU och Vattenavdelningen på Länsstyrelsen i Västra Götaland. Projektet startade under 2023 och slutfördes under 2024. Syftet med projektet var att inom området ta fram berggrundens lämplighet som ballast till betongändamål, och därmed dess användbarhet som ett alternativt material till traditionellt naturgrus i betong. Hälften av allt naturgrus som utvinns i Sverige används i dag till betongballast. Naturgrusavlagringar har dock stor betydelse som dricksvattenresurs och för rening av ytvatten genom infiltration. De har även ofta stora natur- och kulturvärden och bör bevaras i så hög grad som möjligt (Sveriges miljömål, MB 9 kap. 6 §). Att använda krossat berg som ett alternativ till naturgrus är därför ett mycket mer hållbart sätt att framställa betongballast på.

Bergkvalitetskartan för betong i delar av Västra Götaland med tillhörande beskrivning blir ett viktigt stöd för materialförsörjningsplanering i länet, ett verktyg för att hitta ersättningsmaterial till naturgrus. Den kan användas av både tillståndsgivande myndigheter och branschen vid exempelvis nyetablering av bergtäkter som levererar betongballast. Bergkvalitetskartan kommer också att kunna underlätta för Trafikverket vid massbalans i stora infrastrukturprojekt. Dessutom blir den ett viktigt underlag för SGU i dialog med omvärlden och ger oss ytterligare kunskap inför framtida råvaruförsörjning.



Figur 1. Geologisk översiktskarta (1:1 miljon) över projektområdet.

SAMHÄLLET'S BEHOV AV BETONG

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 2022 till cirka 96 miljoner ton. Av dessa 96 miljoner ton används cirka 11,6 miljoner ton till betongballast varje år. Naturgruset utgör i sin tur cirka 3,3 miljoner ton av betongballasten (SGU 2022). Följaktligen utgör naturgrus i dag fortfarande 29 % av den totala materialanvändningen i betongtillverkningen där den största andelen utgörs av rundade sandfraktioner, exempelvis 0/4 och 0/8 mm.

Behoven av betong förväntas öka i hela världen fram till 2050 och då som mest i storstadsområden, vid stora infrastrukturprojekt och vid nyetablering av vindkraft (Mortensen m.fl. 2022). Enligt Energimyndigheten är det nationella utbyggnadsbehovet för vindkraften uppskattningsvis 100 TWh, något som ska ha uppnåtts före 2040 (Energimyndigheten 2021). För att uppnå detta krävs det att upp mot 7 400 nya vindkraftsverk byggs. För att bygga sådana verk krävs det upp mot 5,5 miljoner ton betong vilket motsvarar cirka halva Sveriges årsproduktion av betongballast. Samma stora materialbehov har de flesta större byggkonstruktioner såsom vattenkraftsdammar, kärnkraftsanläggningar och broar. Dessa anläggningar kräver ofta stora mängder ballast på kort tid.

I ett globalt perspektiv är grus- och sandbristen en av århundradets största utmaningar (UNEP 2019, UNEP 2022). I flera delar av världen konsumeras naturgrus och sand, inte minst flodsand, i en allt för hög hastighet vilket innebär att den årliga påfyllnaden av sådan sand inte räcker till för framtida bruk. Utöver cirkulär materialanvändning med återanvändning av äldre ballastmaterial, är det viktigt för samhällen att identifiera alternativa råmaterialstillgångar för betongtillverkning. De mest lämpade alternativa materialen till naturgrus är olika typer av bergarter som med de rätta tillverkningsprocesserna kan erbjuda lämpliga råvaror för olika betongändamål.

TIDIGARE BERGKVALITETSUNDERSÖKNINGAR I PROJEKTOMRÅDET

Västra Götalandsregionen innehåller flera större tätorter och därför har SGU tidigare utfört en hel del undersökningar av berggrundens lämplighet för olika ändamål (tabell 1). Framför allt har det varit berggrundens egenskaper för vägändamål som har varit betydelsefullt att undersöka – inte minst eftersom 53 % av all ballastanvändning i Västra Götalands län används till vägändamål. I dessa arbeten har en bergkvalitetskarta för vägändamål tagits fram. Samtidigt finns en del viktig information om berggrunden i tidigare rapporter som kan användas för att kunna utvärdera lämpligheten för betong. Detsamma gäller för traditionella berggrundskartor och beskrivningar till dessa (tabell 2).

Tabell 1. Tidigare undersökningar av bergkvalitet för vägändamål i Västra Götalandsregionen. Samtliga kartor och beskrivningar finns tillgängliga via SGU:s webbtjänst GeoLagret (www.sgu.se).

År	Rapportnummer	Beskrivningar till bergkvalitetskartor i Västra Götalandsområdet
2000	Ba 59 Bkv	Bergkvalitetskarta över Göteborgs kommun
2007	K 67	Beskrivning till bergkvalitetskartan Mölndals kommun
2007	K 68	Beskrivning till bergkvalitetskartan Alingsås kommun
2007	K 70	Beskrivning till bergkvalitetskartan Uddevalla och Stenungsunds kommuner
2008	K 94	Beskrivning till bergkvalitetskartan Partille och Lerums kommuner
2008	K 95	Beskrivning till bergkvalitetskartan Härryda och Bollebygd's kommuner
2008	K 96	Beskrivning till bergkvalitetskartan Kungsbacka och Varbergs kommuner
2008	K 133	Beskrivning till bergkvalitetskartan Borås kommun
2015	SGU-rapport 2015:18	Projekt Götalandsbanan. Geologiska data mellan Göteborg och Jönköping del I: Göteborg–Borås
2018	K 610	Beskrivning till bergkvalitetskartan Kungälv
2018	K 611	Beskrivning till bergkvalitetskartan Onsala

Tabell 2. Tidigare undersökningar av berggrunden i Västra Götalandsregionen. Samtliga kartor och beskrivningar finns tillgängliga via SGU:s webbtjänst GeoLagret (www.sgu.se).

År	Rapportnummer	Beskrivningar till berggrundskartor i Västra Götalandsområdet
1977	Af 117	Berggrundskartan 7B Göteborg SO
1978	Af 124	Berggrundskartan 6B Kungsbacka NO
1981	Af 130	Berggrundskartan 7C Borås SV
1982	Af 136	Berggrundskartan 7B Göteborg NO
1983	Af 143	Berggrundskartan 7C Borås SO
1985	Af 146	Berggrundskartan 7A Marstrand NO/7B Göteborg NV
1987	Af 156	Berggrundskartan 8B Vänersborg NO
1988	Af 159	Berggrundskartan 7D Ulricehamn SV
1988	Af 160	Berggrundskartan 8B Vänersborg SO
1990	Af 173	Berggrundskartan 8A Lysekil SO/8B Vänersborg SV
1994	Af 178	Berggrundskartan 7D Ulricehamn SO
1994	Af 187	Berggrundskartan 6B Kungsbacka SO

SAMMANFATTANDE METODIK BERGKVALITETSKARTA

SGU:s bergkvalitetskarta är ett översiktligt underlag för materialförsörjningsplaneringen i en region. Den är ett första steg att utgå från för att leta upp områden där berggrunden är mer eller mindre lämplig för produktion av ballast. SGU har tagit fram bergkvalitetskarter i olika delar av Sverige för att visa berggrundens användbarhet till ballast för (i) väg, (ii) järnväg och (iii) betong, se SGU:s kartvisare *Ballast* (www.sgu.se). De olika användningsområdena, väg, järnväg och betong, ställer olika krav på berggrundens egenskaper. Berggrunden på en given plats kan exempelvis vara lämplig som ballast till väg, men samtidigt olämplig som ballast till betong. För ballast till vägändamål är det i första hand krav på bergets hållfasthetsegenskaper som är avgörande, till skillnad från ballast för betongändamål där främst bergmaterialets strålning och kemiska reaktivitet ska följa vissa rekommendationer eller krav. I detta projekt har en bergkvalitetskarta för betong med tillhörande beskrivning tagits fram i delar av Västra Götaland.

Bergkvalitetskartan för betong tas fram med utgångspunkt i den berggrundsgeologiska kartan. Den befintliga geologiska informationen används som underlag och sedan tillkommer ytterligare provtagning med avseende på teknisk kvalitet, naturlig bakgrundsstrålning, samt mineralogiska och geokemiska egenskaper. Därefter görs en sammantagen bedömning och klassning av berggrundens kvalitet med avseende på användningsområde, i detta fall betongändamål. Berggrunden delas in i fyra olika kvalitetsklasser: Klass 1. Mycket god. Klass 2. God. Klass 3. Mindre god och Klass 4. Dålig. Se vidare i avsnittet *Bergkvalitetsklassning*, sidan 31.

I projektområdet för den aktuella bergkvalitetskartan för betong har prover samlats in för betongtekniska analyser och geokemi. Dessutom har tunnslip framställts av provmaterialet. Petrografisk analys och modalanalys som visar mineralfördelningen har sedan utförts på tunnslip. Studier har gjorts av bland annat kornstorlek, kornstorleksvariation, korngränser och mikrosprickor. Mikroskopering av opaka mineral har också utförts, framför allt för att dokumentera förekomsten av sulfidmineral. Genom ytterligare mikroskopering av tunnslipen har det också gjorts en uppskattning av potentiell risk för alkalisilikareaktivitet (ASR). Se vidare i avsnittet *Analysmetoder och resultat*, sidan 8.

För ballast som ska användas till husbyggnadsbetong gäller dessutom att bergets innehåll av naturligt radioaktiva ämnen ska vara låga och därmed kontrolleras. Detta innebär att strålning är av betydelse vid klassning av bergmaterial för betong. Ska betongen inte användas till husbyggnad eller andra ändamål som kan utsätta personer för exponering, har strålningen mindre betydelse. För att identifiera områden med förhöjda halter av naturligt radioaktiva ämnen har gammastrålningsmätningar inte bara utförts vid provlokaler utan också på lämpliga berghällar över hela projektområdet. Resultaten av strålningsmätningarna kommer i form av halterna av kalium, uran och torium, samt de beräknade referensmåttens aktivitetsindex och radiumindex, vilka finns redovisade i SGU:s databaser. En del öppna data finns även tillgänglig via SGU:s kartvisare *Gammastrålning uran, torium och kalium*. Kartvisarna nås via www.sgu.se. Se vidare i avsnittet *Berggrundens strålningsegenskaper*, sidan 16.

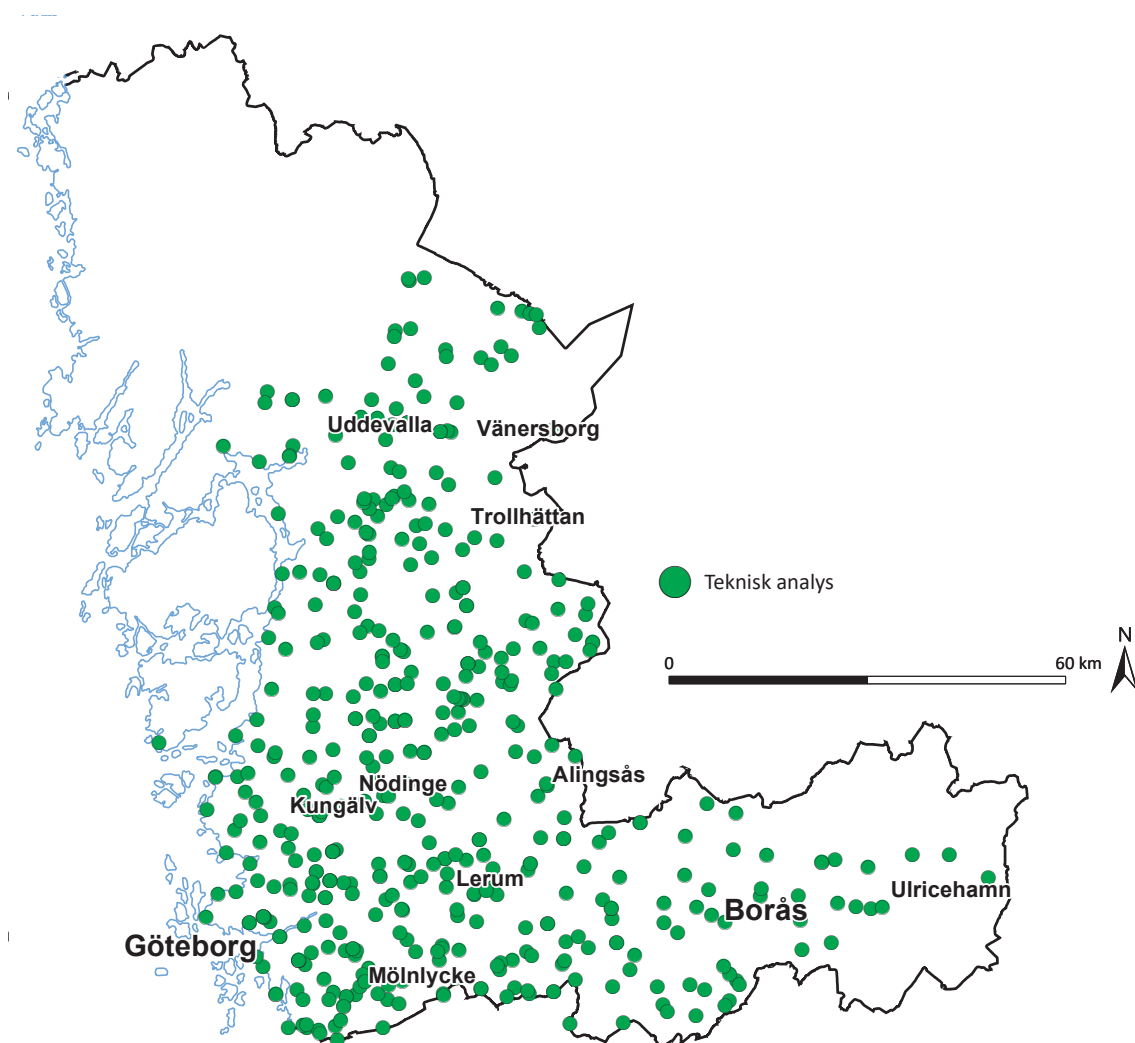
Bergkvalitetskartan för betong sammanställs slutligen med utgångspunkt från de berggrundsgeologiska fältobservationerna, de betongtekniska och petrografiska analyserna samt strålningsmätningarna. SGU:s befintliga berggrundskarter och geofysiska kartor används också vid framtagandet av bergkvalitetskartan. SGU:s geofysiska kartor, som bland annat visar magnetfältet samt berggrundens elektriska ledningsförmåga (VLF), används tillsammans med Lantmäteriets nationella höjddatamodell (LiDAR) för att identifiera och tolka berggrundens strukturer och svaghetszoner. Utifrån dessa underlag, och de olika kriterier som kan ställas på bergarternas egenskaper, görs sedan en ytmässig generalisering av bergkvaliteten med en tolkning av berggrundens lämplighet som ballast till betongändamål.

