© 2026 Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors.

VÄGEN TILL OBJEKTIV BERGTEKNISK KÄRNKARTERING

THE ROAD TO OBJECTIVE GEOTECHNICAL CORE LOGGING

Jolanta Switala, ITASCA
Robert Swindell, ITASCA
Yukun Wei, ITASCA
Catrin Edelbro, ITASCA och KTH

SAMMANFATTNING

Bergteknisk kärnkartering är en av de mest använda metoderna för att undersöka och karakterisera bergmassor. Trots dess omfattande tillämpning saknas dock idag en etablerad branschgemensam metodik. Detta medför inkonsekvent datainsamling och ökad risk för avvikelser mellan prognostiserade och faktiska bergförhållanden.

Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo) har sponsrat ett projekt för att öka kunskapen om utförande och dokumentation av bergteknisk kärnkartering inom bergbranschen i Sverige. Studien inleddes med en litteraturstudie som omfattade internationella standarder och riktlinjer, samt en undersökning av ny teknik och nya metoder. Vidare genomfördes också kvalitativa intervjuer med erfarna kärnkartörer i syfte att kartlägga rådande praxis i Sverige.

Resultaten visade att skillnaderna i utförande i huvudsak kan härledas till brister och otydliga formuleringar i befintliga standarder och riktlinjer. De områden som bedömdes ha störst förbättringsbehov var planering av bergteknisk kärnborrning, hantering av borrkärnor, kartering av diskontinuiteter, rutiner för kvalitetskontroll samt dokumentation och datalagring.

Studien drar slutsatsen att en branschövergripande standard för bergteknisk kärnkartering behövs. Rekommendationer har tagits fram inom projektet för att underlätta utvecklingen av en sådan standard. För att ytterligare höja objektiviteten i karteringen rekommenderas även nyttjande av automatisering och modern teknik, där exempel på tillämpningar inom bergteknisk kärnkartering redovisas. Det fullständiga resultatet av projektet presenteras i BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026) och sammanfattas i denna artikel.

Nyckelord: bergteknisk kärnkartering, kärnborrning, borrkärna, diskontinuitet, karakterisering.

SUMMARY

Geotechnical core logging is one of the most widely used methods to investigate and characterize rock masses for design and construction of rock engineering structures. Despite the widespread use of the method there is a lack of an established industry wide methodology for geotechnical core logging within the Swedish rock engineering industry. This results in inconsistent data collection and increased risk that the actual ground conditions deviate from those that were forecast based on interpretation of the core logging results.

The Swedish Rock Engineering Research Foundation (BeFo) sponsored a project to collect and spread knowledge regarding current geotechnical core logging practices in the Swedish rock engineering industry. Currently applied practice for geotechnical core logging has therefore been evaluated by conducting a literature review covering international standards and guidelines, along with a review of new methods and technologies. Additionally, qualitative interviews on the topic with experienced practitioners within the field of geotechnical core logging were conducted.

The differences in practice were found to be mainly due to significant shortcomings and vague descriptions in existing standards and guidelines. The areas in need of most improvement were planning for geotechnical core drilling, core handling, discontinuity logging and routines for quality control, documentation, and data storage. The lack of consistent nomenclature in geotechnical core logging was also identified as a problem that should be addressed.

Based upon this study it was concluded that there is a need for an industry wide standard on geotechnical core logging. Recommendations for good geotechnical core logging practice have been developed to help development of such guidelines. These recommendations are summarized in this paper. To further increase the objectivity of results, the use of automation and new technologies is also encouraged. Several examples of promising technologies which may be applicable to geotechnical core logging are showcased. The complete findings of the project are presented in BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026) and are summarized in this paper.

Keywords: geotechnical core logging, core drilling, drill core, discontinuity, rock mass characterization.

1 INTRODUKTION

Bergteknisk kärnkartering är en av de mest använda metoderna för undersökningar av bergtekniska egenskaper. Metoden kan däremot präglas av osäkerheter och bias i samtliga steg av processen (Swindell m.fl., 2017), vilket kan leda till inkonsekvent bedömning av bergtekniska data, felaktiga tolkningar och i slutändan avvikelser mellan prognostiserade och faktiska bergförhållanden. Teknologiska framsteg som avancerade avbildningstekniker och maskininlärning har lett till utveckling av digitala automatiserade eller semiautomatiserade lösningar för geologisk kartering. Möjligheterna att tillämpa dessa metoder inom bergteknisk kärnkartering och därigenom öka effektiviteten är betydande.

Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo) har sponsrat ett projekt för att öka kunskapen om utförande och dokumentation av bergteknisk kärnkartering inom bergbranschen i Sverige. Resultatet av denna studie presenteras i BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026) och sammanfattas i denna artikel.

2 MÅL OCH METOD

Målet med projektet var att:

- Undersöka och kartlägga aktuell praxis för bergteknisk kärnkartering i Sverige.
- Ta fram en sammanställning av ny teknik och nya metoder för objektiv karaktärisering.
- Ta fram rekommendationer för utförande av bergteknisk kärnkartering.
- Sprida kunskap om goda exempel och bra praxis inom bergbranschen.

För att uppnå projektets mål genomfördes kvalitativa intervjuer med erfarna yrkesutövare inom branschen. Intervjupersonerna omfattade 14 erfarna yrkesutövare verksamma inom infrastruktur-, gruv- eller energisektorn. Totalt ställdes 44 frågor avseende praxis för bergteknisk kärnkartering samt synpunkter på branschpraxis och behovet av riktlinjer. Samtidigt genomfördes en litteraturstudie omfattande internationella standarder och riktlinjer för bergteknisk kärnkartering. Därutöver genomfördes en litteraturgenomgång av ny teknik och nya metoder för kärnkartering, med särskilt fokus på att identifiera mer objektiva arbetssätt för kärnkartering.

Denna artikel utgör en sammanfattning av resultatet av projektet. För en fullständig beskrivning, inklusive rekommendationer för utförandet av bergteknisk kärnkartering, se BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026).

3 PUBLICERADE STANDARDER OCH RIKTLINJER

Resultaten från litteraturstudien visar att befintliga riktlinjer och standarder är huvudsakligen framtagna för karaktärisering och beskrivning av berg i allmänhet, snarare än specifikt för bergteknisk kärnkartering. Detta innebär att yrkesutövare inom kärnkartering tvingas anpassa de skriftliga rekommendationerna till kärnkartering med hjälp av eget omdöme. De riktlinjer som i dag används vid bergteknisk kärnkartering i Sverige är spridda över ett flertal olika dokument som beskrivs nedan:

- **ISO 22475-1:2021** kan betraktas som användbar vid specificering av krav för kärnborrning och provtagningsprogram i syfte att säkerställa god praxis.
- **EN 1997-2:2007** tillhandahåller ett övergripande ramverk för krav på bergtekniska undersökningar, men saknar specifika krav för kärnkartering.
- **ISO 14689:2018** innehåller allmänna anvisningar för karakterisering av diskontinuiteter och bergmassan, men är inte specifikt anpassad för borrkärnor.
- **ISRM Suggested Methods (Ulusay & Hudson, 2007)** innehåller detaljerade riktlinjer för bergteknisk kärnkartering, men lämnar ändå relativt stort utrymme för tolkning.
- **Trafikverket (2019 och 2025)**, **NGI (2015 och 2025)** och **Bieniawski (1989)** ger generell vägledning för karakterisering av bergmassa, men saknar detaljerad information om hur dessa system ska tillämpas vid bergteknisk kärnkartering.

Det bör även noteras att samtliga studerade standarder ofta hänvisar till ISRM Suggested Methods (Ulusay & Hudson, 2007), trots att dessa inte utgör standarder i juridisk mening.

