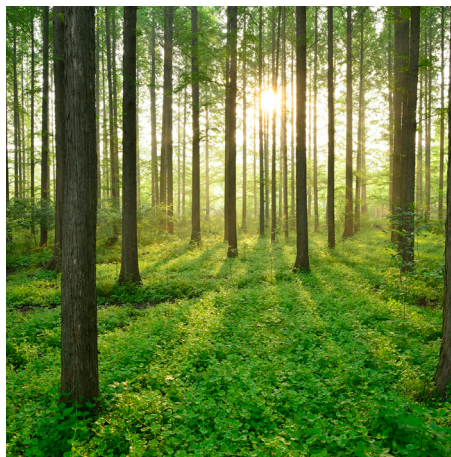
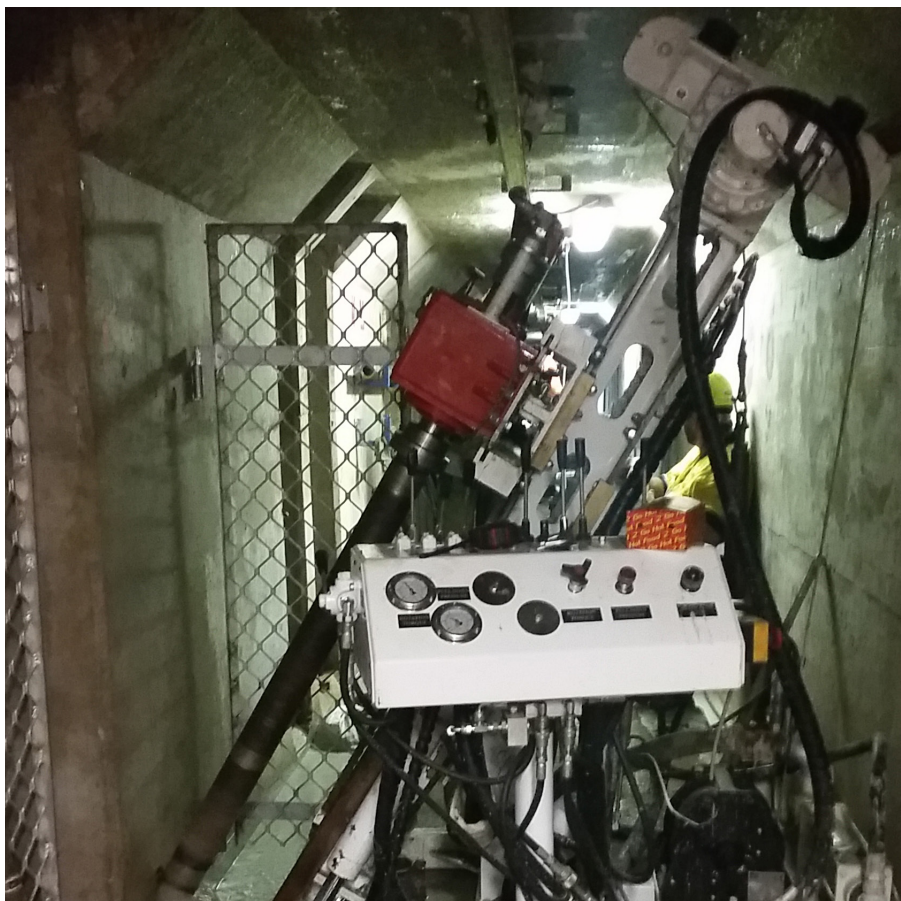


BORRNING I TRÅNGA UTRYMMEN FÖR IDENTIFIERING OCH KARAKTÄRISERING AV SPRICKPLAN

RAPPORT 2025:1101



VATTENKRAFTENS BERGFRÅGOR



Borrning i trånga utrymmen för identifiering och karaktärisering av sprickplan

**STAFFAN RISBERG
SEBASTIAN HORTBERG
KENNETH ÅKERSTRÖM**

ISBN 978-91-89918-01-6 | © Energiforsk mars 2025

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Projektet "Borrning i trånga utrymmen för identifiering och karaktärisering av sprickplan" har undersökt metodik och utrustning för kärnborrning och andra borrhålsundersökningar som utförs i begränsade utrymmen.

Uppdraget har genomförts inom Energiforsks program Vattenkraftens bergfrågor, som fokuserar på att stärka och bredda den forskning som finns om bergtekniska frågor inom vattenkraftsområdet i Sverige.

Författare till rapporten är Staffan Risberg, Sebastian Hortberg och Kenneth Åkterström från Itasca AB. Referensgruppen bestod av Christian Bergstone, Vattenfall AB, och Niklas Widenberg, Vattenregleringsföretagen AB.

Rapportförfattarna ansvarar för alla resultat och slutsatser i rapporten.

Bilden på framsidan tillhandahålls av Itasca AB.

Sammanfattning

Undersökningsborrning för glidkontroll under betongdammar kan behöva utföras från trånga utrymmen som dräneringsgallerier eller inspektionsgångar. Denna rapport beskriver metodik och utrustning för kärnborrning och andra borrhålsundersökningar som utförs från begränsade mindre utrymmen.

Rapporten beskriver olika metoder för kärnborrning som konventionell- och wirelinekärnborrning samt enkel-, dubbel- och trippeltubsborrning. Rapporten beskriver också översiktligt metoder för identifiering och karaktärisering av sprickor med olika borrhålsundersökningar som borrhålsfilmning, flödesloggning, seismiska metoder och borrhålsradar. Baserat på intervjuer med sakkunniga entreprenörer beskrivs ett antal praktikfall där borrning utförts från trånga utrymmen som källare och olika gallerier under dammar. Rapporten innehåller en sammanfattning av olika kompakta borrhålsriggar och utrustning för borrhålsundersökningar, baserad på en marknadsundersökning. Det redogörs även för övergripande projekteringsaspekter och praktiska råd vid utförande av borrhåls- och borrhålsundersökningar i trånga utrymmen.

Studien visar att det sannolikt är möjligt att kärnborra i utrymmen med 1 m bred och 2 m hög tvärsektion med hjälp av kompakta riggar med korta bommar. Trånga utrymmen begränsar längden på kärnrören och förlänger borrhålstiden med ungefär 30–40%. I trånga utrymmen där hela kärnborriggar inte får plats kan bommen monteras av från riggens underrede (bocken) och bultas fast ovanför borrhålen. Elektriska betonghåltagare används ofta där kärnborriggar inte rymms. Dessa är i regel mer kompakta men begränsas av smala borrhålsdiametrar och enklare kärnrörssystem, vilket resulterar i sämre kärn kvalitet. Inför efterföljande borrhålsundersökningar som exempelvis optisk borrhålsfilmning bör borrhålen generellt vara minst 56 mm och helst 76 mm i diameter, vilket är svårt att uppnå med mindre kärnborriggar och betonghåltagare. Borrhålen kan då rymmas i omgångar för att erhålla större borrhålsdiametrar. Övriga borrhålsundersökningar utöver kärnborrning tycks inte begränsas av trånga utrymmen såvida utrustningen i sig får plats och att eventuella uppstick av foderrör och annat inte är begränsande.

Nyckelord

Kärnborrning, Betongdammar, Begränsat, Trångt, Utrymme, Borrhålsundersökningar, Gallerier

Summary

Geotechnical drilling to investigate ground conditions for assessment of sliding stability beneath concrete dams may require drilling from confined spaces such as drainage or inspection galleries. This report describes methods and equipment for core drilling and downhole investigation methods suitable for these confined conditions.

The report describes different methods for core drilling such as conventional coring, wireline coring, and single, double and triple tube core drilling. The report also describes methods for identification and characterization of fractures using different downhole logging methods such as optical and acoustic borehole televiewers, flowmeter logging, seismic methods and borehole radar. Based on interviews with experienced drilling and site investigation contractors, a number of case studies are described in which drilling has been conducted from confined spaces such as cellars and galleries beneath dams. A summary of compact core drill rigs is given based on a market survey. The report also outlines general design aspects and considerations for carrying out core drilling and downhole logging in confined spaces.

The study shows that it is likely possible to conduct core drilling in confined spaces with a 2 m high, and 1 m wide cross section using compact drill rigs with short feed booms. Confined spaces limit the use of longer core rods and thus it generally takes around 30–40% longer to drill in confined spaces. In cases where the whole drill rig does not fit, the feed boom may be disconnected from the mounting frame and mounted directly over the borehole collar using rock bolts. Electric concrete core drills are often used in places where conventional rock drill rigs do not fit. These are generally smaller but are limited by smaller borehole diameters and less advanced coring systems which reduces the quality of the drill core samples. In preparation for downhole logging, the boreholes should generally have a diameter of at least 56 mm and preferably 76 mm. Achieving these diameters is difficult with smaller core drilling rigs. A solution is to ream the boreholes to obtain larger hole diameters. Downhole logging does not appear to be restricted from confined spaces provided that the equipment itself fits and that any protruding casings or other installations are not limiting the space.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Syfte och avgränsning	8
1.3	Metodbeskrivning	9
2	Kärnborrning	10
2.1	Kärnborrigg	10
2.2	Metoder för kärnborrning	11
2.3	Enkel-, dubbel och trippeltubsborrning	12
2.4	Kärnrör	14
2.5	Kärnorienterare	14
2.6	Kärndiametrar	15
2.7	Betonghåltagare	17
2.8	Hammarborrning	17
3	Karaktärisering av sprickor genom borrhålsborr	18
4	Borrhålsundersökningar	20
4.1	Borrhålsfilmning	20
4.1.1	Optisk televiwer	20
4.1.2	Akustisk televiwer	21
4.1.3	Enklare kameror	21
4.2	Geofysiska metoder för identifiering av sprickplan	22
4.2.1	Flödesloggning	22
4.2.2	Seismiska undersökningar	22
4.2.3	Borrhålsradar	22
5	Utrustning för borrning och borrhålsundersökningar i trånga utrymmen	24
6	Praktikfall	28
6.1	Borrning i betongdammar i Tasmanien	28
6.2	Hammarborrning i Copperfield River Gorge Dam	30
6.3	Trippeltubsborrning i Somerset Dam	31
6.4	Borrning och borrhålsrymning i Burdekin Dam	33
6.5	Kärnborrning under Sturegallerian	36
6.6	Kärnborrning för vadersågning i Henriksdals reningsverk	36
6.7	Kärnborrning i källare i Gamla Stan	36
6.8	Kärnborrning i vattenkraftdammar	37
7	Planering och utföranderåd	38
7.1	Kärnborrning i trånga utrymmen	38
7.1.1	Kärnborrning i utrymmen mindre än 2x1 meter	39
7.1.2	Kärnborrning med betonghåltagare	39
7.1.3	Hammarborrning för identifiering av sprickplan	40

7.2	Borrhålsundersökningar i trånga utrymmen	40
7.3	Risker vid borrning i trånga utrymmen	41
8	Slutsatser	43
9	Referenslista	44
Bilaga A:	Intervjufrågor	48

1 Inledning

Arbetet är en del av Energiforsks FoU-program Vattenkraftens bergfrågor, och har utförts av Staffan Risberg och Sebastian Hortberg från Itasca Consultants AB samt Kenneth Åkerström från Theta Engineering AB. Rapporten följer genomgående Oxfordsystemets referensstil enligt den tolkning som ges av Umeå Universitet.¹ Samtliga bilder med tillhörande referens är publicerade med godkännande från upphovsrättsinnehavaren.

1.1 BAKGRUND

Betongdammar stabiliseras huvudsakligen av dess egentygnd. Verifiering av dess säkerhet mot glidning skall enligt RIDAS² göras genom glidkontroll i anliggningsytan (mellan berg och betong) och, i förekommande fall, utmed sprickplan i berg. Glidytans friktion bestäms utifrån dess friktionskoefficient. För beräkningar kan friktionskoefficienten bestämmas genom skjuvförsök. Utöver tester så finns typvärden beskrivna i RIDAS.

Det förekommer fall där information saknas om eventuella ytligt belägna sprickor i berget under dammen och avsaknad av denna information gör att glidkontrollberäkningar behöver genomföras baserat på ingenjörsmässiga bedömningar och antaganden. Kärnborrningsundersökningar och borrhålsfilmning kan ge information om sprickors läge och egenskaper vilket kan minska osäkerheter vid bedömning av glidsäkerheten. Kärnborrningen bör om möjligt genomföras med utrustning för ostörd provtagning³ för att kunna fastställa eventuellt sprickfyllningsmaterial. Genom borrhålsfilmning kan sprickplanets riktning och lutning tolkas vilket gör det möjligt att bestämma sprickans orientering i bergmassan.

Ofta kan undersökningsborrningarna behöva genomföras i trånga och otillgängliga inspektionsgångar eller dräneringsgallerier under dammen. Dessa förutsättningar begränsar möjliga val av metod och utrustning som krävs för bestämning av sprickornas förekomst, orientering och egenskaper.

1.2 SYFTE OCH AVGRÄNSNING

Arbetet syftar till att öka kunskapsläget om befintliga metoder och utrustning som från trånga utrymmen kan möjliggöra bestämning av sprickors förekomst, orientering och egenskaper.

¹ Umeå Universitet. *Oxford - skriva referenslista*. (2024). <https://www.umu.se/bibliotek/soka-skriva-studera/skriva-referenser/oxford-skriva-referenslista/>

² Energiföretagen Sverige. *RIDAS - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*. <https://www.energiforetagen.se/>

³ Begreppet "ostörd provtagning" är inte entydigt och har olika betydelse inom olika sammanhang. I denna rapport avser ostörd provtagning den kärnprovtagning som begränsar urspolning av sprickfyllnadsmaterial.