ANALYSMETODER OCH RESULTAT

Allmänna kriterier för bergkvalitet betong

De viktigaste parametrarna för en ballastproducent är bergmaterialets kvalitet och en strategisk lokalisering av tåkten för att minska långa transporter till avnämarna. Vilka styrke- och beständighetsegenskaper som efterfrågas beror på vilket eller vilka användningsområden ballasten avses användas 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 användningsområdet betong.

Totalt har 461 prover för tekniska analyser tagits inom projektområdet (fig. 2). Det är 813 petrografiska analyser (fig. 3) som har utförts för bedömning av glimmerhalt, sulfidinhåll och eventuellt alkalisilikareaktivitet, och 2072 geokemiska analyser (fig. 4). Berget som provtagits är representativt för provlokalen och ej vittrat, sprängskadat eller onormalt uppsprucket. Samtliga bergprover har tagits på platser där tillräckligt med lossprängd sten eller friska blott-

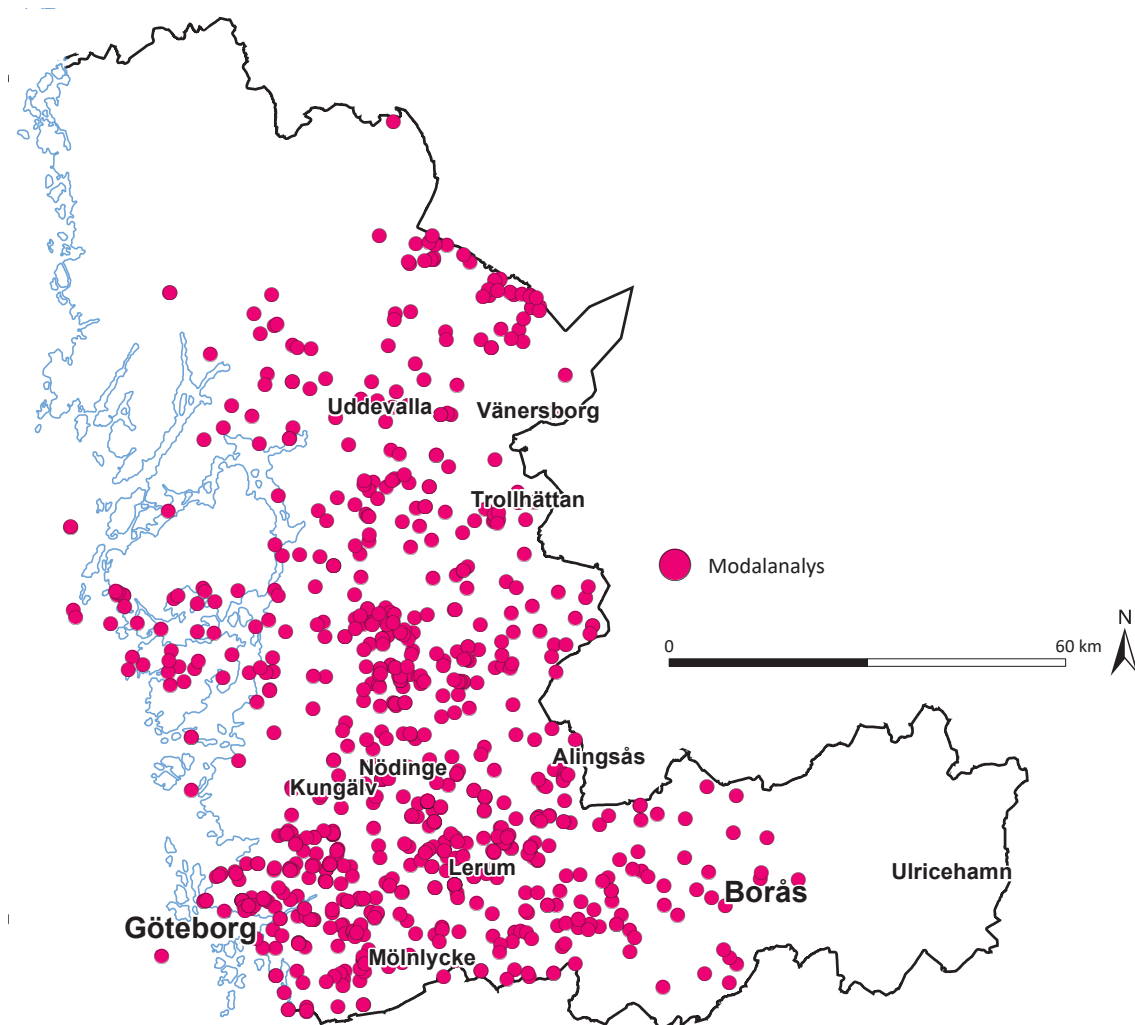


Figur 2. Platser för provtagning för teknisk analys inom projektområdet.

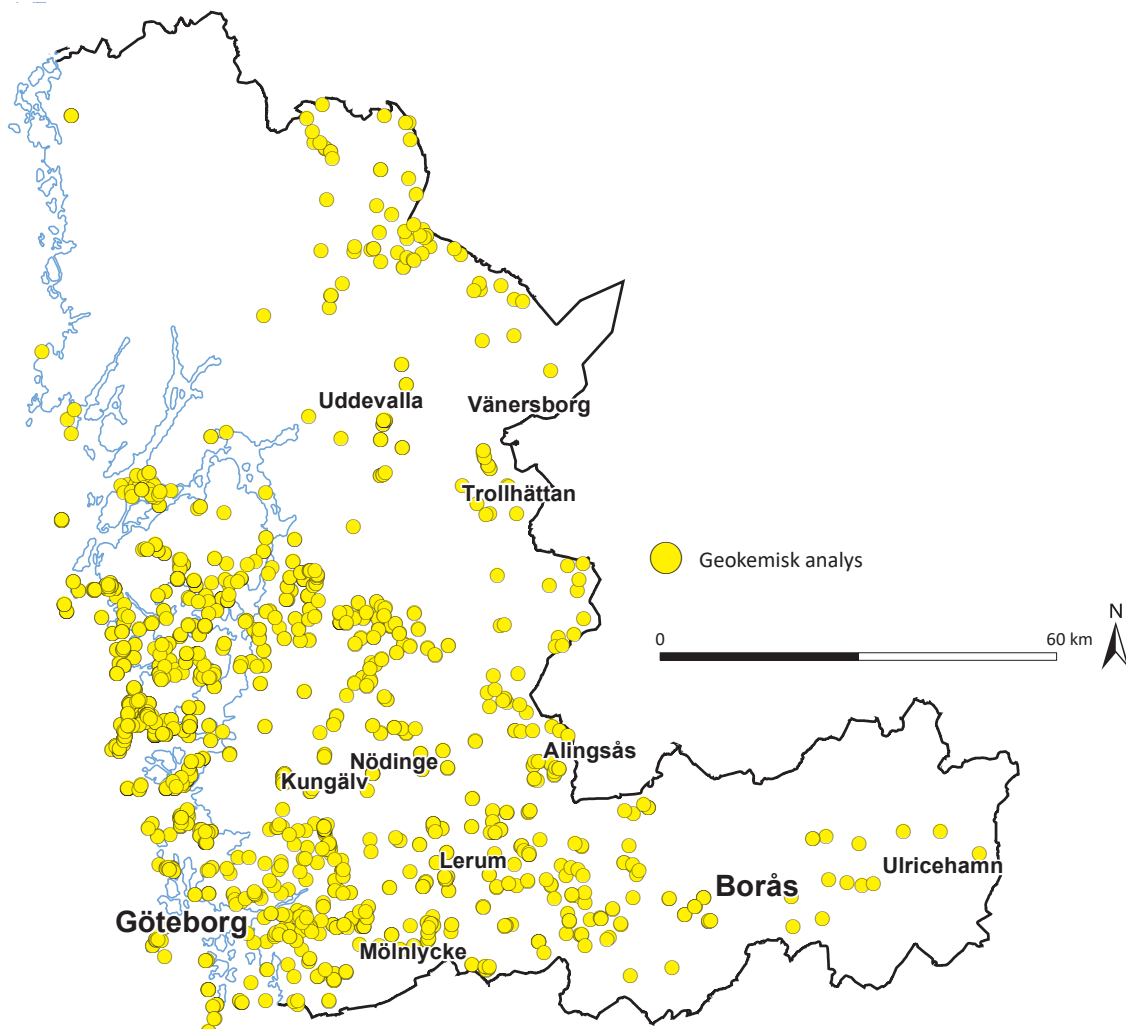
ningar funnits, det vill säga i bergskärningar längs vägar eller vid byggplatser. Vid provtagning i bergtäkter har ibland specifika bergprover tagits ut, varför dessa provers egenskaper kan avvika från taktens färdiga upplag av producerat bergmaterial.

Data som använts finns i SGU:s databaser:

- **Berggrundsobservationer**
resource.sgu.se/dokument/produkter/berggrundsobservationer-beskrivning.pdf
- **Bergartskemi**
resource.sgu.se/dokument/produkter/bergartskemi-beskrivning.pdf
- **Bergkvalitet, tekniska analyser**
resource.sgu.se/dokument/produkter/bergkvalitet-tekniska-analyser-beskrivning.pdf
- **Geofysiska flygmätningar, gammastrålning (detaljerad)**
resource.sgu.se/dokument/produkter/geofysiska-flygmatningar-gammastralning-detaljerad-beskrivning.pdf



Figur 3. Platser för prover för tunnslipstillverkning (petrografisk analys, mineralsammansättning och ASR) inom projektområdet.



Figur 4. Platser för provtagning för geokemisk analys inom projektområdet.

Betongtekniska analyser

I en betongkonstruktion ställs höga krav på ballastens glimmerhalt och beständighet. Glimmer-mineral 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 däremot av underordnad betydelse förutsatt att ballasten inte ska användas till exempelvis betongvägar. Ju fler av de nedanstående kriterierna som är uppfyllda desto högre kvalitet och fler användningsområden är möjliga för betongballasten. Alla kriterier behöver dock inte vara uppfyllda för vissa enklare betongsorter. Se vidare krav och rekommendationer i SS-EN 12620/A1:2008, Ballast för betong (Svensk Standard 2008).

Ett bergmaterial som rangordnas som ett klass 1-material i SGU:s klassificeringssystem är lämpligt för flera olika delområden inom betong, och bör uppfylla följande kriterier:

- ha en låg till måttlig glimmerhalt (< 10 %) för att generera en bra arbetbarhet
- uppvisa en låg totalstrålning (AI < 1)
- inte vara alkalisilikareaktivt (ASR < 3)
- inte innehålla sulfidmineral, det vill säga total svavelhalt ska inte överstiga 0,1 % (om bergmaterialet inte innehåller det instabila mineralet magnetkis kan en högre total svavelhalt godtas)
- inte vara leromvandlat eller vittrat
- ha en låg till måttlig vattenabsorption (< 1 %)
- ha en god kornform, det vill säga inte stänglig eller flisig.

Alla ovanstående kriterier eller rekommendationer är inte lika viktiga, och samtliga är oftast inte kända. För att enkelt kunna göra en översiktlig bedömning av berggrundens lämplighet för betonganvändning använder sig SGU främst av en klassningsprincip bestående av tre egenskaper: glimmerhalt, aktivitetsindex och alkalisilikareaktivitet (tabell 3).

Tabell 3. SGU:s förenklade klassningsprincip för betongballast.

Betongkvalitet	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
Glimmerhalt	< 10 %	10–20 %	20–50 %	
Aktivitetsindex, AI	< 1	1–2	> 2	> 50 %
Alkalisilikareaktivitet ¹ , ASR	1	2	3	> 30 %

¹Modifierad RILEM AR-1 (RILEM 2003)

Glimmermineral

Avseende bergarternas mineralogi är det främst de olika skiktmineralen, glimmermineral, som förekommer i bergarterna som kan påverka de betongtekniska egenskaperna för en ballastprodukt. Det vanligaste glimmermineralet som vanligen förekommer är den svarta glimmern biotit. Det ljusa glimmermineralet muskovit är ovanligare men förekommer ställvis i den geologiska enheten som kallas Stora Le-Marstrandsformationen.