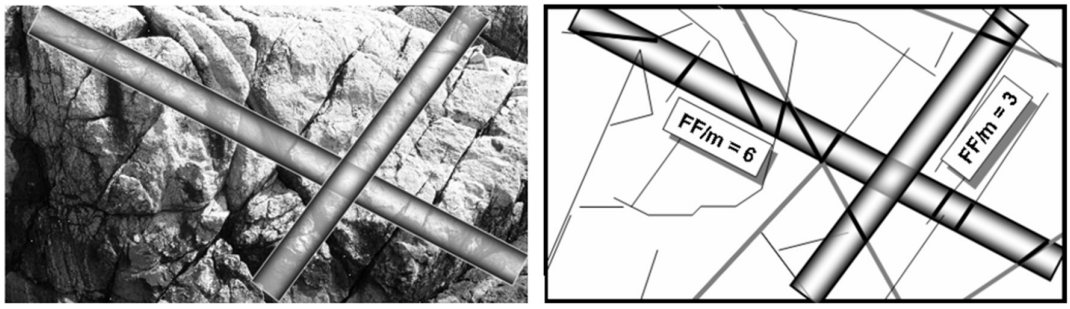
Avsaknaden av heltäckande publicerade standarder och riktlinjer för bergteknisk kärnkartering har lett till att organisationer, såsom privata företag och enskilda projekt, har utvecklat egna interna riktlinjer. Dessa interna dokument är ofta otillgängliga för den bredare bergtekniska branschen och försvårar därmed kunskapsdelning och utbyte av god praxis. Resultaten från intervjuerna bekräftade en stor variation i tillämpad praxis för bergteknisk kärnkartering. Intervjupersonerna uppgav att de använder många olika riktlinjer, både publicerade och interna, i kombination med egen tolkning av riktlinjerna och yrkeserfarenhet.

4 SAMMANFATTNING AV RÅDANDE PRAXIS

4.1 Förberedelse inför bergteknisk kärnkartering

Planering av bergtekniska kärnborrningsprogram är det första steget i processen och har en betydande inverkan på resultaten av bergteknisk kärnkartering, trots detta är hälften av de intervjuade erfarna yrkesutövarna inte involverade i detta skede. Den rumsliga

placeringen av borrhål, deras orientering och avstånd bör planeras noggrant för att erhålla en korrekt bild av platsens bergförhållanden. Borrhålets orienteringsbias är ett välkänt problem som kan leda till att diskontinuiteter som är subparallella med borrhålet underrepresenteras (Jakubec & Esterhuizen, 2007), se Figur 1. Detta påverkar i sin tur även resultaten från övriga system för karakterisering av bergmassan.



Figur 1 Exempel på orienteringsbias vid kärnborrning (Jakubec & Esterhuizen, 2007). FF/m är sprickfrekvensen i antal sprickor per meter.

Val av borrmetod och hur borrningen utförs har också stor betydelse för kvaliteten på borrkärnan, särskilt i sämre berg eller där mjuka sprickfyllnader förekommer. Hur borrkärnan hanteras, transporteras och lagras är ytterligare avgörande faktorer som påverkar provkvaliteten och därmed också resultaten av bergteknisk kärnkartering. Störningar i kärnan kan uppstå till följd av oaktsam överföring från kärnfångare till kärnlådor, bristfällig hantering, vibrationer under transport samt förändringar i temperatur, fukthalt eller oxidation. Rutiner för kärnhantering behandlas endast i få publicerade eller interna riktlinjer, men omfattas av ISO 22475-1:2021. Resultaten från intervjuerna indikerar dock att denna standard är relativt okänd för många yrkesutövare inom kärnkartering.

Orientering av borrkärnor är ytterligare ett område som inte behandlas tillräckligt i publicerade standarder och riktlinjer, vilka ofta beskriver föråldrade manuella tekniker och ger begränsad information om moderna digitala orienteringsmetoder. Den begränsade kunskapen om kärnorienteringsmetoder noterades även i intervjuerna.

Ett heltäckande och väl dokumenterat borrprotokoll är en viktig del av dokumentationen av borrningsprocessen och kan förse kartörerna med avgörande information. Intervjuerna och litteraturstudien visade att vissa företag har standardiserade mallar för borrprotokoll, vilket är en praxis som bör spridas.

Om borrhålsfilmning ska utföras krävs ytterligare hänsyn under planeringsfasen av undersökningen, exempelvis avseende borrhålsdiameter, lutning, spolning av borrhålet för att rengöra borrhålsväggarna samt val av foderrörstyp. Endast en av intervjupersonerna betonade vikten av detta.

Före påbörjad bergteknisk kärnkartering har ett antal kontroller inför kartering identifierats, både i de studerade riktlinjerna och i intervjuerna. Att kartörer kontrollerar djupmarkeringar, kärnfångst och kärnförlust som registrerats av borrarna för respektive kärnupptag är en vanlig praxis som är relativt väl beskriven. Rutiner för märkning av kärnlådor är visserligen inte fullt standardiserade, men utförs på ett likartat sätt inom branschen. Praxis för hur naturliga diskontinuiteter ska särskiljas från mekaniska brott är också relativt samstämmig mellan de studerade riktlinjerna och de beskrivningar som framkom under intervjuerna.