Arbetet begränsar sig till de metoder och utrustningar som kan utföras/användas i utrymmen med en tvärsektion mindre än 2 m hög och 1 m bred och som:

1. möjliggör att kunna ta upp ostörda kärnor, eller
2. på annat sätt möjliggör identifiering av sprickor.

Arbetet berör inte arbetsmiljöaspekter utöver säkerhet, för dessa hänvisas till Arbetsmiljöverket.⁴

1.3 METODBESKRIVNING

Arbetet har baserats på litteratur och praktikfallsstudier, muntliga och skriftliga intervjuer, samt en marknadsundersökning för kompakta borrhägar och borrhålskameror. Arbetet inleddes med en litteraturstudie baserat på sökningar på Google, Google Scholar, i BeFos publikationsdatabas⁵ och i Energiforsks publikationsdatabas⁶. Större delen av sökningar gjordes på engelska med nyckelord som *core drilling*, *confined space* och *drainage gallery*.

Marknadsundersökningen baserades främst på Google-sökningar, också med engelska sökord som *compact core drill* och *compact drill rig*. Av denna anledning avspeglar marknadsundersökningen främst den engelskspråkiga marknaden. Det visade sig inte finnas mycket erfarenhet att tillgå i litteraturen och större delen av arbetet har därför baserats på samtal med sakkunniga konsulter och entreprenörer. Dessa presenteras (med godkännande) i Tabell 1.

Tabell 1. Intervjugrupp.

Namn	Företag	Kunskapsområde	Intervjudatum
Christer Skönnerud	C Skönnerud Bergarbeten AB	Kärnbörning	2024-07-08
Kjell Axelsson	Uppländska Bergbörnings AB	Kärnbörning, Vajersågning	2024-07-09
Pelle Olstam	SDC AB	Kärnbörning	2024-07-12
Jenny & John Mulligan	Mulligan Geotechnical PTY LTD	Kärnbörning	2024-08-06
Håkan Mattsson	GeoVista AB	Borrhålsundersökningar	2024-08-19
Svante Berglund	Drillcon Scandinavia AB	Kärnbörning	2024-08-22

⁴ AFS 2020:1. *Arbetsplatsens utformning*. (2020).

<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs2020-1.pdf>

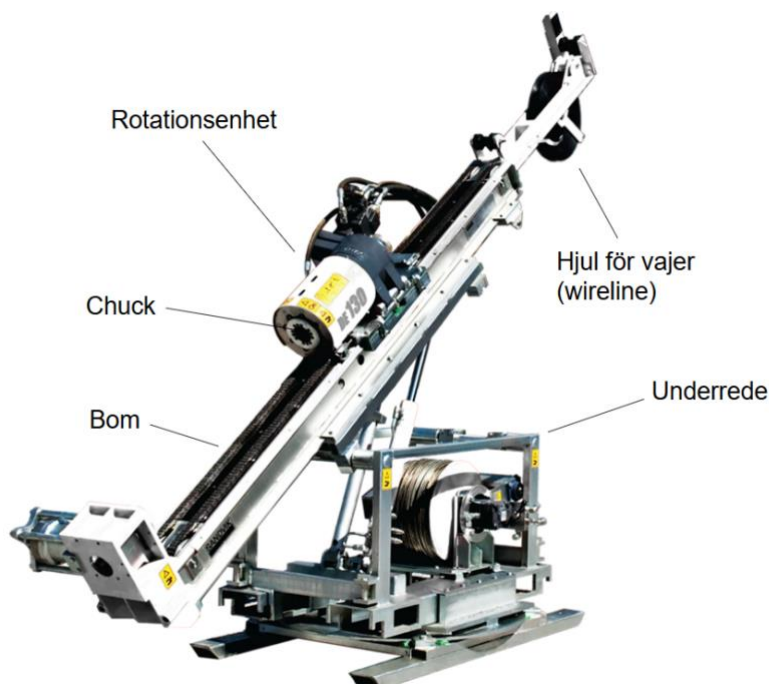
⁵ BeFo. *Publikationer*. (u.å.) <https://www.befoonline.org/publikationer>

⁶ Energiforsk. *Rapportsök*. <https://energiforsk.se/rapportsok/>

2 Kärnborrning

2.1 KÄRNBORRIGG

Kärnborrning utförs med en kärnborrigg (Figur 1). Denna består oftast av en hydrauliskt driven rotationsenhet med en chuck för att fästa eller greppa kärnrören. Vissa riggar har en ihålig chuck som kärnrören träs igenom, medan andra riggar har kärnrören monterade direkt på rotationsenheten. Rotationsenheten kan matas åt båda håll på bommen och ju starkare dragkraft desto djupare hål kan borraras utan att riskera att förlora borrarsträngarna i borrhålet. Detta beror på att borrhiggen behöver tillräcklig dragkraft för att bryta loss borkärnan, lyfta kärnrörens egenvikt och samtidigt motverka kärnrörens friktion mot berget. Den maximala sträckan som rotationsenheten kan löpa längst bommen kallas matarlängd eller slaglängd. Allteftersom borrarningen pågår skarvas nya kärnrör på varandra och fungerar som borrarsträngar. De flesta kärnborriggar har en ihålig chuck och kärnrören monteras då i regel bakom rotationsenheten. Kärnrören kan också monteras framför rotationsenheten men då begränsas deras längd av bommens matarlängd. Borrhiggen drivs oftast av en hydraulpump och styrs via en kontrollpanel. Hydraulpumpen och kontrollpanelen kan placeras en bit bort från riggen men längre hydraulslangar medför större effektförlust.



Figur 1. Kompakt kärnborrigg (Bild: SCX - Sunny Corner Exploration⁷).

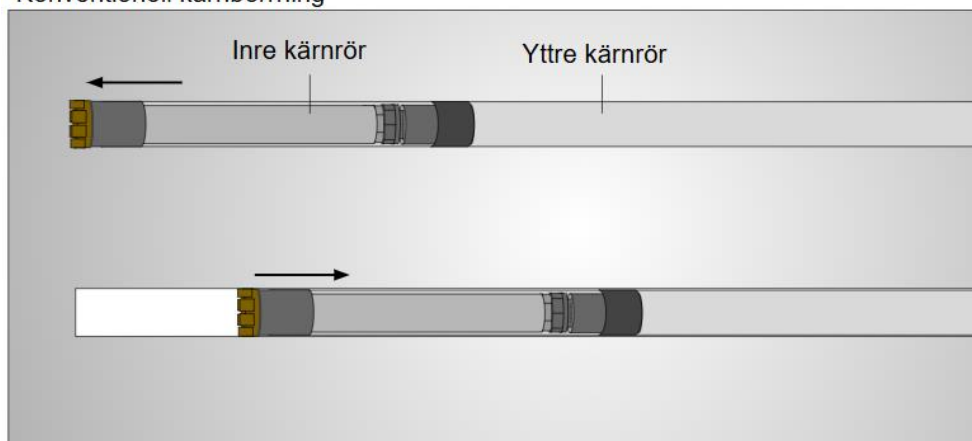
⁷ Sunny Corner Exploration. *SCX DE130 Compact Core Drill Rig*. (u.å.). <https://scxexploration.com/scx-de130/>

2.2 METODER FÖR KÄRNBORRNING

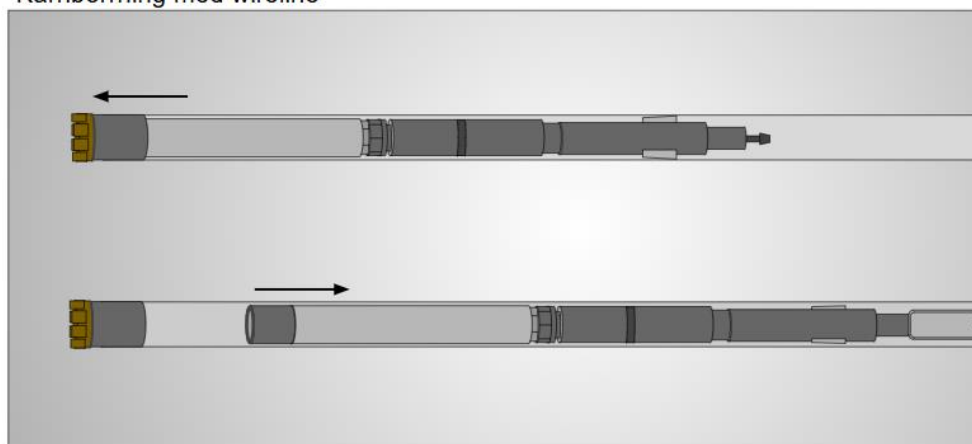
Kärnbörning kan utföras som (i) konventionell kärnbörning eller (ii) kärnbörning med wireline (Figur 2). Vid konventionell kärnbörning måste samtliga kärnrör tas upp ur borrhålet när det inre kärnröret är fyllt, vilket innebär mycket rörhantering vid borrning av längre hål (längre än cirka 50 m). Därutöver löper borrhålen större risk för att rasa in i samband med att kärnrören förs in och ut ur borrhålen upprepade gånger. Fördelar med konventionell kärnbörning är att metoden är enkel och kräver lite utrustning.

En idag betydligt vanligare teknik är kärnbörning med wireline, vilket innebär att det inre kärnröret hämtas från botten av borrhålet med en fångstanordning fäst på en vajer (wireline). Efter att det inre kärnröret tömts på kärna pumpas det ner i borrhålet igen och borrningen kan fortgå. Det innebär att de yttre kärnrören inte behöver extraheras från borrhålet för att erhålla kärnan. Borrning med wireline innebär mindre rörhantering och föredras vid borrning av längre borrhål (>50 m). En nackdel med wireline-kärnbörning är att metoden jämfört med konventionell kärnbörning kräver mer utrustning och tar upp mer utrymme då vajern löper på ett hjul monterat på bommens bakkant (Figur 1). Det kan även uppstå problem vid upphämtning av innerröret.

Konventionell kärnbörning



Kärnbörning med wireline



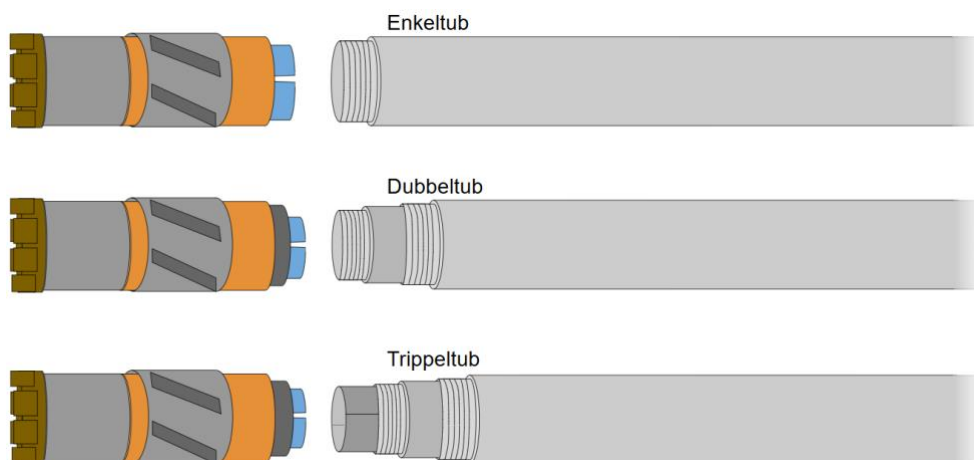
Figur 2. Konventionell kärnbörning och kärnbörning med wireline.

2.3 ENKEL-, DUBBEL OCH TRIPPETUBSBORRNING

Beroende på syftet med kärnborrningen kan borrningen utföras med enkel-, dubbel- eller trippeltubs-kärnrör (Figur 3). Vid kärnborrning där syftet inte är att erhålla en ostörd borrhäla, till exempel inför vadersågning eller vid borrning av foderrör kan enkeltubbsborrning vara att föredra. Då borrar det utan inre kärnrör och kärnan är i direkt kontakt med det roterande yttre kärnröret. Spolvattnet flödar direkt mot kärnan och riskerar att spola ut sprickfyllnad och löst berg. Metoden är däremot betydligt snabbare och enklare att tillämpa än dubbel- och trippeltubbsborrning. Enkeltubbsborrning görs enbart med konventionell kärnborrning. Eftersom dessa system saknar inre kärnrör begränsas inte borrhålens längd på samma sätt som för övriga system. Däremot är det vanligt att borrhålen kärvar i samband med påträffande av diskontinuiteter i berget vilket kräver upptag av borrhålen. I praktiken borrar man därför i sektioner på maximalt cirka 3 meter med enkeltubssystem.