Sulfidmineral

Sulfidmineral kan vara problematiska i samband med betongtillverkning. Sulfiderna oxideras i kontakt med vatten och syre, vilket leder till bildning av järnsulfat eller järnhydroxider. Järnsulfater kan störa betongblandningens härdning och ge en volymökning som på sikt kan spräcka upp betongen medan järnhydroxider kan orsaka missfärgning (rost) i den färdiga betongen.

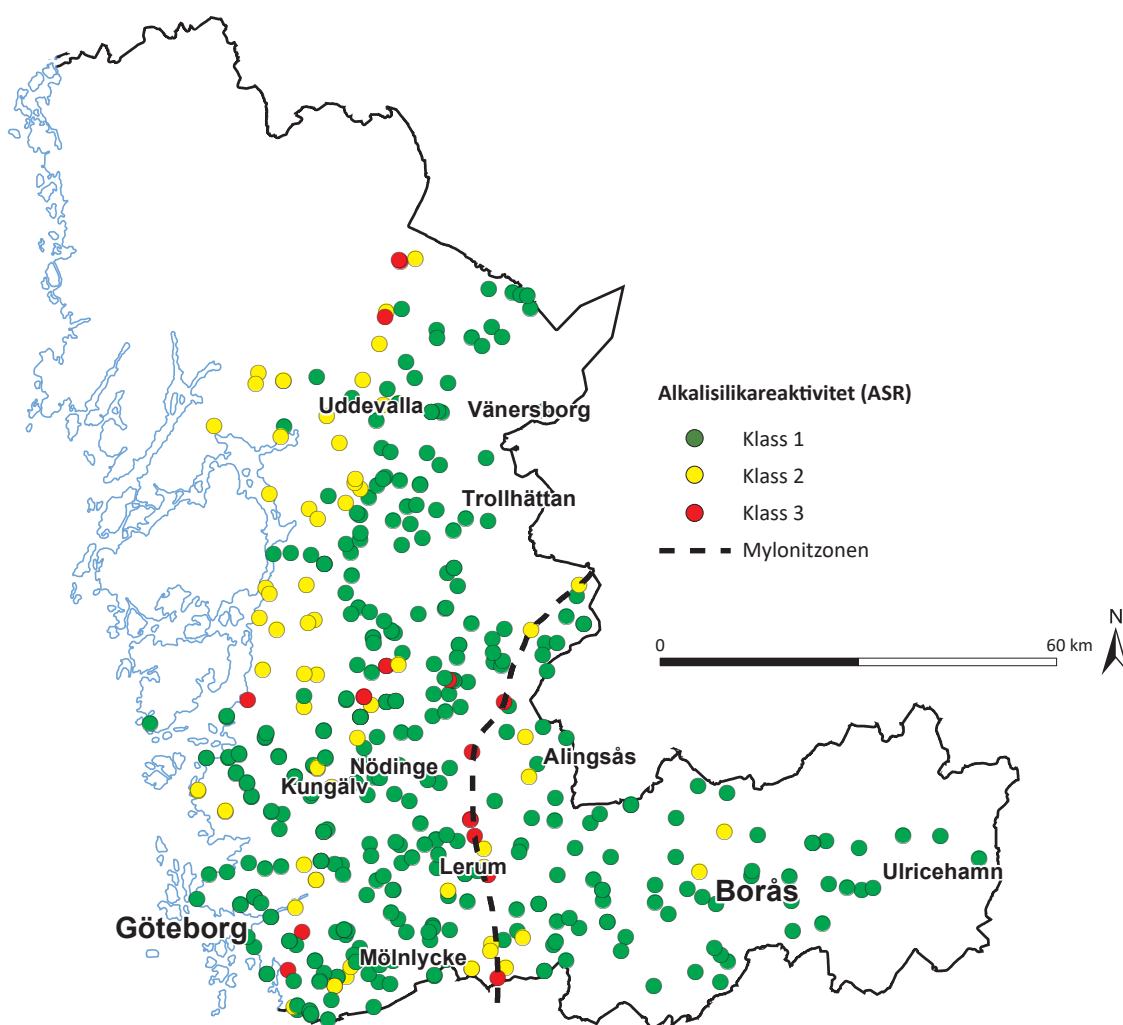
Alkalisilikareaktivitet (ASR)

Alkalisilikareaktivitet (ASR) är ett mått på benägenheten (risken) för ett bergmaterial att bilda en alkalisilikagel som ett resultat av att reaktiv kvarts från ballasten löses upp av starkt alkalin porlösning i betongen (Lagerblad & Trädgårdh 1992, Lagerblad 2010). Gelen kan expandera och därmed innebära risk för att betongen spricker. Exempel på reaktiva varianter av kvarts och ogynnsamma texturer är: flinta, deformerad kvarts (*eng. ribbon quartz*), suturerade kornfogar och mikro- eller kryptokristallin kvarts. Problem med ASR uppstår främst då en betongkonstruktion placeras i en fuktutsatt miljö.

Det finns en tregradig indelning för förenklad okulär bedömning av risken för ASR utförd på tunnslip enligt RILEM AAR-1 (RILEM 2003) som tagits fram av RISE (Research Institutes of Sweden). Den första graden anger att bergmaterialet är mycket osannolikt alkalisilikareaktivt och tredje graden att bergmaterialet är mycket sannolikt alkalisilikareaktivt. Andra graden anger osäkra och potentiella risker.

I projektområdet för Västra Götaland har 402 tunnslip undersökts för ASR. Resultaten presenteras i figur 5. Endast 19 av proverna bedöms som mycket sannolikt alkalisilikareaktiva (ASR = 3) vilket motsvarar 5 % av de undersökta proverna. De bergarter som i projektområdet bedömts vara mycket sannolikt alkalisilikareaktiva är mer eller mindre deformerade graniter eller myloniter och främst lokaliserade till den stortektoniska deformationszonen Mylonitzonen. Dessa bergarter bör nog testas vidare med expansionsförsök av betongprismor, RILEM AAR-2 (RILEM 2000a) eller RILEM AAR 3 (RILEM 2000b), för att avgöra deras lämplighet som betongballast.

Fyra prover i projektområdet har undersökts både med RILEM AAR-1 och AAR-2, se tabell 4. Den senare metoden, RILEM AAR-2, är ett bruksprismaförsök. Prismorna lagras efter till-



Figur 5. Prover analyserade för modifierad alkalisilikareaktivitet (RILEM AAR-1). Ett fåtal av proverna bedöms som mycket sannolikt alkalisilikareaktiva. Dessa prover (röda punkter) är främst lokaliserade i mer eller mindre kraftigt deformerad berggrund, exempelvis i Mylonitzonen.

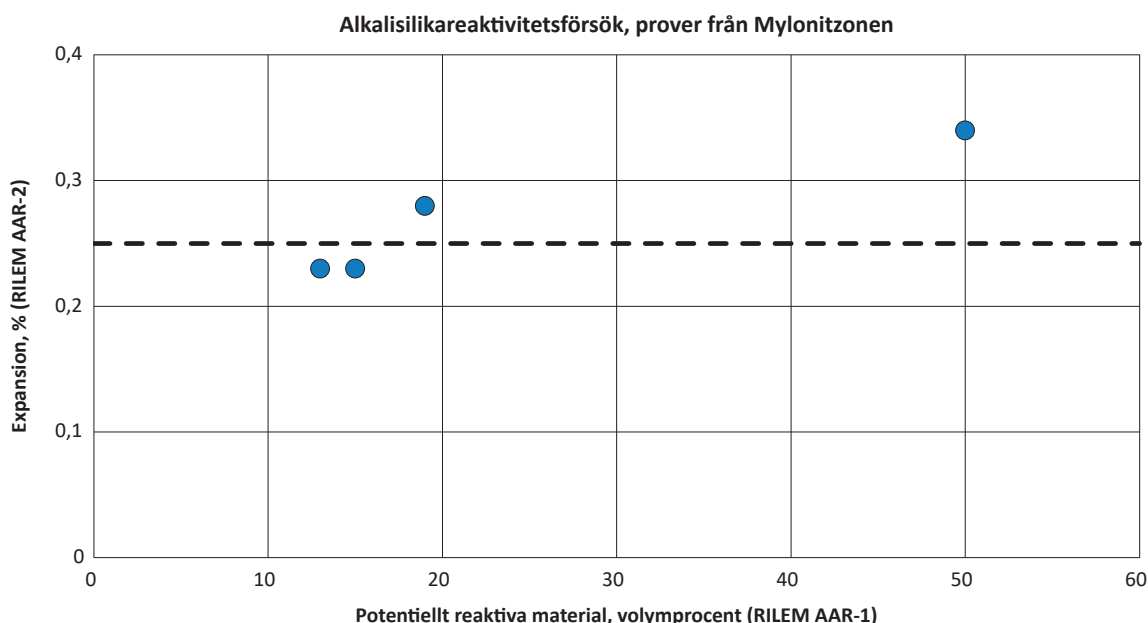
verkning i NaOH-lösning i 80 °C under 28 dagar. Under lagringstiden mäts prismornas eventuellt erhållna längdförändringar, där sådana indikerar en pågående alkalisilika-expansion.

Samtliga prover som bedömts vara alkalisilikareaktiva kom från de bergarter som tidigare via RILEM AAR-1 bedömts tillhöra de regionalt mest alkalisilikareaktiva bergarterna, mylonitiserade bergarter ur den stortektoniska deformationszonen Mylonitzonen (fig. 6). Mylonitzonen sträcker sig från Kållandsö vid Vänern i norr till söder om Bua, direkt väster om Veddige, i söder (fig. 1). Utöver bergarter tillhörande Mylonitzonen antas även vissa sandstenar, kvartsiter och vulkaniter i projektområdet vara potentiellt alkalisilikareaktiva bergarter.

Tabell 4. Jämförelsestudie mellan ASR RILEM AAR-1 och AAR-2 för högreaktiva bergarter lokaliserade i den stortektoniska deformationszonen Mylonitzonen (Appelquist m.fl. 2013).

Prov	Bergartsbeskrivning	Mod. RILEM AAR-1 ¹	RILEM AAR-1 vol% ²	RILEM AAR-2 expansion % ³
UJB045017A	Gråröd, finkornig till fint medelkornig, glimmerfattig monzogranit	3	15	0,23
UJB035003A	Grå, finkornig, glimmerrik mylonit	2	13	0,23
MGO120001A	Grå, finkornig, förskiffrad till mylonitiserad granit	2	19	0,28
MGO120002A	Gråröd, mycket finkornig till finkornig mylonit	3	50	0,34

¹ Resultat från modifierad RILEM AAR-1 test, petrografisk metod (1 = osannolikt att vara alkalisilikareaktivt, 2 = potentiellt reaktiv/osäker, 3 = mycket sannolikt att vara alkalisilikareaktivt). ² Resultat från RILEM AAR-1 test – ju högre värde desto större sannolik reaktivitet. ³ Resultat från RILEM AAR-2 test – mått på expansion, prismornas storlek = 40×40×160 mm³, mätning efter 28 dagar i 1,0M NaOH-lösning.



Figur 6. Fyra bergarter, samtliga från Mylonitzonen, har testats både enligt RILEM AAR-1 (förenklad tunnslipsanalys) och enligt RILEM AAR-2 (bruksreologiförsök) under 28 dagar (Appelquist m.fl. 2013). Det rekommenderas att ett betongbruk inte expanderar mer än 0,25 % efter testningen vilket motsvaras av den svarta streckade linjen i diagrammet. En positiv korrelation råder mellan de olika resultaten och dessa pekar på att bergarter från Mylonitzonen bör förprovas noggrant innan dessa används i betongsammanhang i särskilt väderutsatt miljö, exempelvis som betongballast för vindkraftverk eller brobyggnationer.

Reologi

En egenskap som är viktig för en färsk betongmassa, där färsk betong utgör en partikel-suspension, är dess rörlighet eller möjligheten att bearbeta massan. Den reologiska egenskapen utgör ett mått på betongmassans rörlighet. Reologin beror på hur partikelsorteringen ser ut och vilken kornform partiklarna har. Varje större stenpartikel kan anses röra sig i en finkornigare suspension av finbruk. Skillnaden mellan ordinärt rundat naturgrus och alternativet krossat berg är att den senare har ett större vattenbehov. Det större vattenbehovet för ett krossat material beror på att det krävs vätning av en större yta. I betongsammanhang är det egenskaperna hos det finaste materialet som är mest betydelsefulla för att uppnå en optimal reologi.

Två parametrar anses vara informativa om hur bra reologiska egenskaper ett bergmaterial kan få då det används för betongbruk:

- Plastisk viskositet (PaS)
- Flytgränsspänningsvärde (Pa)

Plastisk viskositet

Den plastiska viskositeten kan ses som ett mått på brukets inre friktion och parametern beskriver med vilken lätthet bruket flyter. Viskositeten hos en partikelsuspension, exempelvis ett cementbruk, är bland annat en funktion av samtliga partiklars kornform. Mer skarpkantade, icke-sfäriska partiklar ger betongmassan en sämre plastisk viskositet än rundade, sfäriska partiklar. Av detta skäl ger ballast från krossat berg generellt ett mer visköst bruk och en mer viskös betong än om ordinärt naturgrus används. Ett krossat bergmaterial som erhåller ett lågt plastiskt viskositetsvärde, exempelvis lägre än 3 PaS, anses kunna användas som råvara för att tillverka ett mycket bra alternativ till natursand och naturgrus, en så kallad maskinsand.