Fotografering av kärnlådor i både vått och torrt tillstånd, tillsammans med samtliga märkningar, är också vanlig förekommande praxis. Däremot saknas ofta en mätskala i fotografierna. Genom att inkludera både skala och färgkarta kan jämförelser mellan bilder från olika hål/projekt möjliggöras.

4.2 Utförande av bergteknisk kärnkartering

Kartering av diskontinuiteter

De publicerade standarderna och riktlinjerna lyfter fram svårigheterna med karakterisering av diskontinuiteter i borrkärnor till följd av den begränsade provstorleken. Det är därför av stor vikt att tillhandahålla specifika riktlinjer för kartering av diskontinuiteter i borrkärnor i syfte att begränsa subjektiviteten i tolkningar.

Intervjupersonerna identifierade sprickråhet som en av de parametrar som är svårast att bedöma på grund av sprickytans begränsade storlek i en borrkärna. Bedömning av sprickomvandlingstalet J_a (NGI, 2025), apertur (sprickvidd) samt bedömning huruvida diskontinuiteter varit öppna in situ eller öppnats i samband med borrningen ansågs också problematiskt, samtliga förknippade med betydande osäkerheter.

Gällande bedömning av antal sprickgrupper rekommenderar majoriteten av de studerade riktlinjerna att hänsyn bör tas till den tre-dimensionella strukturgeologin i den undersökta bergvolymen baserat på data från olika informationskällor (i fall informationen finns). Den variation i tillämpad metodik som beskrevs av intervjupersonerna indikerar att uppskattning av antalet sprickgrupper för karakterisering av bergmassan inte utförs på ett konsekvent sätt.

Karakterisering av bergmassa

Två olika metoder för sektionering av borrkärnor i bergtekniska intervall framkom i intervjuerna. En metod innebär tillämpning av fördefinierade 1 m-intervall och den andra tillåter anpassning av intervall efter förändringar i geologiska eller bergtekniska egenskaper. Standardiserade intervaller om 1 m är vanligare inom svenska infrastrukturprojekt jämfört med andra sektorer. För- och nackdelar mellan dessa två metoder har be-

lysts i tidigare studier (se Swindell m.fl., 2017 och Grigull m.fl., 2020) och val av metod avgörs vanligtvis av verksamheten som utför karteringen.

Kartering av vittringsgrader (som ibland även omfattar omvandling) är relativt konsekvent beskrivet i de studerade riktlinjerna och i de genomförda intervjuerna. De vanligaste metoderna för uppskattning av hållfasthet av intakt berg inom den svenska branschen är ISRM:s manuella indexbedömning (Ulusay & Hudson, 2007), ofta med modifierade beskrivningar, samt punktlasttester (PLT) och enaxiella trycktester (UCS).

System för karakterisering av bergmassan, såsom RMR (Bieniawski, 1989) och Q-systemet (NGI, 2025) utvecklades ursprungligen för kartering av tunnlar och underjordskonstruktioner och därefter började tillämpas vid kärnkartering. När systemen används i samband med kärnkartering uppstår ett antal problem. Borrhålets orienteringsbias kan ha en betydande inverkan på uppskattningen av *RQD*, sprickavstånd samt vid bedömning av antal sprickgrupper. Vid användning av tabell E i RMR-systemet (riktlinjer för klassificering av diskontinuiteternas tillstånd) är det inte möjligt att bedöma spricklängd baserat på borrkärnor, och det är inte heller möjligt att särskilja mellan de två lägsta klasserna för apertur. Råhetsklassningen i samma tabell är subjektiv, och bedömning av sprickfyllnad kan dessutom påverkas av vald borrmetod och tillämpad kärnhantering (motsvarande gäller för sprickomvandlingstal (J_a) i Q-systemet). Sprickråhetsindex (J_r) i Q-systemet är också svårt att utvärdera med hänsyn till den begränsade provstorlek som är synlig i kärnan samt de trubbiga vinklar med vilka sprickor kan skära kärnan. Q-systemet ger dessutom ingen tydlig definition av när termen "slickensided" ska användas.