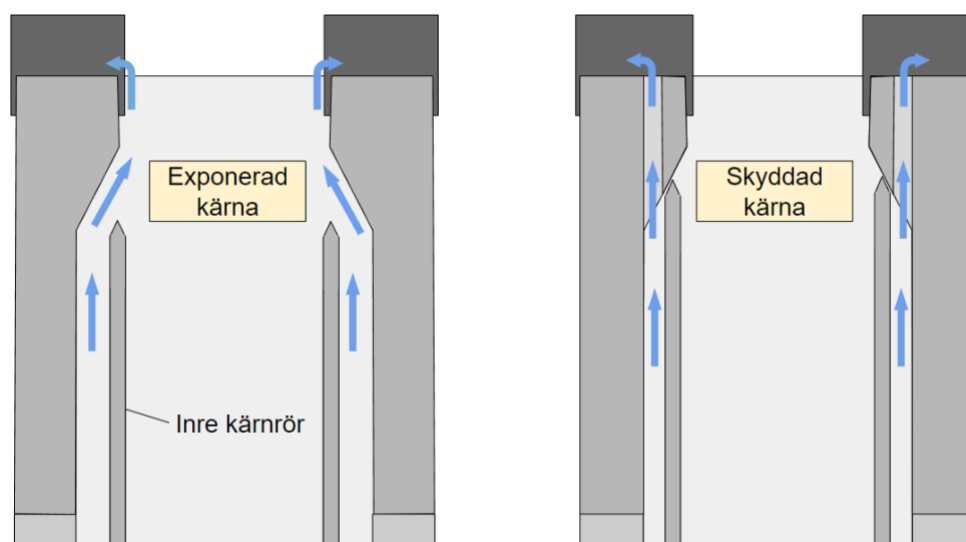
Dubbeltubbsborrning är vanligast i undersökningssyften. Då monteras ett inre kärnrör bakom borrhålen, och spolvattnet flödar mellan det inre och yttre kärnröret som till viss del skyddar kärnan från urspolning. När det inre kärnröret är fyllt med kärna måste det extraheras från borrhålet och tömmas för att fortsätta borrningen. I sämre berg, till exempel vid borrning genom svaghetszoner, finns ökad risk för kärnförlust. Om detta sker har sektioner av borrhålen inte bevarats. Det kan vara lera som spolats ut eller mindre löst bergmaterial som fallit ur det inre kärnröret. Kärnprovet kan även skadas och påverkas vid tömning av kärna. Till exempel är det vanligt att kärnan fastnar i det inre kärnröret och då slår man ofta med en gummihammare på kärnröret för att få kärnan att lossna. Detta kan påverka känsliga bergprover, till exempel genom öppning av läkta sprickor och krossning av känsligt berg. Dubbeltubbsborrning görs idag oftast med wirelinesystem men kan även utföras som konventionell borrning.

Vid trippeltubbsborrning lagras kärnan i en splittub inuti det inre kärnröret. En splittub är en tunn metalltub som kan delas i två halvor. Vid uttag av kärna tas hela splittuben ut ur det inre kärnröret och ena halvan plockas bort vilket möjliggör inspektion av en till stor del ostörd borrhäla. Detta under förutsättning att kärnan inte spolats ut eller skadats på annat sätt. Det är inte ovanligt att splittuben kärvar fast i det inre kärnröret, som då måste knackas loss med gummihammare vilket riskerar att störa provet. Trippeltubbsborrning görs oftast med wireline med det finns äldre system för konventionell trippeltubbsborrning. Överlag är trippeltubbsborrning dyrare och mer tidskrävande än singel- och dubbeltubbsborrning. Metoden kräver grövre borrhålen för att borrhålen ska passa i splittuben, vilket i sin tur kräver starkare borrhålen med hög tryckkraft. I och med detta är det fördelaktigt om kärnan inspekteras och fotograferas direkt på plats av geolog vid öppning av splittuben, eftersom kärnproven annars riskerar att störas vid hantering och överföring till borrhållåda, samt även vid transport.



Figur 3. Enkel-, dubbel- och trippeltubssystem för kärnbörning.

Oavsett val av metod och utrustning förekommer kärnförlust. Det kan bero på att svagare berg som till exempel sprickfyllnad har spolats ut, att det inte har hanterats på rätt sätt eller att det fallit ur material ur kärnröret vid upptag av kärnan. Det är vanligt att kärnrören kärvar vid påträffande av naturliga sprickor i berget, då måste borrningen avslutas och kärnan tas upp. Det svagare berget riskerar då att falla ur kärnröret vid upptag och sprickan kommer då inte fångas i borrhärnan. Kärnförlust kan till viss del motverkas med rätt val av utrustning, som frontspolade borrhäron (på engelska: "face discharge", se Figur 4). Borroperatörens skicklighet och hantering är också avgörande för kvaliteten på borrhärnan.

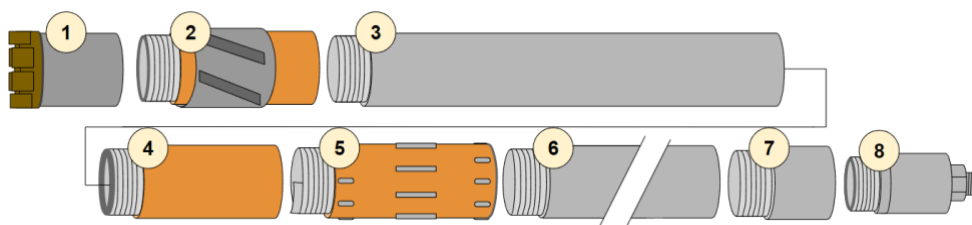


Figur 4. Konventionell kärnborrhäron till vänster och frontspolad borrhäron till höger.

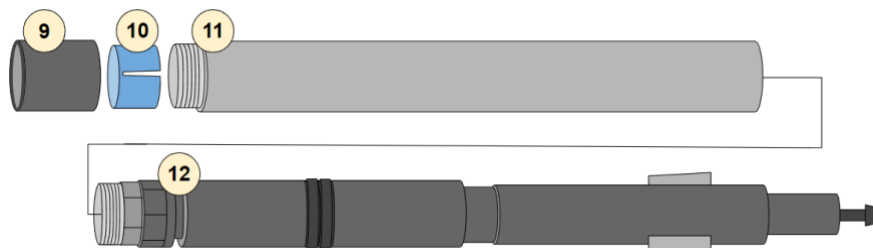
2.4 KÄRRÖR

En typisk yttre kärnrörsuppsättning för ett wirelinesystem består av följande komponenter (Figur 5): (1) kärnborrhkrona, (2) kaliberring, (3) kärnrör, (4) kärnanslutning, (5) låsningskoppling, (6) ytterligare kärnrör baktill, (7) eventuell adapter och (8) vattenleka. Kärnrören är oftast 1,5 eller 3 m långa men går tillverka i vilken längd som helst. Den första kärnrörsuppsättningen blir vanligtvis minst 50 cm längre än själva kärnröret i sig på grund av de olika rörmodulerna. Varje modul kan dock monteras på var för sig allt eftersom.

Bakom borrhkronan, innanför den yttre kärnrörsuppsättningen, monteras en inre kärnrörsuppsättning (Figur 6). En typisk sådan inkluderar: (9) kärnfångarhylsa, (10) fjäder, (11) inre kärnrör och (12) kärnrörshuvud. När kärnan tas upp kan kärnrörshuvudet monteras av innan hela innerröret plockas ut ur det yttre kärnröret.



Figur 5. Typisk yttre kärnrörsuppsättning för ett wirelinesystem.



Figur 6. Typisk inre kärnrörsuppsättning för ett wirelinesystem.

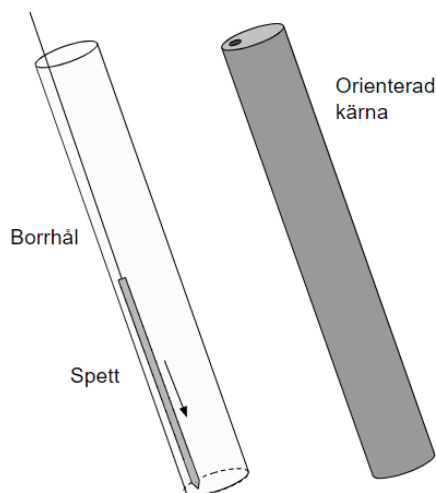
Konventionella dubbeltubssystem är något mer kompakta och saknar kärnanslutning (4) och låsningskoppling (5). I stället monteras ett något kortare kärnrörshuvud fast i bakändan på det första yttre kärnröret (3), och hela inre anordningen sitter då fast anslutet till det yttre kärnröret (se Figur 2).

2.5 KÄRNORIENTERARE

En kärnorienterare markerar orienteringen på kärnan eller det inre kärnröret. Tidigare gjordes kärnorientering genom att släppa ner ett spett i borrhålet som markerade en referenspunkt på änden av borrhkärnan (Figur 7). Givet borrhålets orientering kan kärnans orientering då bestämmas om kärnan är intakt eller kan pusslas ihop.

Nu för tiden görs kärnorientering med digitala kärnorienterare som monteras mellan innerröret och kärnrörshuvudet (Figur 8). Instrumentet är vanligtvis 20–30

cm långt, vilket innebär att det yttre kärnröret måste förlängas motsvarande eller det inre kärnröret kortas. Kärnorienteraren mäter kontinuerligt orienteringen på det inre kärnröret och vid uttag av kärnan kan kärnans orientering relativt borrhålet markeras. Eftersom endast innerröret orienteras, är därför kärnans orientering endast giltig under förutsättning att kärnan inte roterat inne i innerröret. Detta är ofta ett problem vid borring genom svagheter i berget då kärnan riskerar att sitta löst i innerröret. En annan nackdel är att kärnorienteraren inte kan monteras av innerröret vid uttag av kärnan, vilket kan skapa problem vid borring i trånga utrymmen. En fördel med digitala kärnorienterare är att de mäter borrhålsavvikelsen och på så sätt erhålls även krökmätning av borrhålet i samband med borringen. Kärnorientering kan inte utföras i vertikala hål, utan borrhålen måste avvika cirka 5° från vertikalen. Kärnorientering kan även utföras i efterhand genom att korrigera kärnan med en digital kärna från borrhålsfilmning.



Figur 7. Kärnorientering i borrhål med spett.



Figur 8. Inre kärnrörsuppsättning med digital kärnorienterare i rött.

2.6 KÄRNDIAMETRAR

Kärnborrkronor finns i olika storlekar och anges som borkronans ytterdiameter. Det finns två olika standarder/system för borkronans storlek. I det imperialistiska systemet DCDMA (Diamond Core Drilling Manufacturers Association) används storlekarna A, B, N, H, P, S och i det metriska systemet anges håldiametern i millimeter, exempelvis 46 mm eller 76 mm, se Tabell 2.⁸

⁸ Fordia. *International Standards for Diamond Drilling Equipment*. (2021).
<https://www.fordia.com/en/resources/blog/2021/international-standards-for-diamond-drilling-equipment>

Tabell 2. Storleksstandarden på kärnborrhuvuden.

Imperialistiska systemet (DCDMA)	Metrisk systemet
A (47,7 mm)	46 mm
B (59,7 mm)	56 mm
N (75,4 mm)	66 mm
H (95,7 mm)	76 mm
P (122,3 mm)	86 mm
S (146 mm)	101 mm
	116 mm
	131 mm
	146 mm

Storleken på borrhölet beror på vilken storlek som borrar och vilket system som används. I Tabell 3 ges motsvarande kärndiametrar för två vanliga system, Q och T2. Q-systemet är ett imperialistiskt wirelinesystem för dubbeltubsborrning och T2 ett metriskt system för konventionell dubbeltubsborrning. Konventionella system har oftast tunnare rör och borrhölet vilket ger större borrhölar. Ett trippeltubssystem ger i regel mindre borrhölar än ett motsvarande dubbeltubssystem på grund av tjockare borrhölar. Storleken på borrhölet och kärnan kan skilja sig i enstaka millimeter beroende på hur slitna borrhölar och kaliberringen är.⁹

Tabell 3. Kärndiametrar för Q-systemet och T2-systemet.

Design	Diameter på kärna ¹⁰	Design	Diameter på kärna ¹¹
AQ	27 mm	T2 46	32 mm
BQ	37 mm	T2 56	42 mm
NQ	48 mm	T2 66	52 mm
HQ	64 mm	T2 76	62 mm
		T2 86	72 mm

Kvaliteten på borrhölar är delvis beroende av storleken på kärnan. Borrning med bredare borrhölar medför i regel färre kärnstopp (avbrott på grund av att borrhölet kilar fast i kärnröret), mindre kärnförlust och ger en mer representativ kärna. Om en viss borrhölet inte klarar av att borra den håldiameter som eftersöks, exempelvis inför efterföljande undersökningar, kan borrhölet rymmas upp. Då borrar först ett pilothål, i exempelvis 46 mm, som sedan rymms upp till 56 mm, och därefter till 66 mm, och så vidare. Detta görs genom att byta borrhölet mot en rymmarkrona.¹² Processen går relativt fort och kan genomföras med mindre

⁹ D. G. Price. *Engineering Geology: Principles and Practice*. (Springer, 2009).

¹⁰ Robertson Geo. *GeoInfo: Common Coring Drill Bit Sizes*. (u.å.). <https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/geoinfo/1538562948.pdf>

¹¹ TerraRoc. *Terracore core drilling tools – product catalogue*. (2020). https://terrarocdrilling.com/wp-content/uploads/2020/03/TerraRoc_CoreDrillingTools_Product_catalogue.pdf

¹² Exempel på produkter är *Hole opener* från TerraRoc¹¹ och *Push and Pull Diamond Core Bits* från Fordia (<https://www.fordia.com/en/products/core-drilling-tools/diamond-tools/diamond-core-bits/push-and-pull-diamond-core-bits>).

borriggar. En nackdel är att erhållen borrhärna blir motsvarande storlek som pilothålet.