Flytgränsspänning

Med flytgränsspänning avses den spänning i materialet som måste övervinnas innan materialet kan börja flyta. Det är först när materialet har börjat flyta som den plastiska viskositeten avgör hur visköst materialet är. Flytgränsspänningen kan justeras, förbättras, med hjälp av tillsättning av superplasticerare. Ett krossat bergmaterial som erhåller ett flytgränsspänningsvärde lägre än 200 Pa anses ha goda egenskaper för exempelvis pumpbarhet.

Resultat av bruksreologiförsöken

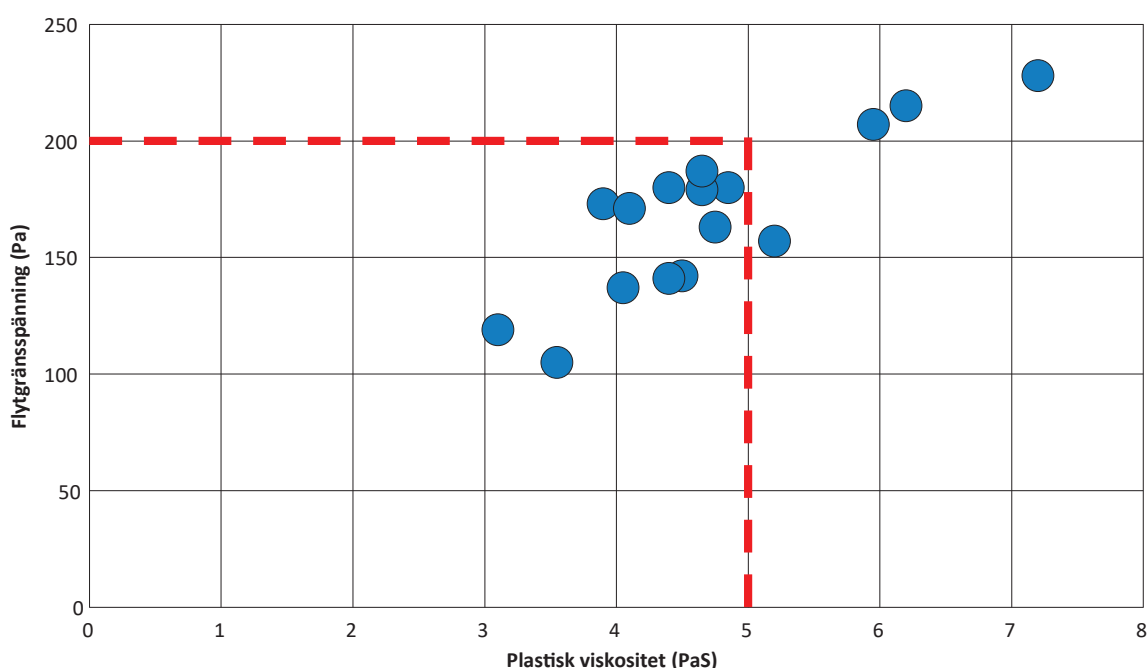
Bruksreologiförsök har genomförts från berggrunden inom området. Glimmerfattiga graniter har utgjort merparten av dessa prover (tabell 5). Samtidigt har de berggrundsprov som valts ut för bruksreologiförsök medvetet främst representerats av bergarter som teoretiskt bedömts ha goda reologiska egenskaper, det vill säga antagits vara den bästa berggrunden avseende egenskaper som pumpbarhet eller arbetbarhet.

De flytgränsspänningsvärden som uppmätts för proverna är generellt mycket bra, där samtliga material förutom tre erhåller värden lägre än 200 Pa, se figur 7. Den plastiska viskositeten för bergarterna hamnar mellan 3 och 7,5 PaS vilket innebär att de kan kategoriseras som goda till moderata. Samtidigt är det inga prover som erhåller riktigt låga viskositetsvärden, så låga viskositetsvärden som bättre natursand får.

Det finns ytterligare sätt att förbättra ett råmaterials reologiska egenskaper. Själva kornfördelningen på sanden är central. Bergmaterial som krossas till maskinsand innehåller ofta mer finmaterial än vanligt natursand vilket är negativt för den slutgiltiga reologin. Dock kan maskin-

Tabell 5. Reologiundersökningar genomförda på bergarter i projektområdet. De undersökta bergarterna är relativt glimmerfattiga, granitiska bergarter.

Observation	N	E	Bergart	Plastisk viskositet	Flytgränsspänning	ASR
TEN125002A	6396121	339013	Granit	6,2	215	1
TEN125003A	6408844	361173	Granit	4,8	163	1
TEN125004A	6416637	321046	Granit	6,0	207	
TEN125005A	6400542	313656	Granit	7,2	228	1
TEN125006A	6431261	326585	Granit	4,1	171	
TEN125007A	6431831	320179	Granit	4,4	180	1
TEN125008A	6426119	336962	Granit	4,9	180	
TEN125009A	6406361	320114	Granit	4,6	179	2
TEN125010A	6409315	334451	Granit	4,4	141	
TEN125011A	6427677	296862	Granit	4,6	187	1
TEN125012A	6421180	355594	Granit	4,0	137	
TEN140012A	6409607	397173	Granit	5,2	157	1
TEN140014A	6408816	404122	Granit	3,6	105	1

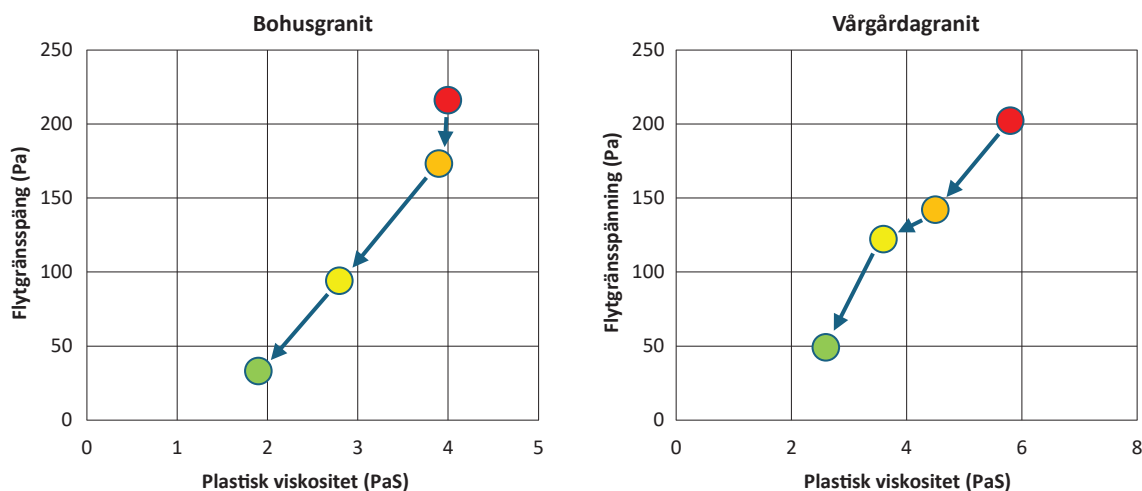


Figur 7. Resultaten från reologimätningarna med viktade kornfraktioner, vilket vanligen innebär att en mindre mängd finmaterial har tagits bort. Inom industriproduktionen kan detta göras genom vindsiktning av det krossade bergmaterialet.

sanden viktas, det vill säga att en del av finmaterialet tas bort, vilket leder till bättre reologiska egenskaper. Även genom kantnötningsteknik (VSI-krossning) kan materialet erhålla en bättre reologi då skarpkantade korn rundas av. Till sist kan även en mindre mängd flytmedel tillsättas vilket ytterligare förbättrar betongens arbetbarhet och blandbarhet (fig. 8).

Det finns bra råmaterial för betongballast bland granitisk berggrund i projektområdet som rimligen borde generera bra arbetbarhets- och pumpbarhetsegenskaper hos en betongblandning.

De bergarter som förväntas erhålla sämre plastisk viskositet i projektområdet är framför allt glimmerrika bergarter. Detta har bekräftats i tidigare forskningsstudier (Stomvall m.fl. 2015). Således är det troligt att Stora Le-Marstrandsformationens glimmerrika bergarter inte har bra egenskaper avseende plastisk viskositet och därför är olämpliga för flera betongändamål.



Figur 8. Två granitiska bergarter, Bohusgranit och Vårgårdagranit, har undersökts avseende reologi med olika metoder. Ett ursprungligt krossat bergmaterials reologiska egenskaper (röd punkt) förbättras märkbart förutsatt att 1) kornkurvan viktas (orange punkt), 2), kornen VSI-krossas eller rundas (gul punkt) och slutligen 3) genom tillsättning av flytmedel till bruket eller betongen (grön punkt).

Berggrundens strålningsegenskaper

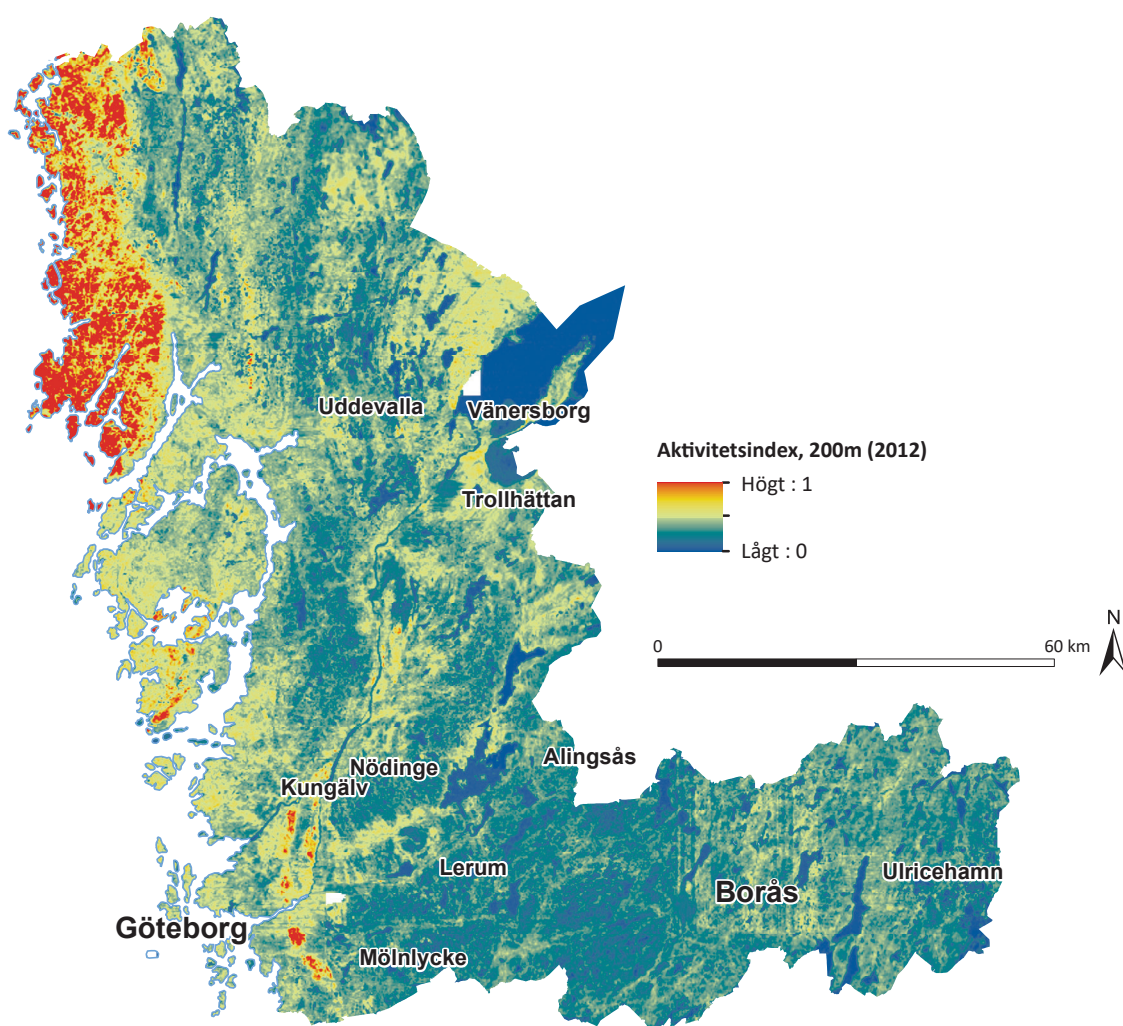
Allt bergmaterial innehåller små mängder av de naturligt radioaktiva ämnena kalium, uran (radium) och torium. Kalium finns i viktiga bergartsbildande mineral såsom kalifältpat, biotit och muskovit. Uran och torium förekommer i betydligt lägre halter, som varierar i olika typer av bergarter på grund av bergarternas olika bildningsätt och kemiska och mineralogiska sammansättning. De bergarter som normalt förväntas ha högre halter av uran och torium, med förhöjd strålning, är graniter och pegmatiter. Halter av uran i granitiska bergarter ligger vanligen mellan 1 och 10 ppm (gram per ton) och innehållet av torium är vanligen mellan 5 och 30 ppm (Jelinek & Eliasson 2015). Graniter har dessutom en högre kaliumhalt än andra bergarter. Mafiska bergarter som diabas och amfibolit har genomgående låga halter av alla naturligt radioaktiva grundämnen.