4.3 Kvalitetskontroll

En annan aspekt som inte behandlas i de studerade riktlinjerna, varken publicerade eller interna, är metoder för kvalitetskontroll av bergteknisk kärnkartering. Resultaten från intervjuerna indikerar dock att vissa former av kvalitetskontroll ändå tillämpas, exempelvis egenkontroller, granskning av seniora geologer eller kollegor samt inbyggda kontroller i karteringsprogramvaror. Systematiska rutiner för kvalitetskontroll är dock ett viktigt arbetsmoment och bör införas för all bergteknisk kärnkartering.

4.4 Redovisning och dokumentation

De krav på redovisning och dokumentation av resultat från bergteknisk kärnkartering som anges i de studerade riktlinjerna är i huvudsak avsedda för generella rapporter från bergtekniska undersökningar och är inte tillräckligt specifika för kärnkartering. Därav kan man se många olika sätt att redovisa och dokumentera resultatet i branschen. Avsaknad av ett enhetligt standardiserat sätt att dokumentera resultatet gör det svårt att återanvända data för användning i framtida projekt.

5 NYA METODER OCH TEKNIKER

Resultaten från intervjuerna visade att mycket få yrkesutövare har testat nya teknologier som redan finns tillgängliga på marknaden. Det framfördes att dessa metoder fortfarande är kostsamma och att kvaliteten i nuläget upplevs som lägre jämfört med arbete utfört av erfarna kärnkartörer. Problem kopplade till kompatibilitet mellan data och programvara för ny och äldre teknik nämndes också, liksom svårigheter med integration av ny teknik i befintliga rutiner för konventionell kärnkartering. Dessa aspekter är avgörande för att verksamheter ska kunna införa och tillämpa ny teknik och nya metoder.

Samtidigt framgår det att betydande innovation och forskning fortfarande pågår inom området. Kärnskanning och automatiserad kärnkartering baserat på avbildade kärnor (Figur 2) har fortfarande stor potential att ge mer objektiva och konsekventa resultat.

Nya system för karakterisering av bergmassan, särskilt utvecklade för borrkärnor, såsom SSV-systemet beskrivet av Hakami m.fl. (2022), kan även bidra till att hjälpa geologer och ingenjörer att hantera de problem som uppstår vid användning av karakteriseringssystem som ursprungligen utvecklats för ytkartering.

Figur 2 Hyperspectral Core Imager (HCI) till vänster (https://corescan.com.au/products/hyimager) och Minazlyer CS till höger (https://minalyze.com/press-and-media).

6 REKOMMENDATIONER BERGTEKNISK KÄRNKARTERING

Rekommendationer för utförandet av bergteknisk kärnkartering finns angivna i BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026).

Rekommendationer har tagits fram som underlag för framtida utveckling av en branschövergripande standard eller riktlinje för bergteknisk kärnkartering. Dessa rekommendat-

ioner kan även med fördel nyttjas i projekt där bergteknisk kärnkartering planeras utföras, eller som underlag för utveckling av egna rutiner för bergteknisk kärnkartering. I många fall har rekommendationerna formulerats som påminnelser till yrkesutövaren om frågor som bör beaktas, snarare än som specifika anvisningar för hur en viss del av kärnkarteringsprocessen ska utföras. Framtagna rekommendationer är inte uttömmande, och i denna artikel presenteras endast ett urval. För en fullständig beskrivning av framtagna rekommendationer hänvisas till BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026).

Planering av bergteknisk kärnborrning

- Val av borrmetod, typ av foderrör, provtagningskategori och borrhålsdiameter bör baseras på förväntade platsförhållanden. Relevanta krav för borrning och hantering av borrkärnor bör tydligt specificeras för borrpersonalen.
- I bergförhållanden med hög risk för kärnförlust eller där kärnfångst är kritiskt ska trippelrörssystem föreskrivas för att bevara kärnan.
- Om orienterad borrkärna krävs ska lämplig metod för borrhålsorientering väljas och specificeras för borrpersonalen.
- Krav på hur borrkärnan ska överföras från kärnrör till kärnlåda ska specificeras för borrpersonalen.
- Krav på lagring av borrkärnor på plats samt transport av kärnlådor ska anges.
- Borrhålsfilmning bör övervägas som komplement till konventionella orienteringsmetoder när det är viktigt att fastställa diskontinuiteternas orientering, apertur eller egenskaper hos svaghetszoner.
- Om borrhålsfilmning ska utföras ska detta planeras före utförande av borrning. Val av borrhålsdiameter, lutning, installation av foderrör och spolningsmetod ska göras för att säkerställa bästa möjliga bildkvalitet.
- Metod för utsättning av borrhålets position (riktning och koordinater) ska tydligt specificeras.
- Metod för inmätning av borrhålsmynning (borrhålets startpunkt) för dokumentation av koordinater och orientering ska tydligt specificeras.
- Tillåten borrhålsavvikelse samt metod för borrhålsinmätning (krökhetsmätning) ska anges. Val av metod ska ta hänsyn till risken för magnetiska störningar.
- Metod för återfyllning av borrhål, hantering av borrvätska samt riktlinjer för återställning av borrplats ska tillhandahållas. Det är av särskild vikt att borrhål som passerar nära eller skär underjordiska konstruktioner tätas tillräckligt för att förhindra vatteninträngning eller utkast av projektiler vid sprängning.
- En mall för borrprotokoll ska tillhandahållas, se BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026) för vidare detaljer om förslag till innehåll.