2.7 BETONGHÅLTAGARE

Betonghåltagare är generellt mer kompakta än bergborriggar och används ofta i trånga utrymmen där kärnborriggar inte lämpar sig. Riggen består av en elmotor monterad på en kuggad bom eller räls som bultas fast i berget. Chucken är i regel inte ihålig och kärnrören monteras därför framför motorn. Matningen sker oftast med ett handdrivet hjul liknande en pelarborrmaskin. Detta ger bra kontroll under borrarningen men resulterar i betydligt lägre tryck- och dragkapacitet jämfört med bergborriggar. Diamantborrkronor kräver ett tillräckligt högt tryck mot berget för att effektivt skära i berget. Detta eftersom diamantsegmenten succesivt måste slipas ner för att exponera nya vassa diamanter mot berget. Annars nöts diamanterna ner och borrarningen går trögt. Med betonghåltagare borrar man därför med tunnare borrkronor för att uppnå tillräckligt högt tryck mot berget.

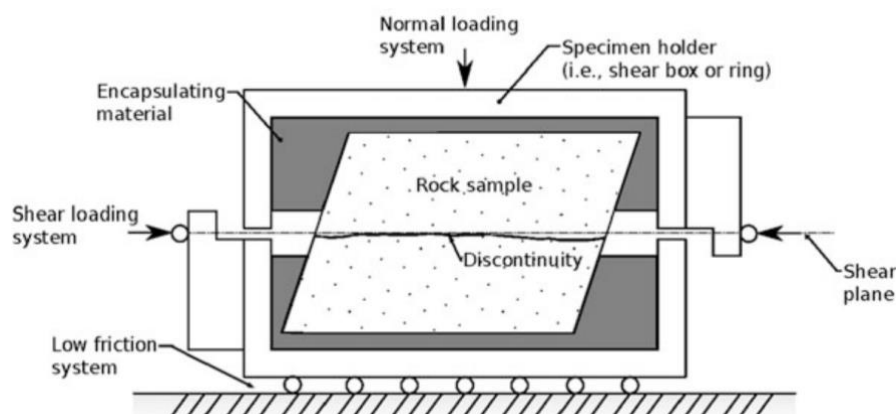
Fördelen med betonghåltagare är att de är lätta och kompakta, och bommen/rälsen kan anpassas i längd efter utrymmet. Riggarerna är också eldrivna och kräver därför inget utrymme för hydraulpump.

2.8 HAMMARBORRNING

På många kärnborrningar finns möjlighet att sänkhammarborra genom att montera en sänkborrhammare. Fördelen med hammarborrning är att borrarningen går betydligt fortare. En uppenbar nackdel är att ingen borrhärna erhålls och hammarborrning är därför sällan en eftersträvad metod vid undersökningsborrning. Hammarborrade hål är mindre skonsamma mot borrhålsväggen men utgör inget hinder för efterkommande borrhålsundersökningar.

3 Karaktärisering av sprickor genom borrhärnor

Följande beskrivning har utgått från en tidigare litteraturstudie av BeFo för stabilitetsanalyser av större berggrundlagda konstruktioner.¹³ Mätning av sprickors skjuvhållfasthet kan göras genom direkta skjuvtest i lab. Metodutförandet beskrivs i ISRM och ASTM och går ut på att skjuva provet enligt Figur 9 och samtidigt mäta lasten och motsvarande skjuv- och normaltöjning. Storleken på borrhärnan bör vara minst 48 mm (NQ-kärna) eller ha en tvärsnittsarea på minst 1900 mm².^{14,15} En alternativ metod är att uppskatta sprickans skjuvhållfasthet med Barton & Choubey's empiriska brottkriterium genom bestämning av sprickornas hårdhet och råhet (*JRC* och *JCS*).¹⁶ Denna metod kan också vara beroende på storleken på provet.¹⁷



Figur 9. Direkt skjuvtest på sektion av borrhärna i laboratorium, efter ISRM.¹⁴

Båda metoder kan tillämpas för sprickor med mindre sprickfyllnad men är av uppenbara skäl inte tillämpbara på sprickor med mycket sprickfyllnad och större svaghetszoner. Beroende på tjockleken på fyllnadsmaterialet och sprickornas råhet kan skjuvhållfastheten delvis eller helt styras av fyllnadsmaterialet.¹⁸ Integral sampling är en provtagningsmetod för provtagning av mycket känsligt berg och

¹³ F. Johansson. *Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg*. (BeFo, 2006). <https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/166/R74.pdf>

¹⁴ R. Ulusay. *The ISRM suggested methods for rock characterization (The Orange Book)*. (Springer, 2014).

¹⁵ ASTM D5607-16. *Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force*. (2016).

¹⁶ N. Barton & V. Choubey. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*. 10 (1977): s. 1–54. <https://doi.org/10.1007/BF01261801>

¹⁷ N. Barton, C. Wang & R. Yong. Advances in joint roughness coefficient (JRC) and its engineering applications. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 15: 12 (2023): s. 3352–3379. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.02.002>

¹⁸ N. Barton. A review of the shear strength of filled discontinuities in rock. *Norwegian Geotechnical Institute Publication*. 105 (1974).

https://www.researchgate.net/publication/321997086_Barton_1973_A_review_of_the_shear_strength_of_filled_discontinuities_in_rock_Bergmekanikk_Oslo

kan användas för att få relativt ostörda prover på sprickfyllnad.¹⁹ Metoden innebär att ett mindre hål borrar genom en sektion av intresse. Borrhålet fylls sedan med ett stabiliserande injekteringsmedel och efter det har stelnat överböras bergprovet och man kan på så sätt erhålla ett till stor del ostört bergprov. Det är oklart hur vanlig denna metod idag och den praktiska erfarenheten kring metoden tycks vara begränsad.

¹⁹ M. Rocha. A method of integral sampling of rock masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 3 (1971): s. 1–12. <https://doi.org/10.1007/BF01243548>

4 Borrhålsundersökningar

I den internationella standarden ASTM sammanfattas ett antal geofysiska borrhålsundersökningsmetoder för geoteknisk karaktärisering av berg.²⁰ De lämpligaste metoderna för identifiering och karaktärisering av sprickor i bergmassa anses vara akustisk och optisk borrhålsfilmning, samt filmning med enklare borrhålskameror. I litteraturen nämns även flödesloggning, olika seismiska undersökningar och borrhålsradar som metoder för identifiering av sprickplan.²¹

4.1 BORRHÅLSFILMNING

Borrhålsfilmning möjliggör kartering av borrhål genom akustisk eller optisk avbildning av borrhålsväggen. Metoden beskrivs översiktligt i ISRM och går ut på att föra en sond genom borrhålet som avbildar borrhålsväggen.²² Dessa kan inkludera enklare kameror för realtidsundersökningar av borrhål eller mer avancerade system, så kallade televiewers, som möjliggör skapandet av orienterade panoramiska avbildningar av borrhål. Televiewers har inbyggda instrument för mätning av borrhålsorientering och avvikelser och kan därför bestämma position och orientering av enskilda sprickplan.²³ En fördel med borrhålsfilmning är att undersökningen inte begränsas av kärnförlust vilket möjliggör kartering av känsligare bergpartier. Borrhålsfilmning ger däremot lite information sprickornas vattenförande egenskaper.

4.1.1 Optisk televiewer

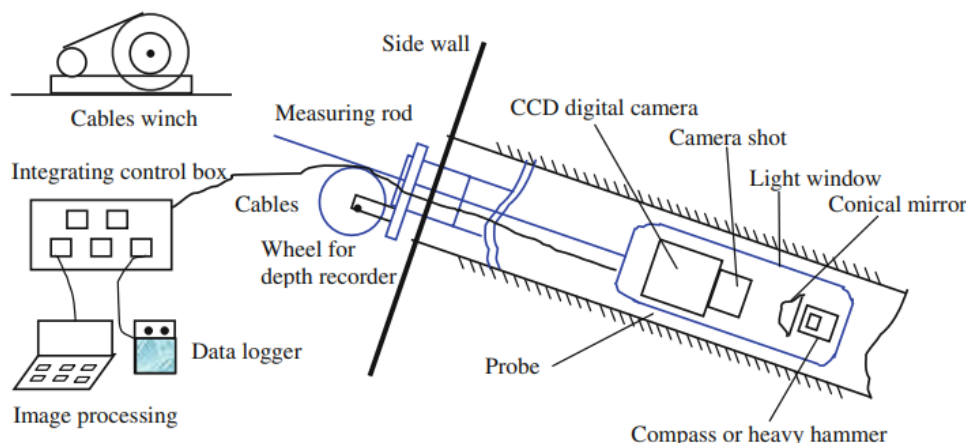
Optiska televiewers (OTV) består av en sond med en digital kamera som riktar mot en konisk spegel. Kameran fångar en 360° panoramabild av borrhålsväggen när sonden förs genom borrhålet. Detta genom att långsamt låta sonden falla genom borrhålet, alternativt dra upp sonden genom borrhålet eller genom att trycka sonden med 1 eller 1,5 m långa stänger.²² En nackdel med OTV är att borrhålsfilmningen ger dåliga resultat i grumliga borrhål.

²⁰ ASTM D5753-18. *Standard Guide for Planning and Conducting Geotechnical Borehole Geophysical Logging*. (2018).

²¹ S. Wänstedt, S. Tirén, P. Askling, L. Ekman & K. Hansson. Ett koncept för effektivare förundersökningar från borrhål. I: *Föredrag vid bergmekanikdag i Stockholm*. Stockholm, Sverige (10/3 1999), s. 25–39. <https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/196/Bergmekanikdag1999.pdf>

²² S. J. Li, X. T. Feng, C. Y. Wang, & J. A. Hudson. ISRM suggested method for rock fractures observations using a borehole digital optical televIEWer. *Rock mechanics and rock engineering*. 46 (2013): s. 635–644. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0344-9>

²³ G. T. C. McKenna & S. L. Roberts-Kelly. TelevIEWer imaging of boreholes; benefits and considerations for interpretation in the absence of physical rock core. I: *Proc. 5th Int. Conf. Geotech. Geophys. Site Characterisation, ISC 2016*. Queensland, Australien (5/9–9/9 2016). 1 (2016): s. 291–296. https://www.issmge.org/uploads/publications/25/26/ISC5_029.pdf



Figur 10. Principskiss av komponenter för optisk borrhålsfilmning, efter ISRM.²²

4.1.2 Akustisk televiwer

Akustiska televiwers (ATV) sänder ultraljudspulser som reflekteras mot borrhålsväggen.²⁴ Sonden mäter amplituden på den reflekterade pulsen vilket resulterar i en avbildning av borrhålsväggens akustiska reflektivitet. Sonden mäter även tiden det tar för vågen att reflekteras tillbaka vilket ger en akustisk kalibermätning av borrhålsväggens kontur. Undersökningen genomförs i liknande utförande som för OTV (Figur 10). ATV-undersökningar möjliggörs endast i vattenfyllda borrhål men inte är lika känsliga mot mörka bergarter och grumligt vatten som OTV. Dessutom ger den akustiska kalibermätningen även en indikation på sprickaperturerna i borrhålet. Generellt kan ATV anses vara den mer robusta metoden för sprickkartering,²⁴ men bästa resultat erhålls vid undersökningar med både OTV- och ATV-filmning.

4.1.3 Enklare kameror

Enklare kameror med fisheye-linser tillämpas främst för inspektion av foderrör eller för andra borrhålsinspektioner som inte kräver panoramiska borrhålsavbildningar och borrhålsloggar. Det finns kameror specifikt utvecklade för filmning av djupa borrhål men det är även vanligt att entreprenörer använder enklare avloppskameror för snabba inspektioner av borrhål. Dessa är betydligt mer kompakta än OTV- och ATV-sonderna.

²⁴ J. H. Williams & C. D. Johnson. Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies. *Journal of Applied Geophysics*. 55: 1–2 (2004): s. 151–159.
<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2003.06.009>

4.2 GEOFYSISKA METODER FÖR IDENTIFIERING AV SPRICKPLAN

Geofysiska metoder för identifiering av sprickplan inkluderar bland annat olika typer av flödesloggningar, borrhålsradar och seismiska mätningar. Ofta används flera metoder i kombination för att få en bättre uppskattning av bergets egenskaper.

4.2.1 Flödesloggning

Flödesloggning kan utföras med spinnermätning. Principen går ut på att pumpa borrhålet och samtidigt mäta vattenflödet vid olika nivåer i borrhålet. Sonden har en spinner (propeller) som mäter vattenflödet i borrhålet. Ökat vattenflöde inom ett visst intervall tyder på förekomst av vattenförande sprickor.²¹

Flödesmätning kan också utföras med manschetter genom vattenförlustmätning. Sektionsmätning med dubbelmanschetter går ut på att med hjälp av två manschetter trycktesta olika borrhålsintervall. Utrustningen är dock ofta över 2,5 m lång och är därför otymplig i trånga utrymmen. Ett alternativ är att topstrycka borrhålen genom att endast försluta borrhålsmynningen och mäta flödesförlusten för hela hålet. Detta går relativt fort och kan göras upprepade gånger i samband med konventionell kärnborrning för att mäta variationen längst med hålet. Även viss löpande uppskattning fås genom att observera vattennivån i borrhålet under borrhålsarbetets gång.

4.2.2 Seismiska undersökningar

Seismiska undersökningar innefattar bland annat sonic-logging, för mätning av enskilda borrhål, och mellanhålsmätningar för mätning av sektionen mellan två borrhål. Sonic-logging görs med en sond med en pulsgivare och ett antal mottagare. Sonden mäter borrhålsväggens seismiska hastighet, och eftersom vatten, lera och intakt berg har olika våghastigheter framträder vatten- och lerfyllda sprickor i borrhålsloggen. Metoden ger däremot ingen information om sprickornas orientering.