Förhöjda halter av radioaktiva ämnen i ett bergmaterial kan orsaka problem på grund av att det avger en alltför hög gammastrålning, vilket leder till 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. Ett byggnadsmaterial (till exempel betong) med aktivitetsindex 1 beräknas ge upphov till en stråldos på högst 1 mSv (millisievert) per år, förutsatt att samma material används i både golv, väggar och tak (European Commission 1999). Enligt Strålskyddsförordningen (2018:506) är 1 mSv/år referensnivån för stråldos från ett färdigt byggnadsmaterial.

SGU genomför flygburna, yttäckande mätningar av gammastrålning som visar halterna av kalium, uran och torium i översta delen av jordtäcket eller berggrunden (fig. 9). Dessa mätningar tillsammans med berggrundsinformationen ligger till grund för planering av punktmätningar av gammastrålning på berghällar. Vid dessa mätningar bestäms den totala gammastrålningen samt halten av kalium, uran/radium och torium. Aktivitetsindex beräknas för samtliga mätpunkter och finns tillgängliga genom SGU:s kartvisare *Ballast* (www.sgu.se)

Resultat av berggrundens strålning

I första hand är det de senorogena, yngre graniterna som har ett aktivitetsindex > 1 . Särskilt två granittyper är att betrakta som högstrålande: Bohusgraniten (920 Ma, Lundqvist & Kero 2006) och RA-graniten (1 310 Ma, Lundqvist & Kero 2006). Dessa graniter har något högre halter av grundämnena uran, torium och kalium. Stundtals kan punktmätningar påvisa värden som överstiger 3 i aktivitetsindex, men samtidigt är det viktigt att tillägga att det kan förekomma mindre lågstrålande områden inom dessa högstrålande granitområden. Det högsta uppmätta värdet från en bergart (som inte är en pegmatit) i projektområdet är 5,1 i aktivitetsvärde. Ytterst handlar det alltid om att i detalj undersöka den lokala berggrundens strålning med hjälp av en gammaspetsrometer.



Figur 9. Aktivitetsindexkarta över projektområdet. Aktivitetsindex är en sammanvägning av de radioaktiva isotoperna av uran, torium och kalium. Kartan indikerar var berggrunden har ett förhöjt aktivitetsindex, exempelvis i Bohuslän, på Hisingen och i Änggårdssbergen i Göteborg. Kartan kan även påverkas av de översta jordlagrens aktivitetsindex.

Petrografisk analys

Bergarternas egenskaper som ballast beror till stor del på bergartens mineralsammansättning, kornstorlek, kornfogar och texturer. En petrografisk analys görs med hjälp av transmissionsmikroskopi av ett tunnslip från ett representativt bergartsprov från varje provtagningslokal. De olika ingående mineralen identifieras och deras mängdförhållanden bestäms genom punkträkning av mineralkorn. Bergarterna karakteriseras av både primära texturer och sekundära överpräglningar i form av deformation och metamorfos av olika grad. Omkristallisering av bergarterna i projektområdet genom statisk, termal påverkan och retrograd omvandling är vanligt. Plastisk deformation och gnejsighet finns utvecklad i de flesta av proverna. Bergarter som innehåller rikligt med fältspat anses erhålla bättre betongegenskaper.

Sporadiskt förekommer glimmermineral, Fe-hydroxider och opakmineral i kornfogarna i bergartsprov inom alla bergkvalitetsklasser. En större mängd glimmermineral i bergarterna försämrar normalt de reologiska egenskaperna, i synnerhet om bergarten och dess mineral är tydligt folierade.

Glimmermineral

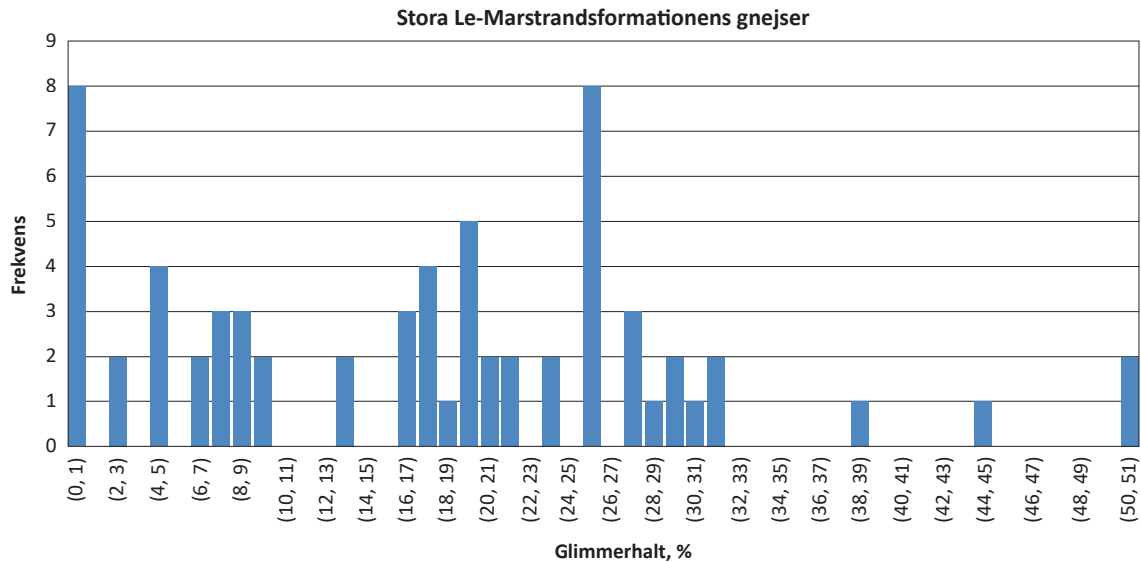
Inom gruppen glimmermineral återfinns mineralen biotit och muskovit, varav biotit är det dominerande bergartsbildande mineralet. Mineralet klorit tillhör inte glimmermineralen, men räknas i tekniska sammanhang alltid med till den gruppen, eftersom det dels har liknande egenskaper som biotit, dels uppträder som omvandlingsmineral av biotit. Biotiten i de undersökta bergarterna är ställvis kloritomvandlad. Andelen fri glimmer (bestämd enligt VVMB 613, Trafikverket 2001, för material 0,125–0,25 mm) får ej överstiga 50 viktprocent för obundna vägmateriäl. Om andelen är mellan 30 och 50 viktprocent får inte bärlagret trafikeras av tung trafik (Vägverket 2005a, b). Hög andel av glimmermineral leder till att rörligheten och arbetbarheten av betongmassan reduceras avsevärt. Det är i dag osäkert om alla typer av glimmermineral har samma påverkan för bruks- och betongreologin, men den totala halten av glimmermineral är dock viktig att beakta. Glimmermineralens inverkan på betongegenskaperna är överordnad andra mineral och därmed en av de viktigaste parametrarna att ta hänsyn till vid kvalitetsklassning för betongballast. Till viss del kan höga glimmerhalter kompenseras genom att tillsätta flytmedel som reducerar flytgränsspänningen till en liknande nivå som för naturgrusballast (Lagerblad 2005). Ett annat sätt att minska den fria glimmern i ballasten är att via vindsiktning frånskilja glimmerrika korn från mer kvarts- och fältspatrika mineralkorn.

Den modalanalys som utförts på vissa bergartsgrupper i projektområdet, se tabell 6, visar att både paragnejser och tonaliter har relativt höga glimmerhalter med medelvärden för bägge bergartsgrupperna runt 18 %. Spridningen avseende glimmerhalter är större för bergartsgruppen

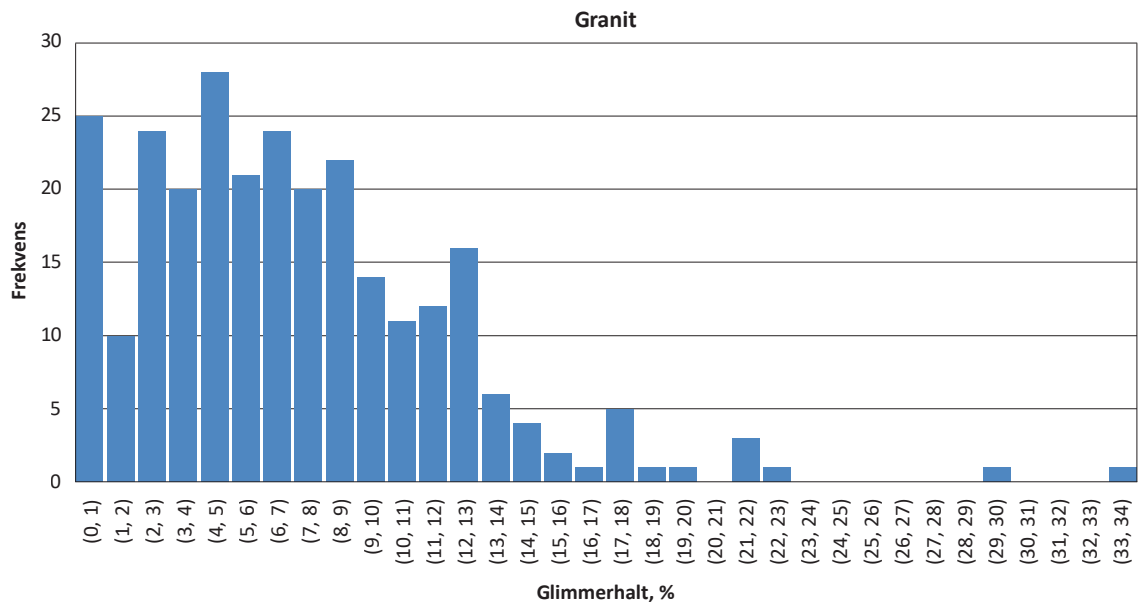
Tabell 6. Glimmerhalt för olika bergartsgrupper.

Bergart	Glimmerhalt. Medelvärde (%)	Median (%)	Antal
Stora Le-Marstrandsformationens gnejser	17,9	18,5	66
Granit	7,6	7,0	272
Granodiorit	12,0	11,5	97
Tonalit	17,3	18,0	72

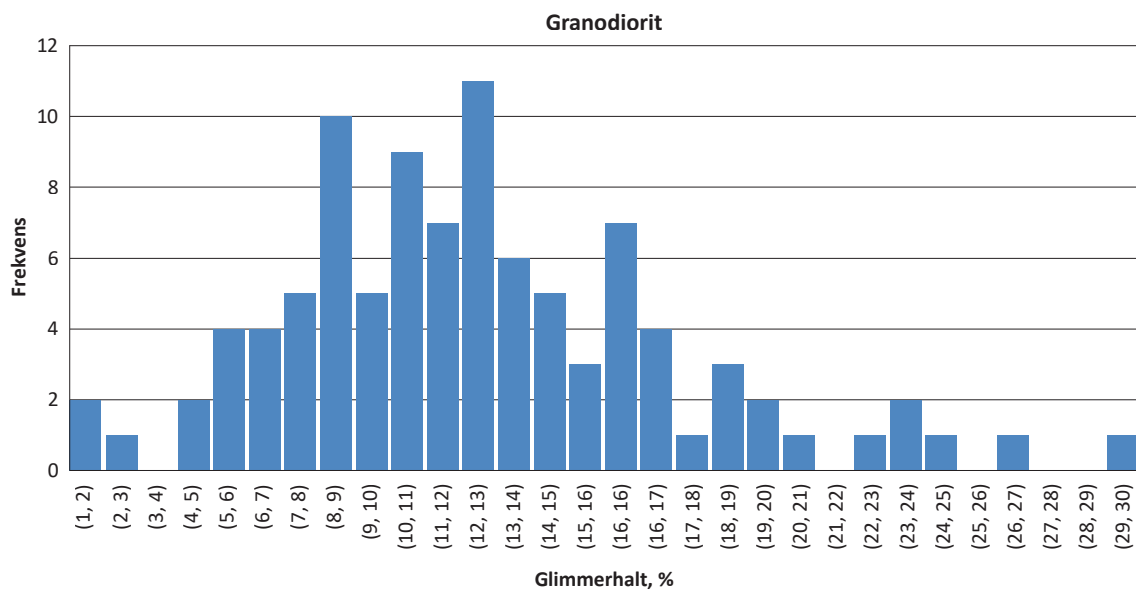
paragnejser (fig. 10) vilket innebär att dessa stundtals kan bestå av mer kvarts-fältspatrika lager (fattiga på glimmermineral), samtidigt som andra prover har betydligt högre halter av glimmer med över 50 %. Graniter har relativt låga glimmerhalter med ett medelvärde på strax under 8 % (fig. 11). Granodioriter har en något högre glimmerhalt med 12 % (fig. 12), och tonaliter har ännu högre glimmerhalt med ett medelvärde på 17 % (fig. 13).