- Total kärnfångst (TCR) bör registreras av borrpersonalen. Eventuell kärnförlust ska tydligt markeras och ersättas med träklossar (med samma längd som saknad kärna) där från- och till-intervall anges.
- Eventuella mekaniska brott bör tydligt markeras på borrkärnan med ett kryss över båda sidor av brottet av borrpersonalen, och möjlig orsak ska noteras i borrprotokollet.
- Kärnlådor med samtliga märkningar bör fotograferas på plats innan de stängs.

Kärnhantering och förberedelse inför kärnkartering

- Ett system för urval, förberedelse och märkning av prov för fält- och laboratorietester bör etableras.
- En specifikation för märkning av kärnlådor och borrkärnor bör upprättas.
- En plan för lagring av kärnlådor efter avslutad kartering bör tas fram.
- Kartörer ska före påbörjad kartering bekanta sig med borrhålets läge samt dess geologiska och bergtekniska förhållanden med hjälp av tillgängliga datakällor.
- Kärnlådor bör fotograferas i det skick de levererats av borrpersonalen innan kartering påbörjas.
- Borrhåls-ID, djup för respektive kärnupptag, TCR (total kärnfångst) och kärnförlust ska kontrolleras av kartören. Om nya mekaniska brott identifieras ska dessa också markeras med ett kryss.
- Kärnlådor ska fotograferas i både vått och torrt tillstånd tillsammans med samtliga märkningar, en mätskala samt en färgkarta synlig i bilden. Om möjligt bör fotografering ske med konsekvent kamerainställning och ljussättning. Fotografier bör tas och lagras i hög upplösning.

Bergteknisk kärnkartering

- Följande arbetsflöde rekommenderas:
  1. Utför en översiktlig genomgång av samtliga kärnlådor. Kontrollera djup för respektive kärnupptag, säkerställ att kärnan är korrekt sammanställd och identifiera större förändringar i bergmassans bergtekniska karaktär.
  2. Fastställ geotekniska intervall. Vid behov kan ytterligare intervall läggas till i senare skeden under den mer detaljerade karteringen.
  3. Kartera borrkärnans generella egenskaper (t.ex. litologi, TCR, sprickfrekvens, RQD, uppskattning av enaxiell tryckhållfasthet (UCS)). Denna kartering bör utföras enligt ISRM Suggested Methods (Ulusay & Hudson, 2007).
  4. Kartering och karakterisering av diskontinuiteter.
  5. Bedömning av bergmassans kvalitet.

  Beroende på karteringsfaciliteter och kartörens arbetsmetodik kan aktiviteterna 3, 4 och 5 ovan genomföras per kärnlåda eller över längre delar av borrkärnan.