Mellanhålsmätning utförs i två borrhål. I det ena borrhålet placeras geofoner, och i det andra placeras sprängladdningar i jämna avstånd. När dessa detoneras mäts tiden det tar för kompressions- och skjuvvågorna att nå geofonerna. Detta ger en hastighetsavbildning av sektionen mellan borrhålen där vatten- och lerfyllda sprickor kan identifieras. En nackdel med metoden är att borrhålet med sprängladdningar ofta rasar in i samband med detonation. Laddningarna är däremot mycket små och utgör därför ingen risk för vibrationsskador på närliggande anläggningar.

4.2.3 Borrhålsradar

Borrhålsradar har utvecklats bland annat av SKB och har använts för identifiering av sprickplan i Äspölaboratoriet.^{21,25} En fördel med metoden är att den kan

²⁵ S. Wänstedt, S. Carlsten & S. Tirén. Borehole radar measurements aid structure geological interpretations. *Journal of Applied Geophysics*. 43: 2–4 (2000): s. 227–237. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(99\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(99)00061-0)

identifiera sprickor i borrhålets närområde (>100 m) och som inte nödvändigtvis skär borrhålet.²¹ Borrhålsradarn har en sändare som skickar ut en elektromagnetisk puls som reflekteras mot ett objekt och registreras med en mottagare på sonden. Sändaren och mottagaren kan även placeras i separata hål för mellanhålsmätningar. Överlag är borrhålsradar och reflektions-seismiska undersökningar mycket lika, där största skillnaden är vilken typ av våg, elektromagnetisk eller mekanisk, som genereras. Tolkning av radargram är emellertid svårt i vissa förhållanden²⁵ och metoden är idag relativt ovanlig i Sverige.

5 Utrustning för borrar och borrhålsundersökningar i trånga utrymmen

I Tabell 4 presenteras kompakt utrustning för kärnborrar och i Tabell 5 presenteras utrustning för borrhålsundersökningar. Endast utrustning som anses kunna nyttjas i utrymmen med 2 m hög och 1 m bred tvärsektion har inkluderats, dock med antagandet om att hålen kan lutas något eller att mindre uttag kan tillåtas. Notera att dessa listor inte har för avsikt att vara fullständiga, utan presenterar endast den utrustning som författarna hittat under arbetets gång. Tabell 4 inkluderar även kompakt utrustning för prospekteringsbollar som på många sätt liknar elektriska betonghålltagare men som drivs av förbränningsmotorer. Tillverkare av sådan utrustning inkluderar HT Engineering Machinery²⁶, AMS²⁷, ASC Scientific²⁸ och Shaw Tool Company²⁹. Det är oklart om dessa bormaskiner klarar av att borra i hårt berg och vidare hur lämpligt det är att köra dessa förbränningsmotordrivna maskiner i trånga utrymmen.

På många riggar kan bommen monteras av och fästas direkt i berget vid borrar. Eftersom bommen ofta är smalare än underredet (bocken) kan riggen användas i smalare utrymmen än vad dess bredd normalt tillåter. Även utrustning som skyddsgaller och wirelinehjul monteras ofta av vid borrar i trånga utrymmen. Angivna mått i Tabell 4 är därför inte nödvändigtvis begränsande.

Elektriska betonghålltagare är ofta sammansatta av olika moduler som bom, elmotor och växellåda. Dessa kan kombineras i olika utföranden vilket gör det svårt att jämföra maskiner och tillverkare mot varandra. WEKA³⁰ och Pentrunder³¹ är två tillverkare av betonghålltagare som är vanliga i svenska bergbranschen.

²⁶ HT Engineering Machinery. *Small Core Drilling Rig Machine Man Portable QZ-20*. (2024).

<https://www.htwaterwelldrillingrig.com/Products/Portable-Rock-Core-Drilling-Cutting-Machine.html>

²⁷ AMS, Inc. *41 mm Shaw Backpack Portable Rock Coring Drill Kit*. (2024). <https://www.ams-samplers.com/41-mm-shaw-backpack-portable-rock-coring-drill-kit/>

²⁸ ASC Scientific. *Pomeroy EZ Core D261-C Drill*. (2024).

<https://www.ascscientific.com/products/pomeroy-ez-core-d261-c-drill>

²⁹ Shaw Tool Company. *Shaw portable core drill*. (2011). <https://www.backpackdrill.com/>

³⁰ WEKA Elektrowerkzeuge KG. (2024). <https://www.weka-elektrowerkzeuge.de/en/>

³¹ Pentrunder AB. (2024). <https://pentrunder.com/>

Tabell 4. Kompakta borrar (*=Inklusive kontrollpanel, **=Osäkert). Tabellen fortsätter på nästa sida.

Tillverkare Modell	Bredd	Bomlängd Matarlängd	Rek. hålstrl. Maxdjup (strl.)	Totalvikt*
Epiroc Diamec 232 ³²	600 mm	1630 mm 850 mm	A 220 m (A)	254 kg
Sandvik/SCX DE110 ³³	460 mm	1680 mm 800 mm	A 286 m (A)	311 kg
Sandvik/SCX DE130 ^{33,34}	650 mm	2265 mm 900 mm	A, B, N, H 815 m (N)	630 kg
Coeur Products The Termite ³⁵	-	- 500 mm	- 100 m (-)	160 kg
Son-Mak Levent 1001 ³⁶	-	- 850 mm	A 120 m (A)	-
Multi-Power Products Discovery UG 75 Compact ³⁷	-	- 1066 mm	B, N, H 500 m (N)	-
Comacchio MC 2D ^{38,39}	760 mm	2000 mm 1250 mm	- -	600–1500 kg
JKS Boyles SD-1500/Super300U ⁴⁰	-	- -	A, B, N, H 250 m (N)	-
Drilltechniques DT Gallery Rig ^{41,42}	1000 mm	1300 mm** -	N, H 100 m (H)	-

³² Epiroc Sweden. *Diamec 232* [broschyr]. (2024). https://www.epiroc.com/content/dam/epiroc/surface-and-exploration/2-exploration-drill-rigs/diamec/diamec-232/web_pdf_232/9868%200164%2001%20Diamec%20232%20Epiroc%20brochure%20WEB.pdf

³³ Sandvik. *DE100 series: compact core drills* [broschyr]. (2011). <https://mitchelldrillinginternational.com/wp-content/uploads/2021/06/Sandvik-DE130-Series-Specifications.pdf>

³⁴ Sunny Corner Exploration. *SCX DE130* [broschyr]. (2022). https://scxexploration.com/wp-content/uploads/2022/12/116-012-22_SCXTechnicalSpecs-DE130-en-US.pdf

³⁵ Coeur Products. *The Termite*. (2024). <https://corebox.com/the-termite/>

³⁶ Son-Mak. *Levent 1001: Core Drilling Rig* [broschyr]. <https://son-mak.com.tr/wp-content/uploads/2024/10/Levent-1001.pdf>

³⁷ Multi Power Products. *Discovery UG 75 HP Compact: Underground Diamond Core Drill* [broschyr]. https://www.multipowerproducts.com/files/2415/0057/4907/Discovery_UG_75_HP.compressed.pdf

³⁸ Comacchio. *MC 2D: Hydraulic drill rig* [broschyr]. (2016). <https://eurodrilling.se/onewebmedia/MC%202D.pdf>

³⁹ Comacchio. *MC 2D*. <https://www.comacchio.com/en/products/foundations-and-ground-improvement/microdrilling/limited-access-rigs/mc-2-d-1857165949.html>

⁴⁰ JKS Boyles. *SD-1500 JKS Boyles Super300U*. (2024). <https://dasmithdrilling.com/equipment/sd-1500-diamond-core-drill>

⁴¹ Drilltechniques. *Custom Built Drilling Rigs*. (2017). <https://drilltechniques.com.au/custom-drilling-rigs/>

⁴² J. Mulligan & J. Mulligan. Mulligan Geotechnical [E-post]. (2024-08-06).

Tillverkare Modell	Bredd	Bomlängd Matarlängd	Rek. hålstrl. Maxdjup (strl.)	Totalvikt*
EVH Drill Engineering 1750 Scout ^{42,43}	600 mm	2000 mm 1750 mm	N 60 m (N)	375 kg
Boart Longyear LM55 ⁴⁴	-	- 1100 mm	A, B, N, H 240 m (N)	-
HT Engineering Machinery QZ-20 ²⁶	650 mm	1950 mm	46–75 mm 20 m (46 mm)	90 kg
ASC Scientific Pomeroy EZ Core D261-C Drill ²⁸	-	-	- -	5 kg
Shaw Backpack Portable Rock Coring Drill ^{27,29}	-	- -	25–41 mm -	20 kg

⁴³ EVH Drill Engineering. *1750 Scout Drill: Specifications* [broschyr]. (2021). <https://evh.com.au/wp-content/uploads/2021/11/1750-scout-drill-specs.pdf>

⁴⁴ Boart Longyear. *2014 Drilling Equipment Product Line* [broschyr]. (2014). https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/190497/Catalogo-de-ma-769-quinas-2014.pdf

Tabell 5. Kompakt utrustning för borrhålsundersökningar.

Sond	Tillverkare	Typ	Längd	Diameter	Rek. håldiameter
Hi-OPTV ⁴⁵	Robertson Geo	OTV	2130 mm	46 mm	-
QL40 OBI 2G ⁴⁶	ALT/Mount Sopris	OTV	1490 mm	40 mm	58–530 mm
BIPS ²²	RaaX	OTV	1540 mm	42 mm	55–180 mm
OPTV38 ⁴⁷	LIM	OTV	1620 mm	38 mm	60–300 mm
Optical Televiewer ⁴⁸	Geovista (UK)	OTV	1630 mm	52 mm	70–300 mm
QL40 ABI ⁴⁹	ALT/Mount Sopris	ATV	1620 mm	40 mm	64–500 mm
BHTV42 ⁵⁰	LIM	ATV	2100 mm	42 mm	75–300 mm
Acoustic Televiewer ⁴⁸	Geovista (UK)	ATV	2100 mm	42 mm	70–400 mm
HRAT ⁵¹	Robertson Geo	ATV	1990 mm	42 mm	-
Bore hole camera ⁵²	RockSmith	BH-kamera	340 mm	42 mm	-
MSI360 ⁵³	ALT/Mount Sopris	BH-kamera	708 mm	43 mm	-
RGeo-eye ⁵⁴	Robertson Geo	BH-kamera	1080 mm	43 mm	-
Impeller Flowmeter Probe ⁴⁸	Geovista (UK)	Spinner	480 mm	50–100 mm	-
MBAS-A ⁵⁵	Geotomographie	BH-geofon	-	-	75 mm
BA-1000 ⁵⁶	Geoscanners	BH-radar	655 mm	38 mm	-

⁴⁵ Robertson Geo. *Probes: High Resolution Optical Televiewer (Hi-OPTV)* [broschyr]. (u.å.).

<https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/usermanual/1633693414.pdf>

⁴⁶ Advanced Logic Technology. *QL40-OBI-2G, OBI40-GR-2G: Optical borehole imager* [broschyr]. (2023)

<https://www.alt.lu/wp-content/uploads/OBI40.pdf>

⁴⁷ LIM. *OPTV 38 & 52 : Optical Televiewer*. (u.å.). <https://www.lim.eu/produits-lim/lim-logging/sondes-diagraphies/sonde-optv38-52?lang=en>

⁴⁸ Geovista. *Intelligent subsurface data acquisition: Borehole Geophysical Logging, Imaging, Video, and Borehole Direction Survey Systems* [broschyr]. (u.å.)

https://www.geovista.co.uk/_files/ugd/e17692_905613044cbd4a5eac2d6d744e615c5f.pdf

⁴⁹ Advanced Logic Technology. *QL40-ABI-2G, ABI40-GR-2G: Acoustic borehole imager* [broschyr]. (2023). <https://www.alt.lu/wp-content/uploads/ABI40.pdf>

⁵⁰ LIM. *BHTV 42: Televiewer Acoustic Wall Imaging*. (u.å.). <https://www.lim.eu/produits-lim/lim-logging/sondes-diagraphies/sonde-bhtv42-42ht?lang=en>

⁵¹ Robertson Geo. *Probes: High Resolution Acoustic Televiewer (HRAT)* [broschyr]. (u.å.).

<https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/usermanual/1633693399.pdf>

⁵² RockSmith. *Bore Hole Camera*. (2021). https://rocksmith.com.au/acessories_bore_hole_camera.php

⁵³ Mount Sopris Instruments. *MSI-360 Digital Camera*. (2023). <https://mountsopris.com/new-msi-360-digital-camera/>

⁵⁴ Robertson Geo. *RGeo-eye: Downhole Camera* [broschyr]. (u.å.). <https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/geoinfo/1659952397.pdf>

⁵⁵ Geotomographie. *MBAS-A | Analog Multistation Borehole Acquisition System* [broschyr]. (u.å.). <https://geotomographie.de/assets/equipment/MBAS-A3.pdf>

⁵⁶ Geoscanners. *BA-1000*. (2024). https://www.geoscanners.com/Product_BA-1000.html

6 Praktikfall

Praktikfallen baseras på beskrivningar av projekt som erhållits från genomförda intervjuer. En sammanfattning av praktikfallen ges i Tabell 6.