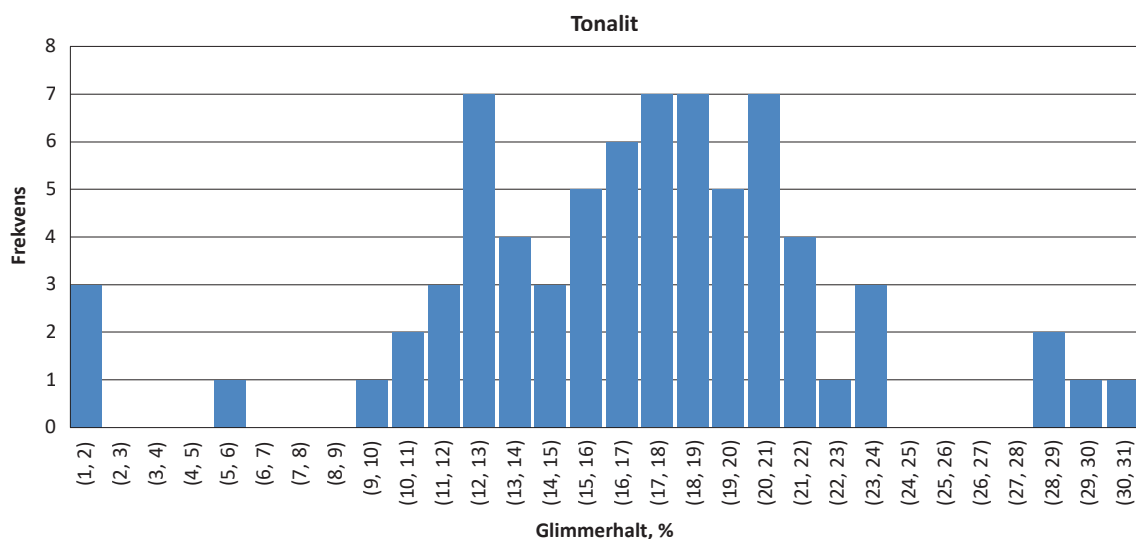
Figur 10. Frekvensdiagram över glimmerhalterna hos Stora Le-Marstrandsformationen gnejser. Stora Le-Marstrandsformationen gnejser innehåller varierande halter av glimmer. Detta är naturligt då ursprungligen mer lerrikare lager sedimenterat under lugnare förhållanden. Leran i dessa lager har senare omvandlats till glimmermineral. Under mer strömningsrika förhållanden avsätts mindre lerrikare lager – i dessa är glimmerhalten relativt låg.



Figur 11. Frekvensdiagram över glimmerhalterna hos granitiska bergarter i projektområdet. Låga glimmerhalter, lägre än 10 % dominerar hos merparten av dessa bergarter.



Figur 12. Frekvensdiagram över glimmerhalterna hos granodioritiska bergarter i projektområdet. Låga till medelhöga glimmerhalter, lägre än 15 % dominerar hos merparten av dessa bergarter.



Figur 13. Frekvensdiagram över glimmerhalterna hos tonalitiska bergarter i projektområdet. Medelhöga glimmerhalter, lägre än 20 % dominerar hos merparten av dessa bergarter.

De glimmermineral som ingår i projektområdet domineras av biotit. Andelen biotit är mer än 10 gånger högre än för både muskovit och klorit, sett över hela området. Mineralen muskovit förekommer främst inom Stora Le-Marstrandsformationens bergarter. Mineralen klorit indikerar att bergarten omvandlats och förekommer i vissa prover av tonalitiska till granitiska gnejser, samt olika mafiska bergarter. I vissa fall är Stora Le-Marstrandsformationens bergarter kraftigt omvandlade och då kan även mineralsammansättningen ha förändrats, varvid glimmerhalten kan ha reducerats.

Slutsatsen av mineralsammansättningsundersökningar av berggrunden i projektområdet är att Stora Le-Marstrandsformationens bergarter och de tonalitiska djupbergarterna stundtals har relativt höga glimmerhalter, och att de därför bör undvikas eller noggrant förprovas för betong-

tillverkning. Detta är nödvändigt eftersom en betongmassa med dessa ballastslag kan erhålla dåliga reologiska egenskaper och indirekt innebära ett ökat behov av att tillsätta flytmedel för att en betongs egenskaper ska vara optimala.

Graniter är i allmänhet glimmerfattiga varför dessa bör betraktas som oproblematiske att använda som betongballast, avseende bergartens ingående glimmermineral.

Sulfidmineral

Sulfidmineral förekommer, oftast i mindre mängder, i många bergarter. Det vanligast förekommande sulfidmineralet är pyrit (FeS_2) följt av magnetkis (Fe_{1-x}S). De påträffas i flera olika magmatiska bergarter men uppträder företrädesvis i mörka bergarter såsom exempelvis gabbro, och diabas och i deras mer högmetamorfa motsvarighet, amfibolit. Sedimentära bergarter som paragnejs, och framför allt de mer glimmerrika paragnejserna, kan lokalt innehålla kraftigt förhöjda halter av pyrit och magnetkis. Sulfidmineral i vulkaniska bergarter återfinns som källa till koppar-, bly-, zink-, guld- och silvermalmer och sulfidmineral är vanliga i områden med mineraliseringar och till dem kopplade omvandlingszoner.

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 lossas 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. Därmed kan järn och andra metaller lakas ut och berget får en rostfärgning vanligen längs med öppna sprickor (fig. 14). Lakvatten med lågt pH-värde och höga metallkoncentrationer kan orsaka skador på miljön. Trafikverket (2015) beskriver hur sulfidförande bergarter ska hanteras 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.

Sulfidmineral som pyrit och magnetkis oxiderar förhållandevis lätt till järnsulfat eller järnhydroxider. Järnsulfater kan under ogynnsamma förhållanden störa betongblandningens härdning och ge en volymökning som på sikt kan spräcka upp betongen. Järnhydroxider (rost) kan missfärga en betongkonstruktion. Det krävs speciella försiktighetsåtgärder om magnetkis förekommer i ballast som ska användas till betong (Svensk Standard 2008). Om förekomsten av detta mineral är känd, ska den totala svavelhalten i ballasten inte överstiga 0,1 %.

Normalt korrelerar den rena svavelhalten i en geokemisk analys i ett bergmaterial mot mängden observerade sulfidmineral. Vid en svavelhalt som är högre än 0,3 viktprocent i bergmaterialet, vilket ungefär motsvarar 0,3 volymprocent pyrit, rekommenderas att speciella åtgärder vidtas innan bergmaterialet används till betong-, väg- och järnvägsändamål. Inom projektområdet, delar av Västra Götaland, görs bedömningen att bergarter med mer än 0,3 % svavel normalt främst förekommer i vissa areellt begränsade enheter, exempelvis i glimmerrika paragnejs tillhörande Stora Le-Marstrandsformationen. Prover med höga halter av opaka mineral (de mineral som inte är genomlysiga i tunnslip, exempelvis oxidmineral och sulfidmineral) bör undersökas med mikroskop för att kunna uppskatta halten och karaktären av potentiella sulfidmineral. Till exempel kan magnetkis förekomma i stället för pyrit i en del paragnejs med höga svavelhalter. Mineralen magnetkis är svagt magnetiskt.



Figur 14. När oxidering och lakning av berggrunden sker fälls järnhydroxider ut och berget rostfärgas, ofta längs med befintliga, öppna sprickytor. Foto: Mattias Göransson.

GEOLOGI

Geologisk översikt

Projektområdets utbredning utgör en sammanhängande landyta på cirka 10 000 km² och ligger i sydvästra Sverige. Området karakteriseras av bergarter som är knutna till den svekonorvegiska bergskedjebildningen vilken ägde rum för cirka 0,9–1,1 miljarder år sedan (Bingen m.fl. 2021). Området har genomgått en komplex geologisk utveckling med regional metamorf omvandling och domineras av två separata berggrundsenheter: Idefjorden-terrängen och Östra segmentet. Dessa är separerade av Mylonitzonen som är en storskalig deformationszon (fig. 1).

Östra segmentet karakteriseras av olika typer av ortognejser. Protoliterna till dessa gnejser är i första hand magmatiska djupbergarter, främst granit, granodiorit till granit och kvartsmonzodiorit, med underordnade mafiska eller monzonitiska bergarter. Dessa återfinns i dag relativt opåverkade i det Transskandinaviska magmatiska bältet (TMB) som ligger öster om

Östra segmentet. TMB-bergarterna bildades för 1,87–1,66 miljarder år sedan, varav de som utgör Östra segmentets protoliter domineras av bergarter som intruderade för cirka 1,7 miljarder år sedan (Stephens m.fl. 2020).

Även Idefjordenterrängen domineras av metamorft omvandlade magmatiska djupbergarter; ortognejser med granitisk till tonalitisk sammansättning, men här förekommer även glimmerrika ytbergartsgnejser i den så kallade Stora Le-Marstrandsformationen. Det finns även något yngre graniter, pegmatiter och diabaser som intruderat den äldre berggrunden efter den mest aktiva fasen av den svekonorvegiska bergskedjebildningen. Bland de yngre intrusiven utgör den högstrålände Bohusgraniten den yngsta (920 miljoner år) och till ytan största förekomsten.

Beskrivning av bergartsgrupper

Bohusgraniten

I Bohuslän, från den norska gränsen i norr till Lysekil i söder, förekommer en vanligen röd, grå eller gråröd granit, den så kallade Bohusgraniten, se figur 15. Bergarten utgör den yngsta bergarten inom projektområdet och den bildades för cirka 920 miljoner år sedan (Lundqvist & Kero 2006). Bohusgraniten har förhöjda halter av grundämnena kalium, uran och torium. Att kalium är förhöjt i en del graniter beror på att de ofta har en hög andel alkalifältspatkristaller som innehåller ämnet kalium. Vanligen ligger den totala kaliumhalten på 3–6 % (Jelinek & Eliasson 2005). Även halterna av uran och torium kan vara förhöjda i vissa granitiska bergarter (tabell 7). Detta leder till att en del granitiska bergarter, exempelvis Bohusgraniten, är relativt högstrålände. Sådana högstrålände bergarter ska endast användas restriktivt för betongändamål och inte användas som ballast för husbyggnationer där människor vistas kontinuerligt.



Figur 15. Planpolerad skiva av röd medelkornig Bohusgranit. Bohusgraniten är rödfärgad av det röda mineralet kalifältspat. Utöver detta innehåller bergarten transparent till mjölkfärgad kvarts, en mindre mängd vit plagioklas och ett par procent svart biotit. Skala: Bildens bredd är 30 cm. Foto: SGU.

Tabell 7. Normala halter av kalium, uran, radon och torium i några svenska bergarter (Jelinek & Eliasson 2015).

	K (%)	U (%)	Rd (Bq/kg)	Th (ppm)
Basiska bergarter ¹	0,4–3	0–4	0–50	0,4–11
Granit (alla) ¹	3–5,5	1–10	10–120	5–30
Granit, uran- och toriumrik ²	4–6	8–40	100–500	10–90
Kalksten ²	0,1–0,5	0,5–2	5–25	0,1–2
Sandsten ²	1–5	0,5–5	5–60	1–10
Sedimentär gnejs ¹	2–5	1–10	10–120	3–30
Skiffer ²	2–6	1–10	10–120	2–15
Sur till intermediär gnejs ¹	1–5,5	1–10	10–120	2–25
Alunskiffer ²	2–6	10–350	120–4 300	2–10

¹Intervall baserade på SGU:s gammastrålningsmätningar på håll. ²Intervall baserade på Socialstyrelsen m.fl. 1981.

Bergarten Bohusgranit domineras vanligen av mineralen plagioklas, alkalifältspat, kvarts och biotit, där glimmermineralet biotit endast utgör ett par procent. Bergarten är vanligen fattig även på andra mörka mineral varför dess färg ofta är något ljusare, exempelvis ljust röd eller ljust grå. Bergarten är vanligen massformig och mineralkornen är inte orienterade. Detta brukar betyda att bergarten efter krossning har en relativt liten andel av flakiga krosskorn, vilket är bra om berget ska användas till betong.

RA-graniten

I Göteborgsregionen, från Bohus i norr till Kungsbacka i söder, sträcker sig en granitsvit som har ett något förhöjt aktivitetsindex, den så kallade RA-graniten. Namnet kommer från just det faktum att bergarten kan ha ett förhöjt radiumindex. Radiumindex är dock bara i undantagsfall högre än 1. RA-graniten utgör en av de senare bergarterna i regionen och den bildades för cirka 1,3 miljarder år sedan (Lundqvist & Kero 2006). Graniten är vanligen röd till gråröd och något gnejsig, se figur 16.



Figur 16. Mörkfärgad, medelkornig, relativt kraftigt stänglig granit (RA-granit), strax öster om Skålebräcke bergtäkt (MGO090005A, 6417369/304101). RA-graniten har ofta något förhöjda halter av uran, torium eller kalium och kan ställvis överstiga aktivitetsindex 1. Foto: Mattias Göransson.

Stora Le-Marstrandsformationen

I den västra delen av projektområdet förekommer ett större område av glimmerrika, sedimentära gnejser vilka benämns Stora Le-Marstrandsformationen gnejser. Som namnet antyder sträcker de sig från sjön Stora Le, vars västliga gren går över gränsen in i Norge, ner till Marstrand. Bergartsformationen utgör en gammal sedimentär lagerföljd som bildades för mer än 1,6 miljarder år sedan (Åhäll m.fl. 1998).

Ursprungligen har bergarten utgjorts av omväxlande glimmerrika och kvarts- och fältspatsrika lager. Senare har berggrunden omvandlats, förgnejsats och ibland migmatitiserats. På grund av att glimmerhalten ofta är förhöjd i dessa gnejser och att svavelhalten ibland kan vara förhöjd bedöms dessa bergarter inte vara lämpliga att användas som betongballast.

Den sedimentära gnejsen i Stora Le-Marstrandsformationen var ursprungligen relativt fin-kornig med omväxlande sandiga och leriga lager. I dag är bergarten omvandlad vilket har lett till att den delvis är ådrad och i vissa fall kraftigt omvandlad eller migmatitiserad, se figur 17.