- Val av geotekniska intervall bör fastställas för respektive projekt med beaktande av begränsningarna i vald metod.
- Ett system för litologisk loggning bör etableras baserat på ISO 14689:2018 och förväntade bergförhållanden på platsen.
- Ett tydligt system för klassificering av olika typer av diskontinuiteter bör etableras.
- Om svaghetszoner ska karteras separat ska ett tydligt system och definitioner av zonernas typer fastställas, tillsammans med vilka parametrar som ska registreras.
- System för karakterisering av bergmassan ska tydligt definieras. Systemet kan baseras på ISO 14689:2018, men justeras vid behov.
- ISRM:s vittringssystem (Ulusay & Hudson, 2007) kan användas som grund för kartering av nedbrytning till följd av vittring. Systemet kan även anpassas för klassificering av andra sekundära processer som kan påverka bergmassans kvalitet, såsom hydrotermal omvandling.
- Systematisk fältuppskattning av hållfasthet för intakt berg bör utföras enligt ISRM (Ulusay & Hudson, 2007) med hjälp av indexbedömning (mindre justeringar kan göras vid behov).
- Punktlasttester (PLT) bör utföras enligt ISRM (Ulusay & Hudson, 2007). Där egenskaper hos intakt berg är av särskild betydelse (t.ex. i höga spänningsmiljöer eller svaga bergmassor) rekommenderas systematiska PLT med regelbundna intervall.
- Vid avsaknad av orienterad borrkärna bör den skenbara orienteringen, θ, mätas enligt ISRM (Ulusay & Hudson, 2007).
- När borrkärnan orienterats med konventionella metoder kan diskontinuiteters orientering mätas med specialutrustning såsom Reflex IQ-Logger (IMDEX, 2025), kenometrar eller genomskinliga omslutande gradskivor.
- Om det är praktiskt möjligt ska verkligt vinkelrätt avstånd enligt ISRM (Ulusay & Hudson, 2007) användas vid mätning av sprickgruppers avstånd. Om detta är svårt på grund av avsaknad av orienterad kärna eller stor variation i orientering kan avstånd mätas längs kärnans axel. Vald metod ska tydligt specificeras i karteringsrutiner och på karteringsmallar för att undvika metodologiska oklarheter.
- Bedömning av apertur direkt på borrkärna bör baseras på ISRM:s metodik (Ulusay & Hudson, 2007). Borrhålsfilmning kan användas för mer noggrann mätning om parametern är av stor betydelse. Modifiering av ISRM:s aperturklasser kan vara nödvändig för att förbättra upplösning och mätbarhet av klasserna.
- Bedömning av sprickråhetstal (J_r), sprickomvandlingstal (J_a) och relaterade parametrar kan vara svår i borrkärnor. Tilläggsbeskrivningar av dessa parametrar vid kärnkartering kan tas fram för att underlätta bedömningen.
- Bedömning av antalet sprickgrupper och parametern J_n bör följa NGI:s riktlinjer (NGI, 2025). Begränsningarna i att uppskatta J_n utifrån ett enskilt borrhål ska be-

aktas, och stereografiska projektioner för övriga källor bör om möjligt användas som stöd.
- Karakterisering av bergmassan med Q-systemet och RMR i borrkärnor bör normalt baseras på konceptet med basindex enligt Trafikverket (2025).

Kvalitetskontroll och osäkerhetsbedömning

- Systematiska rutiner för kvalitetskontroll bör utvecklas.
- Ett referensbibliotek med borrkärneprover som representerar typiska egenskaper för olika bergmassatyper, såsom sprickråhet, sprickfyllnad, J_r- och J_a-värden, bör etableras vid större projekt där flera kartörer arbetar parallellt.
- Standardiserade checklistor för egenkontroll bör tas fram för kartörerna.
- Rutiner för kvalitetskontroll bör inkludera regelbunden granskning av karteringsresultat av en senior geolog eller bergmekanisk ingenjör. Det är även fördelaktigt att genomföra återkommande kalibreringsövningar där flera kartörer karterar samma kärnsektion.
- Vissa karteringsparametrar som baseras på likartade egenskaper kan användas för korsvis kontroll av bedömda värden (t.ex. RQD jämfört med sprickfrekvens).
- Digitala karteringssystem bör innehålla inbyggda begränsningar för att förhindra orealistiska eller omöjliga värden.
- Ett system för att bedöma tillförlitligheten hos olika sektioner av orienterad borrkärna bör utvecklas vid konventionell kärnorientering.