Tabell 6. Sammanfattning av praktikfall.

Uppdrag	Utrymme Höjd x Bredd	Borrigg	Håldiameter	Kärnrörlängd
Borrning i betongdammar i Tasmanien	2 x 1,5 m	1750 Scout	100 mm, 76 mm	1,5 m
Hammarborrning i Copperfield River Gorge Dam	2 x 1,2 m	1750 Scout	90 mm	-
Trippeltubborrning i Somerset Dam	2,1 x 1,5 m	DT Gallery Rig	94 mm	1 m, 1,5 m
Borrning och borrhålsrymning i Burdekin Dam	2 x 1,5	DT Gallery Rig, 1750 Scout	94 mm, 100 mm	1,5 m
Kärnborrning under Sturegallerian	2 x - m	WEKA betong- håltagare	56 mm	0,5 m, 1 m
Kärnborrning för vajersågning i Henriksdals reningsverk	2 x 1,5	Diamec 232	46 mm	0,5 m
Kärnborrning i källare i Gamla Stan	1,8 x - m	DE130	-	0,75 m
Kärnborrning i vattenkraftdammar	3 x 1 m	DE130	76 mm, 146 mm	1,5 m

6.1 BORRNING I BETONGDAMMAR I TASMANIEN

Uppdraget omfattade tryckavlastning och installation av piezometrar i Clark Dam, Pine Tier Dam och Liapootah Dam i Australien.⁴² Arbetet pågick i sju månader och totalt borrades 95 hammarborrhål, 16 meter djupa och 100 mm breda. Utöver borrades ett okänt antal 76 mm kärnborrhål för kärnkartering samt OTV och ATV-filmning av hålen. Borrningen utfördes från dräneringsgallerier, cirka 2,1 m höga och 1,5 m breda. Berggrunden för Clark dam bestod av en färsk och hård diabas, berggrunden för övriga dammar framgick inte.

Både kärn- och hammarborrningen gjordes med en 1750 Scout (Tabell 4) som transporterades för hand och monterades på plats. Denna drevs av en elektrisk hydraulpump som i sin tur drevs av en dieselgenerator placerad utanför dräneringsgalleriet. Det borrades med 1,5 meters kärnrör med wirelinesystem och trippeltub för att minska kärnförlusten och underlätta tolkning av borrhålen. Borrhålen kunde borrar i projekterad vinkel, något lutande från vertikalen. Mindre uttag gjordes för att rymma utrustningen. Efter borrning trycksattes borrhålen för att säkerställa tillräcklig konduktivitet.

Spolvattnet tillfördes från ett delvis slutet system och borrhaxet separerades med sedimentering genom att cirkulera vattnet genom bassänger/sedimenttankar. Det krävdes omhändertagande av stora mängder borrhax (cirka 9000 l slurry per dag) som pumpades ut ur bassängerna med elektriska monopumpar till sugbilar för bortkörning.

Kärnorna placerades i borrhärslådor vid borrhålet och bars sedan ut ur tunneln och fotograferades ovan jord. Inga problem uppstod vid hantering och extraktion av kärnorna. Trippeltubborrningen gjordes med noggrann övervakning av matningshastighet, vibrationer och borrhax.

De övre 700 mm av borrhålet kärnborrades i 100 mm diameter för att sedan bulta och gjuta fast foderrör med kranventiler (se Figur 11). Detta då tunneln i vissa fall låg 75 meter under grundvattennivån vilket krävde åtgärder för att förhindra översvämning. Monteringen användes även för avledning och hantering av returvatten.

Säkerhetsåtgärder innefattade utöver vattenventilerna, även säkerställning av tillräcklig ventilation för avgaser, säkerställande av fria utrymmesvägar för att undvika instängning samt gasmätare vid varje borrhög. I Pine Tier Dam fanns endast en tillgång/utrymmesväg och speciella säkerhetsåtgärder behövde därför vidtas för säkerställa att ingen personal skulle riskera att bli instängd.

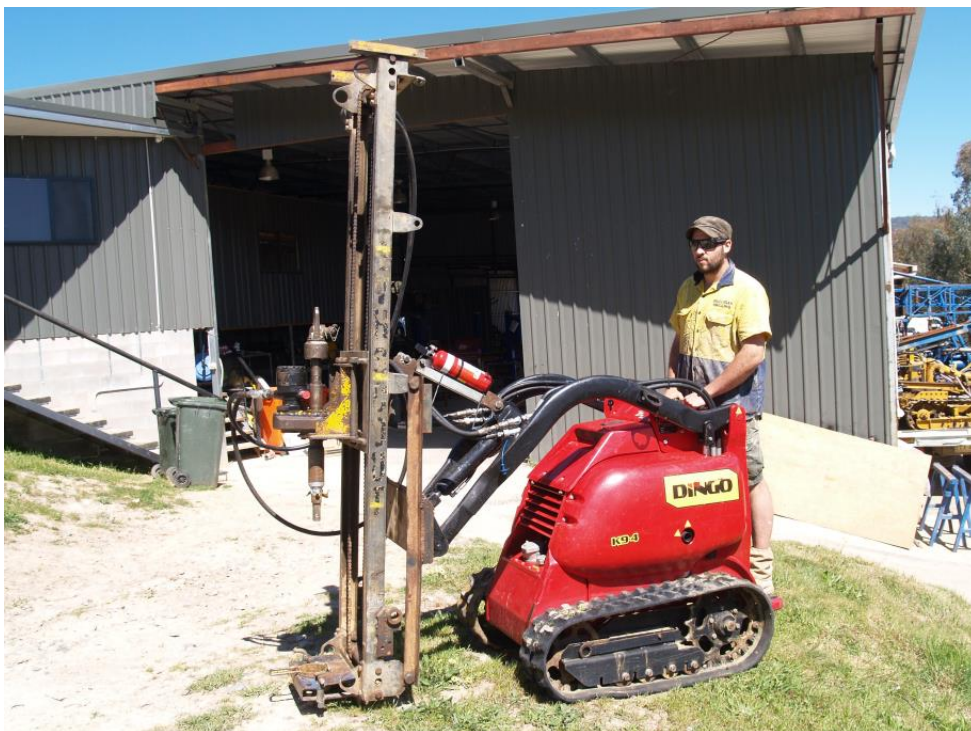


Figur 11. 1750 Scout-borrigg med montering för kranventil vid borrhålsmyningen för hantering av vattenupstryck ur borrhålet. Bilden är tagen i samband med ett annat uppdrag (Bild: Mulligan Geotechnical).

6.2 HAMMARBORRNING I COPPERFIELD RIVER GORGE DAM

Uppdraget omfattade tryckavlastning under en RCC-damm i Australien genom upprymning av 17 befintliga hål och borrning av 57 nya hål.⁴² Två av borrhålen var 20–35 m långa och resterande 7,5 m långa. Samtliga hål var 90 mm i diameter. Uppdraget tog 5 veckor att utföra. Borrningen utfördes från dräneringsgallerier, cirka 2 m höga och 1,2 m breda. Berggrundsgeologin framgick inte av intervjun.

Borrhålen hammarborrades med en 1750 Scout-bom monterad på en mindre larvbandsmaskin med integrerad hydraulpump (Figur 12). Hammarborren drevs av en 400 x 200 mm kompressor placerad utanför dräneringsgalleriet. Resterande utrustning bars ner för hand. Upprepade gånger skedde det inras av material i borrhålen men detta utgjorde inget problem för hammarborren.



Figur 12. 1750 Scout-bom monterad på en Dingo larvbandsmaskin (Bild: Mulligan Geotechnical).

6.3 TRIPPELTUBSBORRNING I SOMERSET DAM

Somerset dam är en gravitationsdamm av betong i Queensland i Australien. Uppdraget var del av en renovering av dammen som genomfördes under 2016 och tog omkring 6 veckor.⁴² Borrningen omfattade 10 stycken, 30 meter djupa och 94 mm breda kärnborrhål i sandsten. Galleriet var 2,1 m högt och 1,5 m brett. Samtliga borrhål filmades med OTV och ATV.

Kärnborrningen utfördes med en DT Gallery Rig, en specialbyggd rigg för borrning i dräneringsgallerier. Borriggen visas i Figur 13 och beskrivs i Tabell 4. Riggen monterades ner i 8 delar som transporterades ner i galleriet på släde som drogs av borriggens wirelinevinsch. Övrig utrustning transporterades också på släde. En dieselgenerator placerades 200 m utanför galleriet och det drogs 100 m hydraulslangar för drivning av riggen.

Borrhålen kärnborrades med trippeltub och wirelinesystem (HQ3) med 1 m och 1,5 m långa kärnrör. Anledningen för användning av trippeltub var för att minimera kärnförlust och få en bättre kärna. Ett biologiskt nedbrytbart högvisköst (trögflytande) tillsatsmedel användes vid borrningen.

Spolvatten tillfördes från naturligt grund/ytvatten och dränering av returvattnet med borrhaxet gjordes genom galleriets dräneringssystem. Borrhaxet sedimenterades i bassänger och pumpades sedan ut till sugbilar med hjälp av hydrauliska monopumpar.

Borrkärnorna placerades i borrkärnslådor direkt vid borrhålet och fotograferades ovan jord. Inga problem uppstod vid uttag av kärnorna utom vid ett tillfälle då det inre kärnröret inte monterats korrekt. Sporadiska utfall i borrhålet förekom som kilade igen borrhålen.

Åtgärder för säker arbetsmiljö innefattade installation av nödbelysning med jämna intervall längst med galleriet samt tillgång till nödutgångar på båda sidor av galleriet.

OTV- och ATV-filmning genomfördes i samtliga hål av kunden för kartering av diskontinuiteter och korrelering med borrkärnorna. Borrhålen spolades inför filmningen. Det begränsade utrymmet utgjorde inget hinder för filmningen av borrhålen.



Figur 13. Trippeltubskärnborrning med 94 mm (HQ3) borrhål med DT Gallery Rig vid Somerset Dam (Bild: Mulligan Geotechnical).

6.4 BORRNING OCH BORRHÅLSRYMNING I BURDEKIN DAM

Burdekin Dam är en gravitationsdamm i betong i Australien. Uppdraget omfattade förbättring av dammens dräneringssystem genom att borra och rymma 262 vertikala dräneringshål, 24 lutande dräneringshål från ett övre och nedre galleri samt 140 vertikala hål på dammens utskov.⁴² Uppdraget pågick i 7 månader mellan april och oktober 2017. Håldjupen var runt 80–100 m och borrades i en hård och kompetent dacit. Gallerierna var 2 m höga och 1,5 m breda.

Borrningen gjordes med en DT Gallery Rig och ett antal 1750 Scout-borriggar. Den tyngre DT Gallery-riggen drogs ner på släde med hjälp av dess wirelinevinsch, och de lättare 1750 Scout-riggarna bars ned för hand och monterades vid borrhålen. Viss övrig utrustning transporterades med vagn. Ramper installerades vid trappor för att underlätta transporten (Figur 14). Borriggarna monterades i gallerierna och drevs av elektiska hydraulpumpar placerade i gallerierna (Figur 15). Upp till 100 m långa hydraulslangar användes. Hydraulpumparna drevs i sin tur av 100 kVA-generatorer placerade vid ingången till gallerierna, vid dammfästena. Man försökte initialt kärnborra 94 mm-hål (HQ) men på grund av det hårda berget övergick man till hammarborrning i storlek 100 mm. Foderrör installerades 600 mm ner i borrhålsmyningarna.

Spolvattnet återanvändes från returvatten som fick sedimentera i dräneringsfåran (se Figur 16). Borrkaxet skyfflades för hand ur fåran och transporterades därefter till sugbilar.

Arbetsmiljöåtgärder innefattade installation av nödljus, krisberedskapsövningar, inledande workshop för riskbedömning samt installation av ventilationsfläktar. Totalt deltog 16 personer i borrarbetet.



Figur 14. Järnramp vid trappa för transport av borrhög och övrig utrustning på släde och vagn i Burdekin Dam (Bild: Mulligan Geotechnical).



Figur 15. Elektrisk hydraulpump för drivning av borrhöggar. Denna placerades i vissa fall 100 m från borrhögen (Bild: Mulligan Geotechnical).



Figur 16. 1750 Scout vid borrning i galleri vid Burdekin Dam. Returvattnet fördes mot dräneringsfåran till vänster i bild (Bild: Mulligan Geotechnical).

6.5 KÄRNBORRNING UNDER STUREGALLERIAN

Undersökningsborrning genomfördes under Sturegallerian i Stockholm inför en sänkning av en källare.⁵⁷ Syftet var dels att bestämma avståndet till berg men också att få en uppskattning på bergkvaliteten. Takhöjden i källaren var runt 2 m. På grund av det begränsade utrymmet kärnborrade man med en WEKA betonghåltagningsmaskin. Borrhålen var 10–15 m djupa och borrades i delvis jord och delvis berg. Kärnorna borrades i 56 mm enkeltubssystem med 0,5 och 1 m långa kärnrör.

6.6 KÄRNBORRNING FÖR VAJERSÅGNING I HENRIKSDALS RENINGSVERK

Kärnbörning utfördes i samband med vajersågning i Henriksdals reningsverk.⁵⁸ Utrymmet var runt 2 m högt och 1,5 m brett och 4 stycken hål borrades med en Epiroc Diamec 232 (Tabell 4) i 46 mm med enkeltub-kärnrör. Borriggen är relativt lätt och kompakt och kunde bäras för hand och bultas fast vid hålen. Kärnrören var som kortast 0,5 m. Returvattnet hanterades med en våtsug.