Bergarten är vanligen relativt glimmerrik vilket också ger dess grå till mörkgrå färg. Vid SGU:s undersökning i Kungälv kommun visade sju prover från Stora Le-Marstrandsformationen på relativt höga glimmerhalter, mellan 23 och 50 % (Göransson & Persson 2018). Konformt inlagrat med ytbergartsgnejsen förekommer även ibland kvartsfattiga, mafiska gångar.

Sammanfattningsvis är Stora Le-Marstrandsformationen bergarter inte att rekommendera till användning som betongballast eftersom glimmerhalten alltför ofta är relativt hög och bergarterna kan innehålla sulfidmineral.



Figur 17. Grå, finkornig, ådrad ytbergartsgnejs från Myggstaviken i Kungälv kommun, tillhörande den så kallade Stora Le-Marstrandsformationen (MGO090022A, 6426035/314416). Foto: Mattias Göransson.

Myloniter

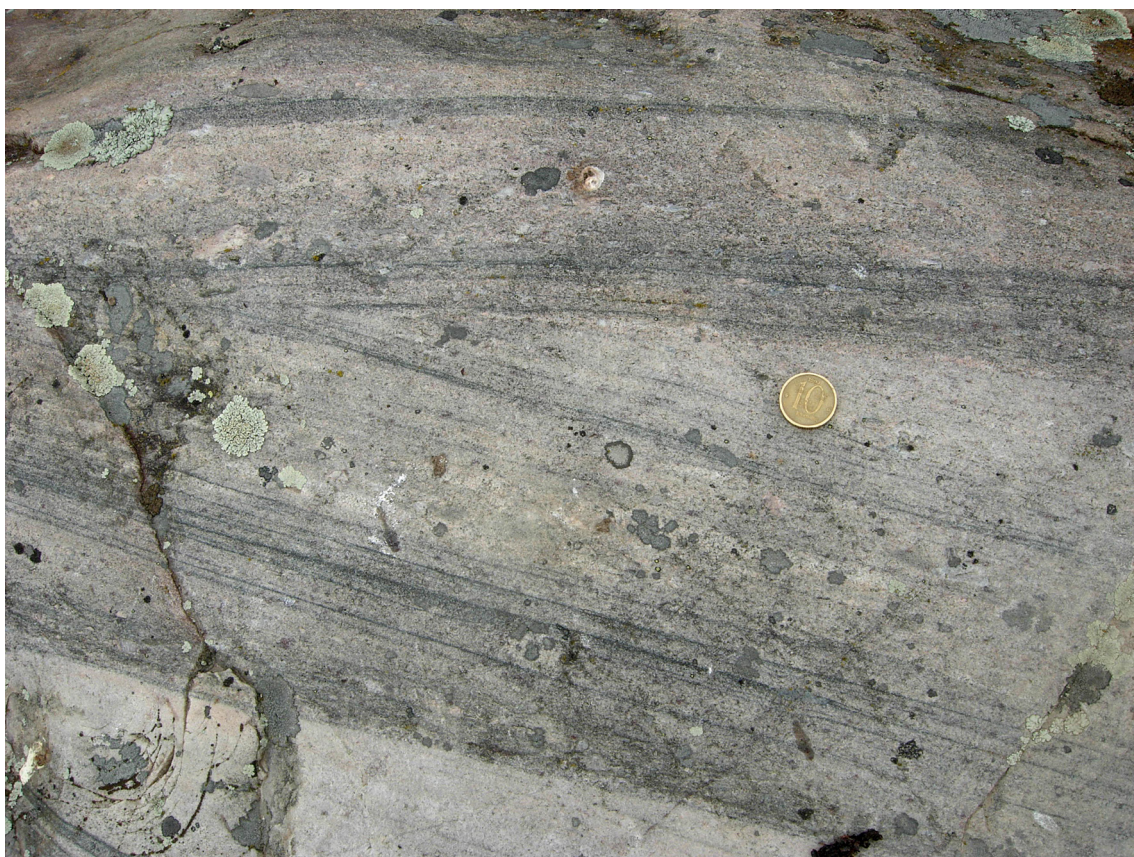
Merparten av berggrunden i projektområdet utgörs av ett antal olika sorters djupbergarter som vanligen är statiskt, långsamt omvandlade vilket lett till att många bergarter erhållit relativt enkla mineralkornformer med raka kornfogar. Sådana bergarter har kornstorleksförgrovats och är oftast inte alkalisilikareaktiva, även om de innehåller större mängder kvarts. Rakt igenom Västra Götalandsregionen löper dock den så kallade Mylonitzonen som är en deformationszon som delar de omgivande djupbergartsenheterna i en något äldre östlig del, Östra segmentet, och en något yngre västlig del, Idefjordenterrängen. I Mylonitzonen har bergarterna utsatts för kraftig deformation och dynamisk omkristallisering som lett till kornstorleksförminskning och benägenhet till alkalisilikareaktivitet i de fall bergarterna innehåller kvarts. Bergarten mylonit är finkornig till mycket finkornig och har vanligen en röd till grå färg, se figur 18. Av de prover som har analyserats för ASR och tidigare redovisats i figur 5 är det främst deformerade bergarter, exempelvis myloniter, som visat sig vara alkalisilikareaktiva, klassade som klass 3. Just dessa bergarter är också redovisade i figur 6. Prover från Mylonitzonen har delvis visat sig vara något alkalisilikareaktiva, både avseende provning för RILEM AAR-1 och RILEM AAR-2. Av detta skäl ska det inte uteslutas att bergarter från Mylonitzonen kan vara mindre lämpliga för vissa betongändamål, exempelvis till betong i alkalisilikareaktiva utomhusmiljöer som bro- eller vindkraftsfundament.



Figur 18. Mylonitiserad bergart med granitisk sammansättning från Mylonitzonen i närheten av Stora Mellby, Alingsås kommun. Foto: Fredrik Hellström.

Sandstenar och kvartsiter

En del kvartsrika bergarter är alkalisilikareaktiva och sådana bör därför undvikas för vissa betongsammanhang, alternativt förprovas. I projektområdet förekommer ett fåtal äldre sandstenar i den norra delen av området (fig. 19). Sandstenarna tillhör den så kallade Åmålfformationen vilka bildades för runt 1,6 miljarder år sedan (Lundqvist & Kero 2006). Sandstenarna är ibland kvartsanrikade och ibland består de av en blandning av mineralen kvarts och fältspat. I de fall bergarten är kvartsrik är risken för att de ska vara alkalisilikareaktiva högre. På flera ställen har bergtäkter öppnats i den kvartsrika, högpresterande sandstenen för utvinning av bergråvara som används till asfaltsten. I de fall det planeras att användas kvartsrika sandstenar eller kvartsiter för betongändamål bör materialen först testas för alkalisilikareaktivitet. Sandstenarna och kvartsiterna utgör relativt små förekomster av berggrunden inom området varför de saknas på berggrundskartan i den aktuella skalan (fig. 1).



Figur 19. Sedimentär bergart tillhörande Åmålfgruppen, sandsten med korskiktning vid Rolfskärr (Bergström & Jönberger 2021). Foto: Ulf Bergström.

Gnejsiga graniter till tonaliter (Idefjordenterrängen)

Gnejsiga djupbergarter med omväxlande granitisk, granodioritisk eller tonalitisk sammansättning förekommer inom Idefjordenterrängen. Dessa djupbergarter bildades för 1,7 till 1,5 miljarder år sedan. Bergarterna omvandlades senare och ställvis är berggrunden ådrad eller gnejsig (fig. 20). Djupbergarter med granodioritisk eller tonalitisk sammansättning uppskattas dominera inom området. Ställvis uppvisar berggrunden något högre glimmerhalter, ofta cirka 10–20 %. Grovporfyrisk, gnejsiga graniter förekommer på flera ställen inom Idefjordenterrängen och de kan ibland användas som ledhorisonter för hur dessa och övriga bergarter är lokaliserade (fig. 21). Merparten av de mafiska inneslutningar och gångar som förekommer i området antas utgöra rester från äldre diabasgångar och mindre dioriter eller gabbrokroppar.



Figur 20. Gnejsig och ådrad granit från bergartsprov från riksväg 40 i Mölnlycke kommun (MGO035015, 6396125/326700).

Foto: Mattias Göransson.



Figur 21. Karaktäristisk glimmerrik ögongnejs. Bergarten utgör en ledhorisont för de västra delarna av Västra Götalands län, Idefjordenterrängen.

Foto: Mattias Göransson.

Granitiska till tonalitiska gnejser (Östra segmentet)

I den östligaste delen av projektområdet ligger området som kallas Östra segmentet. Det består främst av granitiska till tonalitiska djupbergartsgnejser, där gnejserna med granitisk eller granodioritisk sammansättning dominerar (fig. 22). Inlagrat med gnejserna förekommer ställvis mafiska inneslutningar eller gångar (fig. 23). Dessa bergarter bildades för cirka 1,7 till 1,6 miljarder år sedan och omvandlades därefter kraftigt då delar av berget smälte upp, bildade ådror och erhöll en fullt utvecklad gnejsig struktur. Den kraftiga omvandlingen som berggrunden genomgick fick till följd att bergarternas enskilda mineralkorn omkristalliserade och deras kornfogar förenklades. På flera ställen i Östra Segmentet är detta synligt i mikroskop vid studier av bergarternas mineralkorn, där en jämnkornig textur är mer vanligt



Figur 22. Tydligt mineraluppdelad, gnejsig bergart med granitisk sammansättning, i närheten av Grönbo, cirka 5 km söder om Bollebygd (MGO035046, 6393969/1308354).

Foto: Mattias Göransson.



Figur 23. Kraftigt omvandlad granitisk till granodioritisk gnejs med större inneslutning av en något mörkare basisk bergart, i närheten av Viskafors i Borås kommun (MGO060007, 6390609/372239).

Foto: Mattias Göransson.

förekommande än en mer ojämnkornig textur. Följden av den här omvandlingen är att en del egenskaper för berget, som exempelvis slaghållfasthet, försämras något. Slaghållfastheten är dock ingen väsentlig egenskap för ett råmaterial som ska användas som betongballast. På en del platser förekommer mafiska inneslutningar som även dessa är kraftigt omvandlade och ibland amfibolitiserade. Förekomsten av mafiska inneslutningar och gångar är andelsmässigt dock relativt underordnat i den större delen av det Östra segmentet. På några platser i området har glimmerfattiga, mer fältspatrika graniter, exempelvis alkaligraniter, bildats.

Basiska bergarter

I projektområdet förekommer flera olika basiska bergartsbildningar. De förekommer både som äldre brottstycken bland yt- och djupbergarterna eller som yngre intrusiva gångar (fig. 24). Exempel på de senare är de jurassiska platådiabaserna vid Skövde som bland annat överlagrar de fanerozoiska kalkstenarna. Basiska bergarter kan ibland innehålla förhöjda halter av sulfid-mineral, eller ha omvandlats till mer glimmerrika amfiboliter. De basiska bergarter som inte innehåller större mängder sulfid- eller glimmermineral, exempelvis vissa diabaser, kan vara av bra kvalitet och lämpliga även som betongballast. Dessvärre är forsknings- och utvecklingserfarenheterna i Sverige begränsade avseende basiska bergarter för betongändamål vilket innebär att kvalitetsbedömningen av dessa bergarter är svår att genomföra (Lagerblad 2018).



Figur 24. Yngre, svart diabasgång (nedre delen av bilden) som intruderat en äldre, grå djupbergart (övre delen av bilden). Bilden är tagen på Kosteröarna. Foto: Mattias Göransson.