Presentation och dokumentation av resultat

- Standardiserade mallar för borrprotokoll, inmätning/surveyresultat samt mallar för bergteknisk kärnkartering bör utvecklas.
- Rutiner för kärnkartering bör tas fram för att säkerställa att så stor del av data som möjligt lagras digitalt.
- Mallar för presentation av resultat bör utvecklas (resultat kan exempelvis presenteras i 3D längs borrhål, som striploggar eller i andra lämpliga format).
- Lagring av kärnkarteringsdata i standardiserad och enhetlig databas rekommenderas, åtminstone per företag eller beställare. Standardiserat dataformat bör utvecklas för att möjliggöra lagring av kärnkarteringsdata på nationell nivå.
- Eventuella kvalitetsbrister eller osäkerheter i resultaten från bergteknisk kärnkartering bör dokumenteras. Detta kan exempelvis omfatta osäkerheter kopplade till inmätning av borriggens position, borrhålsavvikelse, kärnorientering, sprickornas ursprung, bergmassans heterogenitet, tillämpade system för karakterisering av bergmassan eller andra faktorer som påverkar tillförlitligheten i karteringsresultaten.

7 SLUTSATSER

Studien har identifierat flera betydande brister och förbättringsområden som behöver adresseras för att höja kvaliteten på bergteknisk kärnkartering inom den svenska bergtekniska branschen. Publicerade standarder och riktlinjer är inte utformade specifikt för bergteknisk kärnkartering och därmed lämnar mycket utrymme för olika tolkningar. Utvecklig av en standard för bergteknisk kärnkartering med tillräcklig flexibilitet för att tillgodose behoven hos olika parter av branschen hade gjort väsentlig nytta för bergbyggnasbranschen. De rekommendationer som anges i BeFo rapport 270 (Switala m.fl., 2026) har tagits fram för att kunna utgöra ett underlag till en sådan standard, men kan även vara till hjälp för organisationer och projekt som planerar att genomföra bergteknisk kärnkartering. Vidare bör branschen etablera en tydlig och gemensam terminologi för bergteknisk kärnkartering, och ett standardiserat dataformat för lagring av data från kärnkartering för att möjliggöra smidig dataöverföring mellan olika databaser, projekt och företag.

Det är författarnas förhoppning att de exempel på nya tekniker och metoder som presenteras i detta projekt ska inspirera branschen att investera i och vidareutveckla innovativa lösningar för bergteknisk kärnkartering. Kärnskanning eller automatiserad kärnkartering baserat på bilder har fortfarande stor potential att ge mer objektiva och konsekventa resultat vid bergteknisk kärnkartering.

REFERENSER

Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications. A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. A Wiley-Interscience publication, ISBN 0-471-60172-1.

EN 1997-2:2007. 2007. *Eurocode 7 – Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing*.

Grigull, S., Evins, P., Berglund, J., Bäckström, A., Jacobsson, L., Loorents, K., Samuelsson, E., Svensson, M., Swindell, R., Thörn, J. & Winell, J. 2020. *Questionnaire study – Engineering-geological and hydro-geological data collection and storage*. BeFo Report 204. Stockholm. Sweden.

Hakami, E. & Winell, S. 2022. *Visualization of borehole data. Lucis presentation of drill core mapping results*. BeFo Report 169. Stockholm. Sweden.

IMDEX. 2025. *LOGRx*. IMDEX Limited. https://www.imdex.com/rock-knowledge/structural-geology/logrx

ISO 14689-1:2003. *Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of rock - Part 1: Identification and description*.

ISO 22475-1:2021. *Geotechnical investigation and testing – Sampling methods and groundwater measure-ments - Part 1: Technical principles for the sampling of soil, rock and groundwater*.

ISRM. 2015. *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014*. Ankara. Turkey.

Jakubec, J. & Esterhuizen, G.S. 2007. *Use of Mining Rock Mass Rating (MRMR) Classification: Industry Experience*. Proceedings MassMin, Brisbane, 2000, pp. 413-421.

NGI. 2015. *Using the Q-system. Rock mass classification and support design*. Handbook. Oslo. Norway.

NGI. 2025. *Using the Q-system. Rock mass classification and support design*. Handbook. Oslo, Norway.

Swindell, R., Johansson, F., Kjellström, I. & Benhalima, M. 2017. *Rock mass characterization – Systematic errors and how they can be avoided*. Stockholm. Sweden.

Switala J., Swindell, R., Wei, Y., Edelbro, C. & Risberg, S. 2026. *The road to objective geotechnical core logging*. BeFo Report 270 Stockholm. Sweden.

Trafikverket. 2019. *Projektering av Bergkonstruktioner*. Publikationsnummer 2019:062. Sweden.

Trafikverket. 2025. *Projektering av Bergkonstruktioner*. Publikationsnummer 2024:179. Sweden.