Utförandetiden för dessa arbeten är mycket beroende på bergkvaliteten och sprängskadat berg försvårar borrningen avsevärt då borren kilar fast i berget. Två av borrhålen avvek oväntat mycket och dessa inspekterades därför med en enklare avloppskamera i syfte att undersöka orsaken till borrhålsavvikelsen.

6.7 KÄRNBORRNING I KÄLLARE I GAMLA STAN

Undersökningsborrning utfördes i en källare i Gamla Stan i Stockholm.⁵⁹ Syftet var att undersöka cementpelare i marken genom att kärnborra ett antal 20–25 m långa hål och utföra kärnkartering av borrhålen. Hålen borrades konventionellt i dubbeltub med en Sandvik DE130-rigg med kort bom. Riggen bultades fast i grunden med hjälp av expanderbultar. Takhöjden var 1,8 m men utgjorde inget hinder för vinkeln på borrhålen, dessa kunde borrar vertikalt eftersom bommen var cirka 1,7 m lång. Borrningen utfördes med 0,75 m långa kärnrör på grund av det begränsade utrymmet. 2 personer genomförde arbetet vilket anses vara det minsta antal som krävs på dessa jobb för bland annat flytt av material och utrustning.

Tillgång till källaren begränsades av en trappa som var vinklad på två ställen men som trots detta inte utgjorde något hinder för transport av riggen som bars ner för hand och monterades vid hålen. Däremot var hydraulpumpen för stor och placerades utanför källaren. Långa hydraulslangar behövde därför dras till riggen. Spolvatten tillhandahölls från det kommunala vattennätet, och returvattnet avlägsnades med hjälp av en våtsug.

⁵⁷ P. Olstam. SDC AB, tidigare borrentreprenör på annat företag [intervju]. (2024-07-12).

⁵⁸ K. Axelsson. Uppländska Bergborrnings AB [intervju]. (2024-07-09).

⁵⁹ S. Berglund. Drillcon Scandinavia AB [intervju]. (2024-08-22).

6.8 KÄRNBORRNING I VATTENKRAFTDAMMAR

Undersökningsborrning utfördes i ett cirka 1 m brett och 3 m högt galleri.⁵⁹ Det borrades 8–10 stycken, 7–9 m långa 76 mm kärnborrhål. Dessa borrades konventionellt i dubbeltub och med en Sandvik DE130. Endast den cirka 40 cm breda bommen användes vid borrningen, och bultades fast vid hålen med expanderbultar. På grund av den högre takhöjden kunde 1,5 m långa kärnrör användas. Det tog cirka 1 dag att montera riggen vid borrhålet och några timmar för borrning av respektive hål.

I ett liknande uppdrag kärnborrades det 20 m djupa 146 mm hål under en damm för installation av spännstag.⁵⁹ Utrymmet var trångt men något större än 2 m högt och 1 m brett. Borrningen utfördes även då med en Sandvik DE130.

Kontinuerliga vattenförlustmätningar utfördes i båda uppdrag genom att topptrycka borrhålen med manschett efter varje upptag av kärna. På så sätt erhöles god kontroll på eventuellt påträffande av vattenförande sprickor.

7 Planering och utföranderåd

7.1 KÄRNBORRNING I TRÅNGA UTRYMMEN

Av intervjuerna framgick det att borrning i trånga utrymmen tar runt 30–40% längre tid, mycket beroende på vilken kärnrörslängd som kan användas. Ur ett produktionseffektivt synsätt så vill borrentreprenörer använda så långa kärnrör som möjligt. Den första kärnrörssuppsättningen är alltid längre än kärnrören i sig (se Figur 5) och för att rymma så långa kärnrör som möjligt i ett begränsat utrymme kan den första kärnrörssuppsättningen monteras stegvis enligt följande:⁶⁰

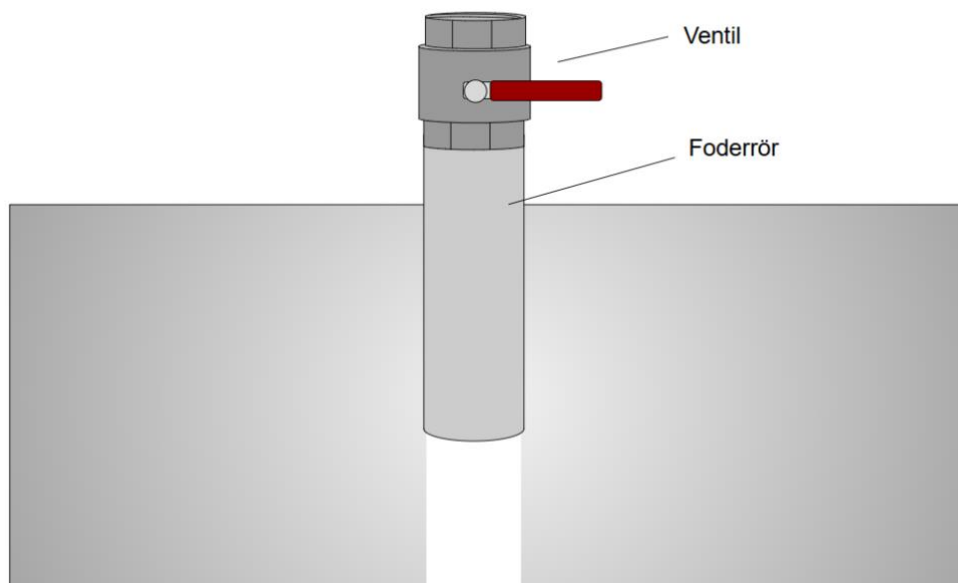
1. Borra ett kortare cirka 200 mm djupt hål med enkeltub.
2. Sänk ner borrkrona och kaliberring i borrhålet. Kläm fast dessa med 20–30 mm marginal upptill.
3. Montera kärnrör baktill, sänk uppsättningen ytterligare i hålet och montera kärnanslutning och låsningskoppling.

På så sätt kan borrningen utföras med maximalt långa kärnrör, utan att begränsas av den första kärnrörssuppsättningens längd. Vid behov kan mindre uttag göras för att skapa mer utrymme men att göra sådana uttag i berg eller betong kan dock vara tidskrävande.

Vid uttag av kärna kan den inre kärnrörssuppsättningen vara för lång för att tas ut i en omgång. Detta gäller speciellt vid borrning med wirelinesystem som har långa kärnhuvuden. I dessa fall dras den inre kärnrörssuppsättningen ut tillräckligt så att denna kan klämmas fast för att inte falla ner i borrhålet. Därefter skruvas kärnhuvudet av och resterande inre kärnrör kan tas ut för tömning av kärna. Kärnhanteringen och kvaliteten på borkärnan tycks inte påverkas nämnvärt av trånga utrymmen. Borrning med orienterad kärna verkar vara ovanligt i trånga utrymmen, troligen eftersom kärnorienterare innebär cirka 20–30 cm längdminskning av innerröret.

Sker borrningen under grundvattenytan monteras ofta foderrör med kulventiler vid borrhålsmyningen (Figur 17). Vid påträffande av vattenförande sprickor kan borrhålen då snabbt förslutas för att förhindra översvämning av utrymmet. Man kan räkna med 1 dag för borrning och gjutning av foderrör samt montering av kulventil. Det bör räknas med att foderröret med kulventil sticker upp cirka 30 cm ovanför borrhålet vilket måste beaktas i trånga utrymmen. Ett alternativ är att borra hålen utan kranventil och i stället täta hålen tillfälligt med manschetter för att erhålla mer plats för borrhög och eventuella efterföljande undersökningar.

⁶⁰ J. Mulligan. Mulligan Geotechnical [E-post]. (2024-08-06).



Figur 17. Foderrör med ventil för att motverka eventuellt vattenuppträck.

7.1.1 Kärnborrning i utrymmen mindre än 2x1 meter

Trots att ingen borrning har utförts i utrymmen med tvärsektion mindre än 2 m höga och 1 m breda i de praktikfall som beskrivits av intervjupersonerna är det sannolikt att kärnborrning är genomförbart i dessa utrymmen. Till exempel har det borrats med en DE130 i ett utrymme med takhöjd runt 1,8 m, och samma rigg har även använts vid borrning i ett utrymme med cirka 1 m i bredd (avsnitt 6.7 respektive 6.8). Att riggen hade kunnat användas i ett utrymme med 1,8 m takhöjd och 1 m i bredd är därför inte osannolikt. Däremot är det möjligt att andra faktorer kan vara begränsande som till exempel arbetsmiljöaspekter, tillgång till el, hydraulik och lösning för omhändertagande av returvatten. Mulligan Geotechnical⁴² har uppgett att deras DT Gallery Rig har använts vid borrning i ett 1,5 m högt galleri med 1 m långa kärnrör och att riggen kan användas i utrymmen med 2x1 m i tvärsektion. Att mindre riggar såsom DE110 och Epiroc 232 går att använda i dessa utrymmen är därför inte heller osannolikt. Däremot begränsas i regel hållängden, kärndiametern och kvaliteten på kärnan ju mindre rigg som används.

Baserat på intervjuerna och genomförd marknadsundersökning kan DE130 och Epiroc 232 sannolikt anses vara de lämpligaste kärnborriggarna för de angivna förhållandena. Detta dels då borriggarna finns tillgängliga på den svenska marknaden, inräknat de riggar som används idag, men också då dessa bevisligen har använts i liknande förhållanden (se Tabell 6).

7.1.2 Kärnborrning med betonghåltagare

I vissa fall där kärnborriggar inte ryms kan kärnborrningen utföras med elektriska betonghåltagare. Dessa är klenare än bergborriggar och begränsas av storlek på kärnrör och typ av system. Med betonghåltagare borrar man ofta med

enkeltubssystem på grund av den begränsade tryckkraften som erhålls vid handmatning. Dubbeltub- och trippeltubssystem har tjockare borrkronor än enkeltubssystem och kräver därför högre tryck mot berget, men det finns fall där borrning har utförts med 56 mm konventionella dubbeltubssystem med betonghåltagare. Det är oklart om betonghåltagare klarar av att borra i trippeltub. Minsta diameter på moderna trippeltubssystem är 60 mm (storlek B) och finns endast i wireline-utförande, som i regel har tjockare borrkronor.

Längden på borrhålen begränsas till ungefär 50 m vid borrning med betonghåltagare. Problem kan uppstå vid knäckning/brytning av kärna på grund av den begränsade dragkraften och upptag av kärna görs vanligtvis vid påträffande av sprickor i berget som ofta resulterar i kärnstopp.

7.1.3 Hammarborrning för identifiering av sprickplan

Kapitel 6.2 beskriver ett uppdrag där det genomförts hammarborrning i tryckavlastningssyfte. Av den information som tillhandahållits författarna utfördes inga borrhålsundersökningar i dessa hål men det är sannolikt att borrhålsfilmning hade kunnat utföras i efterhand för identifiering av sprickor i berget. Aspekter avseende bestämning av sprickegenskaper enbart genom borrhålsfilmning omfattas inte inom ramen för detta arbete och diskuteras därför inte vidare.

7.2 BORRHÅLSUNDERSÖKNINGAR I TRÅNGA UTRYMMEN

Av intervjuerna verkar utförandet av borrhålsundersökningar inte påverkas nämnvärt av utrymmesbegränsningar, så länge utrustningen i sig får plats. Den största begränsningen vid borrhålsfilmning förefaller vara sondernas längd, där de kortare OTV-sonderna är runt 1,5 m, och ATV-sonderna runt 1,6 m (

Tabell 5). Det är viktigt att beakta uppstick av eventuella foderrör och kranventiler som ytterligare begränsar utrymmet och val av undersökningsmetod.

Ofta vill entreprenörerna att borrhålen är tillräckligt stora för att undvika att utrustningen fastnar i borrhålen. Detta är beroende på typ av metod och sond som används men generellt bör borrhålen vara minst 56 mm, och helst 76 mm. Det kan vara svårt att kärnborra 76 mm med mindre riggar som exempelvis DE110, Diamec 232 och elektriska betonghåltagare och då är borrhålsrymning ett alternativ.

Filmning av hammarborrade hål är inget problem. Trots att borrhålen har en något skrovligare yta, påverkar detta inte bildkvaliteten i någon betydande utsträckning. Vattenupptryck ur borrhålet tycks heller inte utgöra något problem utan kan till och med vara en fördel om borrhålen spolats rent av det inflödande vattnet.

Vattenförlustmätning med topptryckning av borrhål kan med fördel utföras i samband med konventionell kärnborrning. När borrhålet töms på borrsträngar vid varje kärnupptag kan det förslutas med manschett och topptryckas. På så sätt erhålls sektionmätningar av bergets vattenförande förmåga allt eftersom borringen pågår, och borroperatörerna får god kontroll över eventuella påträffanden av vattenförande sprickor.