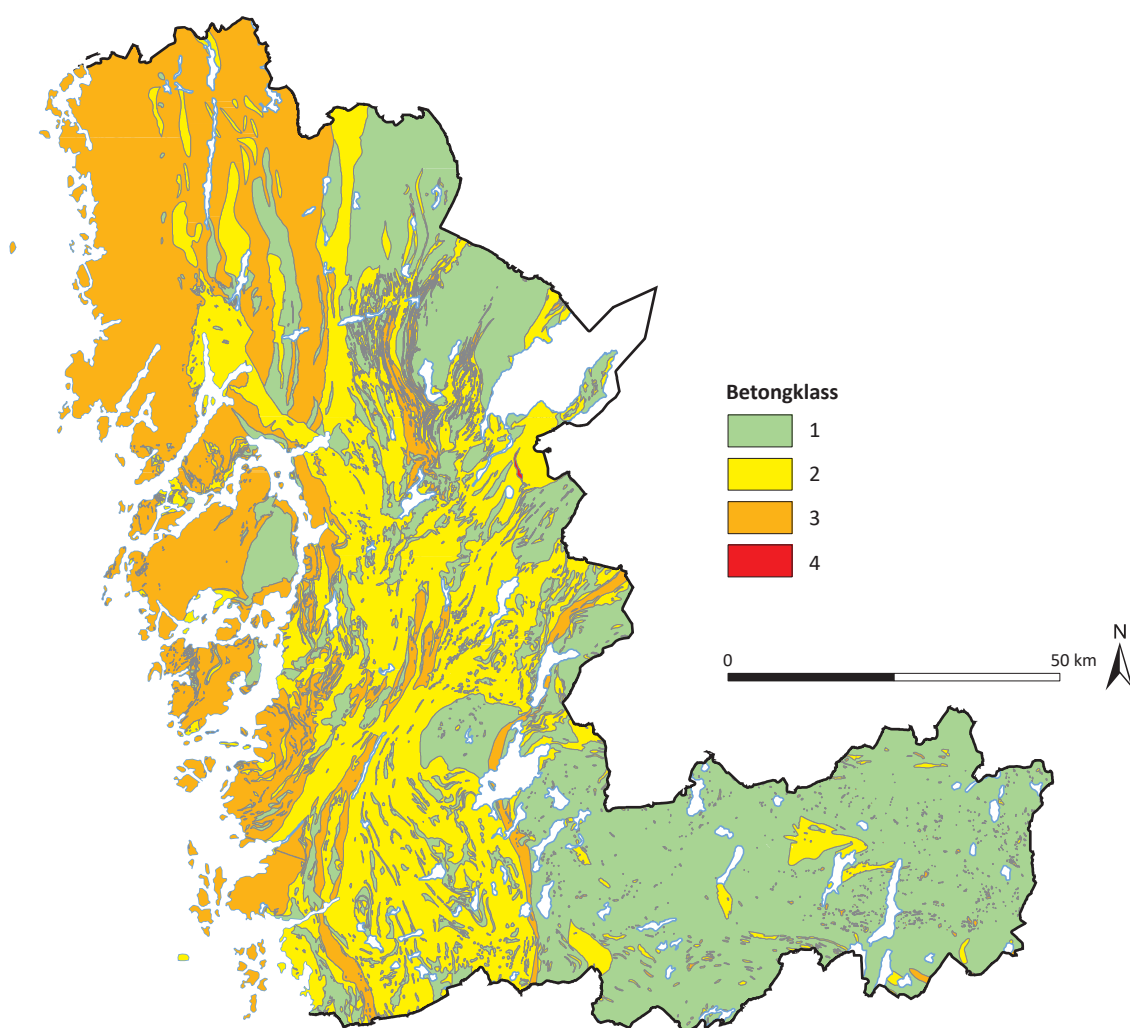
BERGKVALITETSKLASSNING

Med utgångspunkt från de analyser som gjorts på olika platser, och som ansetts väl representera berggrunden inom undersökningsområdet, har en karta över fördelningen av de olika bergkvalitetsklasserna med avseende på betongballast framställts (fig. 25). Med tanke på berggrundens heterogenitet blir sammanställningen översiktlig och i samband med exempelvis en täktansökan måste givetvis fler prover på den avsedda platsen tas och analyseras.

I bergkvalitetskartan för betong urskiljs områden med fyra kvalitetsklasser:

Klass 1. Mycket god. Klass 2. God. Klass 3. Mindre god. Klass 4. Dålig kvalitet.

Kvalitetsklass 1 har mycket goda förutsättningar att användas som betongballast, medan kvalitetsklass 4 anses som olämplig att använda för gällande ändamål. Bergarterna har klassats bland annat med hjälp av en tabell för några av de viktigaste parametrarna för berggrund som ska användas som betongballast (Mortensen & Göransson 2019; tabell 3).



Figur 25. Bergkvalitetskartan för betong över projektområdet. I området dominerar framför allt klass 1 i den östra delen, klass 2 i den centrala delen och klass 3 i den västra delen av området.

Bergkvalitetskartan – beskrivning av klassningen

Bergkvalitetskartan för betongändamål är en översiktlig bedömning av berggrundens lämplighet vilken baserats på bland annat ett antal bergartsprovningar. I de fall bergkvalitetskartan avses att användas för att starta en fullskalig produktion av betongballast bör det genomföras mer detaljerade undersökningar för att säkerställa att den lokala råvaran är funktionell och att de reserver som förekommer är tillräckliga för ändamålet.

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.

Bergarter i projektområdet som bedömts kunna användas som ballast för de flesta betongområden (klass 1) är glimmerfattiga och lågstrålande bergarter, ofta med en granitisk sammansättning. De kan förekomma både som yngre, massformiga granitförekomster och äldre, granitiska gnejser. Ofta kan även glimmerfattiga granodioriter och granodioritiska gnejser vara lämpliga bergarter för betongändamål. Om granodioriterna är glimmerfattiga är de ofta fältspatsrika vilket i så fall kan vara en förklaring till deras goda betongegenskaper.

Klass 1-material för betongändamål är relativt vanligt förekommande i projektområdet. Totalt är cirka 35 % av berggrunden klassad som ett klass 1-material och materialet är vanligast i de östra delarna av området.

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.

Bergarter i projektområdet som bedömts kunna användas som ballast för flera betongområden, klass 2-material, är bland annat olika djupbergarter med granodioritisk eller tonalitisk sammansättning. Ofta har de klassats som ett klass 2-material på grund av att de har något högre glimmerhalter. Även ett flertal kvartsfattiga bergarter som gabbro, diorit och diabas har kategoriserats som ett klass 2-material. Sådana bergarter bedöms inte vara helt oproblematiske i de fall de ska blandas upp med ett annat finfraktionsmaterial. Bland klass 2-materialen förekommer även vissa bergarter som har en liten förhöjning avseende strålningen.

Klass 2-material för betongändamål är även det relativt vanligt förekommande i projektområdet. Totalt är cirka 28 % av berggrunden klassad som ett klass 2-material och materialet är vanligast i de centrala delarna av området.

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 (exempelvis till husbetong på grund av AI större än 2 eller som ballast i fuktig betongmiljö på grund av ASR-värde på 3).

Bergarter i projektområdet där användningen är starkt begränsad för vissa betongområden är bland annat Bohusgranit och RA-granit. Bohusgraniten och RA-graniten är ställvis högstrålande och dessa bör därför inte användas som råvara till husbetong där människor vistas kontinuerligt. En annan bergart som är mindre lämplig att använda som betongballast är Stora Le-Marstrands-

formationen gnejser. Stundtals är dessa bergarter kraftigt glimmerförande. Bergarten varierar kontinuerligt mellan lägre och högre glimmerhalter längs med enskilda lager. Därför riskerar bergarter med högre halter av glimmermineral att erhålla en sämre arbetbarhet. Glimmerhalterna från en glimmerheterogen ytbergartsgnejs riskerar dessutom att variera kraftigt. Att uttaga massor inte är homogena avseende glimmerhalt kan äventyra en betongblandnings lämpliga och optimala vattenhalt.

Klass 3-material för betongändamål i projektområdet förekommer och dominerar främst i den västliga delen av området längs med kusten. Totalt är cirka 37 % av berggrunden inom projektområdet bedömd som ett klass 3-material.

Klass 4. Bergkvalitet för betong

Bergmaterialet lämpar sig inte som ballast för betong. Klass 4-material för betongändamål är mycket ovanligt förekommande i projektområdet. Totalt är endast mindre än 1 % av berggrunden klassad som ett klass 4-material. Detta bergmaterial utgörs av mindre skifferförekomster inom Idefjordenterrängen, bland annat belägna strax inunder Västgötabergen, platåbergen i Vänersborgs kommun.

Sammanfattningsvis har närmare två tredjedelar av berggrunden, 63 %, antingen klassats som klass 1 eller klass 2 för betongändamål. Det innebär att inom hela området bedöms det finnas goda möjligheter att hitta alternativa material till naturgrus för betongändamål.

RÅVARUFÖRSÖRJNING TILL BETONG – TIPS PÅ VIDARE LÄSNING

Grus, sand och krossberg 2021

För vidare läsning om dagsläget för betongproduktionen, naturgrusuttaget, framtidsvisionerna, maskinsandstillverkningen, viktiga materialegenskaper och lämpliga bergarter för betongtillverkning (SGU 2022, s. 28–37).

Alternativa bindemedel till betong – En sammanfattning av kunskapsläget, i ett hållbarhetsperspektiv

För att tillverka betong behövs inte bara betongballast utan även ett bindemedel. Cement är det vanligaste bindemedlet som används till betong. Cement tillverkas av bland annat kalksten och lera som bränns i stora ugnar med temperaturer runt 1 450 °C. Det krävs mycket energi att tillverka cement och när kalkstenen bränns avges koldioxid. För att minska energiförbrukningen och CO₂-avtrycket i betong finns därför en strävan efter att hitta alternativa bindemedel till betong. SGU har nyligen i ett regeringsuppdrag publicerat en sammanfattning av det befintliga kunskapsläget om alternativa bindemedel till betong (Mortensen m.fl. 2022).

Cone Crusher Performance

En viktig parameter för att kunna använda fler bergarter som alternativ till naturgruset som ballast för olika betongändamål är de krossningstekniker som används. Vilken sorts krossningsteknik ballastmaterial genomgår har betydelse för hur bra kornform en betongballast får. Chalmers tekniska högskola har studerat frågan om krossning i ett antal avhandlingar. För vidare information om de olika krossningstekniker som kan användas för att producera ett mer rundat ballastmaterial (Evertsson 2000).

REFERENSER

- Appelquist, K., Trädgårdh, J., Döse, M., Göransson, M., 2013. Alkalisilica-reactivity of Swedish aggregates used for concrete. Alkali aggregate reactions (AAR) in concrete. Workshop proceeding from a Nordic – Baltic mini seminar Riga, Latvia, 21–22 November 2013.
- Bergström, U. & Jönberger, J., 2021: Beskrivning av berggrunden inom ett område på kartbladen 9B Dals Ed, 9C Mellerud och 8C Lidköping. *Sveriges geologiska undersökning K 691*, 41 s.
- Bingen, B., Viola, G., Möller, C., Auwera, J.V., Laurent, A. & Yi, K., 2021: The Sveconorwegian Orogeny. *Gondwana Research 90*, 273–313
- Energimyndigheten, 2015: Vindkraftens resursanvändning – Underlag till Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad. Ett livscykelperspektiv på vindkraftens resursanvändning och växthusgasutsläpp
- Evertsson, C.M., 2000: *Cone crusher performance*. Doktorsavhandling. Machine and vehicle design, Chalmers University of Technology, Sweden.
- 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.
- Göransson, M. & Persson, L., 2018: Beskrivning till bergkvalitetskartan, Kungälv. *Sveriges geologiska undersökning K 610*, 29 s.
- Jelinek, C. & Eliasson, T., 2015: Strålning från bergmaterial. *SGU-rapport 2015:34*. Sveriges geologiska undersökning, 26 s.
- Lagerblad, B., 2005: Krossat berg som ballast till betong. *SBUF Projekt 11602*. Cement och Betong Institutet, 72 s.
- Lagerblad, B., 2018. Tåktverksamhet och betongballast. Sveriges Bergmaterialindustri.
- Lagerblad, B., 2010: Alkalisilika reaktioner i betong med krossballast. MinBas 2, Produktutveckling, projektområde 2. *Rapport projekt nr 2.1.6c.*, 10 s.
- Lagerblad, B. & Trädgårdh, J., 1992: Alkalisilikareaktioner i svensk betong. *CBI, 4:92, 1992*, 74 s.
- Lundqvist, I. & Kero, L., 2006: Beskrivning till berggrundskartan 7B Göteborg SV. *Sveriges geologiska undersökning K 60*, 82 s.
- Mortensen, G.M., Tarras, H., Göransson, M., Taromi Sandström, O., Malaga, K., Helsing, E., Utgenannt, P. & Sundling, E., 2023: Rapportering av regeringsuppdrag. Alternativa bindemedel till betong – En sammanfattning av kunskapsläget, i ett hållbarhetsperspektiv. *RR 2023:02*. Sveriges geologiska undersökning, 77 s.
- Mortensen, G.M. & Göransson, M., 2019: Bergkvalitet Skåne – beskrivning till bergkvalitetskartor över delar av Söderåsen, Kristianstadsområdet, Linderödsåsen och Romeleåsen. *Sveriges geologiska undersökning K 623*, 49 s.
- RILEM, 2000a: A – TC 106-2 – Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – The ultra-accelerated mortar bar test. *Materials and Structures 33*, 283–289.
- RILEM, 2000b: AAR-3: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates-method for aggregate combinations using concrete prism. *Materials and Structures 33*, 290–293.
- RILEM, 2003: AAR-1 – Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method. *Materials and Structures 36*, 480–496.
- SGU, 2022: Grus, sand och krossberg 2021. *Periodisk publikation 2022:3*. Sveriges geologiska undersökning.

- Socialstyrelsen, Statens planverk & Strålskyddsinstitutet, 1981: Strålning i byggnader. Om olägenheterna med radon och hur de kan motverkas. *Statens planverk Rapport 54*, 119 s
- Stomvall, R., Evertsson, M., Murén, P., Bida, J. m.fl., 2015: Uthållig produktion av finkorniga produkter från bergmaterial, Chalmers tekniska högskola m.fl. (24 projektpartner), Sverige.
- Svensk Standard, 2008: SS-EN 12620/A1:2008 – Ballast för betong. Swedish Standards Institute. *Strålskyddsförordningen (2018:506)*, 64 s.
- Trafikverket, 2001: VVMB 613 - Bestämning av glimmerhalt i materialets finfraktion. Vägverkets metodbeskrivningar till ATB Väg. *VV Publ. 2001:100*, 8 s
- Trafikverket, 2015: Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter. *Rapport 2015:057*, 51 s
- UNEP, 2019: Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland.
- UNEP, 2022: Sand and Sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland.
- Vägverket, 2005a: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. Kapitel E. Obundna material. *ATB VÄG 2005 Publ 2005:112*, 105 s
- Vägverket, 2005b: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. Kapitel F. Bitumenbundna material. *ATB VÄG 2005 Publ 2005:112*, 90 s
- Åhäll, K.-I., Cornell, D.H. & Armstrong, R., 1998: Ion probe zircon dating of metasedimentary units across the Skagerrak: New constraints for early Mesoproterozoic growth of the Baltic Shield. *Precambrian Research* 87, 117–134.