7.3 RISKER VID BORRNING I TRÅNGA UTRYMMEN

Projektering av borrhningsuppdrag i trånga utrymmen bör tidigt innefatta en riskbedömningsworkshop för alla inblandade i projektet i syfte att kartlägga och utvärdera relevanta risker. I trånga utrymmen kan följande praktiska riskaspekter vara mer framträdande:

- Åtkomst och utrymmesvägar. Dessa bör säkerställas åt båda håll om borrhigg och tillhörande utrustning riskerar att blockera tunneln. Erhålls endast en utrymningsväg måste denna hållas fri.
- Säker transport av utrustning. Branta trappor bör förses med ledstänger och vid transport med släde kan ramper behöva installeras. Spiraltrappor kan också förekomma.
- Ljussättning. Ljuskällor kan behöva skyddas från slag- och stötskador från utrustning, till exempel genom att installera gallerarmatur. Även nödljussättning kan behöva säkerställas.
- Ventilation. God luftkvalitet kräver tillräcklig ventilation. Dieselgeneratorer bör placeras utanför galleriet och därav måste elkablar och hydraulslangar vara tillräckligt långa.
- Översvämning. Vid borring under vattenytan kan vattenupptryck ur borrhålet förekomma. Trånga gallerier kan vattenfyllas snabbt. I dessa fall bör foderrör med stoppventil gjutas fast innan borringen påbörjas, eller alternativt ha tryckmanschetter redo för förslutning av borrhålet.
- Risk för gasutsläpp vid borring. Gasmätare bör användas och gasmask bör finnas tillgängligt om gasrisk förekommer.
- Skada från maskin. I trånga utrymmen monteras ofta skyddsgaller av från borrhiggen. Personal som står nära borrhiggen under drift i trånga utrymmen löper då ökad risk för rotations- och klämskador.

Likt många andra arbeten kan säkerhetsrisker identifieras under arbetets gång, som exempelvis behovet av att montera räcken vid trappor, installera halkskydd eller jämna ut golv. Därför är det avgörande att kontinuerligt utföra arbetsmiljöarbeten, bedöma risker och vidta nödvändiga åtgärder under hela arbetsprocessen.

8 Slutsatser

Borrning som möjliggör identifiering och karaktärisering av sprickplan har utifrån den information som åstadkommits i detta arbete utförts i viss utsträckning och en del erfarenhet och utrustning finns att tillgå. De typfall som beskrivits i arbetet omfattar uppdrag där det utförts konventionell kärnbörning, kärnbörning med wireline samt enkel-, dubbel- och trippeltubsbörning. Ingen borrning har utförts i utrymmen med tvärsektion mindre än 2 meter hög och 1 meter bred i de praktikfall som beskrivits av intervjupersonerna, men de metoder, den utrustning och de projekteringsaspekter som behandlats bedöms ändå vara tillämpbara även i mindre utrymmen än vad som angivits. Däremot är det möjligt att utförandet begränsas av andra faktorer som till exempel arbetsmiljöaspekter, tillgång till utrymmet, tillgång till el, hydraulik och lösning för omhändertagande av returvatten.

Det bör eftersträvas att borra med så stor håldiameter som möjligt, dels för att erhålla grov diameter på borrkärnan som medför mer representativa prov, och dels för att erhålla tillräckligt stora hål för efterkommande borrhålsundersökningar. Storleken på kärnan begränsas emellertid av vilken typ av rigg som får plats i utrymmet samt djupet på borrhålet. Det är vanligt att elektriska betonghåltagare används i utrymmen där kärnbormaskiner inte får plats. Dessa maskiner är däremot inte lämpliga för trippeltubsbörning, och håldiametrarna begränsas till ungefär 56 mm. Generellt kan sägas att mindre utrymmen kräver mindre borrhägar som i sin tur medför sämre kvalitet på kärnan. Detta på grund av de smalare kärndiametrar som erhålls och begränsningen till enklare kärnrörssystem.

Övriga borrhålsundersökningar utöver kärnbörning tycks inte begränsas nämnvärt av trånga utrymmen så länge borrhålen är utförda och utrusningen i sig får plats. De minsta televiewer-sonderna för optisk och akustisk borrhålsfilmning på marknaden är runt 1,5 m långa men det är viktigt att beakta eventuella uppstick av foderrör eller ventiler då dessa kan begränsa utrymmet ytterligare. För de mindre televiewer-sonderna bör borrhålsdiametern generellt vara minst 56 mm, och helst 76 mm. Om önskad håldiameter inte kan borraras med en viss rigg kan borrhålen rymmas i omgångar med följden att erhållen kärna blir av sämre kvalitet.

9 Referenslista

Advanced Logic Technology. *QL40-ABI-2G, ABI40-GR-2G: Acoustic borehole imager* [broschyr]. (2023). <https://www.alt.lu/wp-content/uploads/ABI40.pdf>

Advanced Logic Technology. *QL40-OBI-2G, OBI40-GR-2G: Optical borehole imager* [broschyr]. (2023) <https://www.alt.lu/wp-content/uploads/OBI40.pdf>

AFS 2020:1. *Arbetsplatsens utformning*. (2020).
<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs2020-1.pdf>

AMS, Inc. *41 mm Shaw Backpack Portable Rock Coring Drill Kit*. (2024).
<https://www.ams-samplers.com/41-mm-shaw-backpack-portable-rock-coring-drill-kit/>

ASC Scientific. *Pomeroy EZ Core D261-C Drill*. (2024).
<https://www.ascscientific.com/products/pomeroy-ez-core-d261-c-drill>

ASTM D5607-16. *Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force*. (2016).

ASTM D5753-18. *Standard Guide for Planning and Conducting Geotechnical Borehole Geophysical Logging*. (2018).

Barton, N. & Choubey, V. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*. 10 (1977): s. 1–54.
<https://doi.org/10.1007/BF01261801>

Barton, N. A review of the shear strength of filled discontinuities in rock. *Norwegian Geotechnical Institute Publication*. 105 (1974).
https://www.researchgate.net/publication/321997086_Barton_1973_A_review_of_the_shear_strength_of_filled_discontinuities_in_rock_Bergmekanikk_Oslo

Barton, N., Wang, C. & Yong, R. Advances in joint roughness coefficient (JRC) and its engineering applications. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 15: 12 (2023): s. 3352–3379.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.02.002>

BeFo. *Publikationer*. (u.å.) <https://www.befoonline.org/publikationer>

Boart Longyear. *2014 Drilling Equipment Product Line* [broschyr]. (2014).
https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/190497/Catalogo-de-ma--769-quinas-2014.pdf

Coeur Products. *The Termite*. (2024). <https://corebox.com/the-termite/>

Comacchio. *MC 2D*. (u.å.). <https://www.comacchio.com/en/products/foundations-and-ground-improvement/microdrilling/limited-access-rigs/mc-2-d-1857165949.html>

- Comacchio. *MC 2D: Hydraulic drill rig* [broschyr]. (2016).
<https://eurodrilling.se/onewebmedia/MC%202D.pdf>
- Drilltechniques. *Custom Built Drilling Rigs*. (2017).
<https://drilltechniques.com.au/custom-drilling-rigs/>
- Energiforsk. *Rapportsök*. <https://energiforsk.se/rapportsok/>
- Energiföretagen Sverige. *RIDAS - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*.
<https://www.energiforetagen.se/>
- Epiroc Sweden. *Diamec 232* [broschyr]. (2024).
https://www.epiroc.com/content/dam/epiroc/surface-and-exploration/2-exploration-drill-rigs/diamec/diamec-232/web_pdf_232/9868%200164%2001%20Diamec%20232%20Epiroc%20brochure%20WEB.pdf
- EVH Drill Engineering. *1750 Scout Drill: Specifications* [broschyr]. (2021).
<https://evh.com.au/wp-content/uploads/2021/11/1750-scout-drill-specs.pdf>
- Fordia. *International Standards for Diamond Drilling Equipment*. (2021).
<https://www.fordia.com/en/resources/blog/2021/international-standards-for-diamond-drilling-equipment>
- Geoscanners. *BA-1000*. (2024). https://www.geoscanners.com/Product_BA-1000.html
- Geotomographie. *MBAS-A | Analog Multistation Borehole Acquisition System* [broschyr]. (u.å.). <https://geotomographie.de/assets/equipment/MBAS-A3.pdf>
- Geovista. *Intelligent subsurface data acquisition: Borehole Geophysical Logging, Imaging, Video, and Borehole Direction Survey Systems* [broschyr]. (u.å.).
https://www.geovista.co.uk/_files/ugd/e17692_905613044cbd4a5eac2d6d744e615c5f.pdf
- HT Engineering Machinery. *Small Core Drilling Rig Machine Man Portable QZ-20*. (2024). <https://www.htwaterwelldrillingrig.com/Products/Portable-Rock-Core-Drilling-Cutting-Machine.html>
- JKS Boyles. *SD-1500 JKS Boyles Super300U*. (2024).
<https://dasmithdrilling.com/equipment/sd-1500-diamond-core-drill>
- Johansson, F. *Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg*. (BeFo, 2006). <https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/166/R74.pdf>
- Li, S. J., Feng, X. T., Wang, C. Y. & Hudson, J. A. ISRM suggested method for rock fractures observations using a borehole digital optical televiewer. *Rock mechanics and rock engineering* 46 (2013): s. 635–644.
<https://doi.org/10.1007/s00603-012-0344-9>

- LIM. *BHTV 42: Televiwer Acoustic Wall Imaging*. (u.å.).
<https://www.lim.eu/produits-lim/lim-logging/sondes-diagraphies/sonde-bhtv42-42ht?lang=en>
- LIM. *OPTV 38 & 52 : Optical Televiwer*. (u.å.). <https://www.lim.eu/produits-lim/lim-logging/sondes-diagraphies/sonde-optv38-52?lang=en>
- McKenna, G. T. C. & Roberts-Kelly, S. L. Televiwer imaging of boreholes; benefits and considerations for interpretation in the absence of physical rock core. I: *Proc. 5th Int. Conf. Geotech. Geophys. Site Characterisation, ISC 2016*. Queensland, Australien (5/9–9/9 2016). 1 (2016): s. 291–296.
https://www.issmge.org/uploads/publications/25/26/ISC5_029.pdf
- Mount Sopris Instruments. *MSI-360 Digital Camera*. (2023).
<https://mountsopris.com/new-msi-360-digital-camera/>
- Multi Power Products. *Discovery UG 75 HP Compact: Underground Diamond Core Drill* [broschyr]. (u.å.).
https://www.multipowerproducts.com/files/2415/0057/4907/Discovery_UG_75_HP.compressed.pdf
- Pentrunder. (2024). <https://pentrunder.com/>
- Price, D. G. *Engineering Geology: Principles and Practice*. (Springer, 2009).
- Robertson Geo. *GeoInfo: Common Coring Drill Bit Sizes*. (u.å.).
<https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/geoinfo/1538562948.pdf>
- Robertson Geo. *Probes: High Resolution Acoustic Televiwer (HRAT)* [broschyr]. (u.å.).
<https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/usermanual/1633693399.pdf>
- Robertson Geo. *Probes: High Resolution Optical Televiwer (Hi-OPTV)* [broschyr]. (u.å.). <https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/usermanual/1633693414.pdf>
- Robertson Geo. *RGeo-eye: Downhole Camera* [broschyr]. (u.å.).
<https://www.robertson-geo.com/wp-content/themes/robertson/downloadfiles/geoinfo/1659952397.pdf>
- Rocha, M. A method of integral sampling of rock masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 3 (1971): s. 1–12. <https://doi.org/10.1007/BF01243548>
- RockSmith. *Bore Hole Camera*. (2021).
https://rocksmith.com.au/acessories_bore_hole_camera.php
- Sandvik. *DE100 series: compact core drills* [broschyr]. (2011).
<https://mitchelldrillinginternational.com/wp-content/uploads/2021/06/Sandvik-DE130-Series-Specifications.pdf>
- Shaw Tool Company. *Shaw portable core drill*. (2011).
<https://www.backpackdrill.com/>

- Son-Mak. *Levent 1001: Core Drilling Rig* [broschyr]. (2021). <https://son-mak.com.tr/wp-content/uploads/2024/10/Levent-1001.pdf>
- Sunny Corner Exploration. *SCX DE130* [broschyr]. (2022).
https://scxploration.com/wp-content/uploads/2022/12/116-012-22_SCXTechnicalSpecs-DE130-en-US.pdf
- Sunny Corner Exploration. *SCX DE130 Compact Core Drill Rig*. (u.å.).
<https://scxploration.com/scx-de130/>
- TerraRoc. *Terracore core drilling tools – product catalogue*. (2020).
https://terrarcodrilling.com/wp-content/uploads/2020/03/Terraroc_CoreDrillingTools_Product_catalogue.pdf
- Ulusay, R. *The ISRM suggested methods for rock characterization (The Orange Book)*. (Springer, 2014).
- Umeå Universitet. *Oxford - skriva referenslista*. (2024).
<https://www.umu.se/bibliotek/soka-skriva-studera/skriva-referenser/oxford-skriva-referenslista/>
- WEKA. (2024). <https://www.weka-elektrowerkzeuge.de/en/>
- Williams, J. H. & Johnson, C. D. Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies. *Journal of Applied Geophysics*. 55: 1–2 (2004): s. 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2003.06.009>
- Wänstedt, S., Carlsten, S. & Tirén S. Borehole radar measurements aid structure geological interpretations. *Journal of Applied Geophysics*. 43: 2–4 (2000): s. 227–237. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(99\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(99)00061-0)
- Wänstedt, S., Tirén, S., Askling, P., Ekman, L. & Hansson, K. Ett koncept för effektivare förundersökningar från borrhål. I: *Föredrag vid bergmekanikdag i Stockholm*. Stockholm, Sverige (10/3 1999), s. 25–39.
<https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/196/Bergmekanikdag1999.pdf>

Bilaga A: Intervjufrågor

Frågor - Borrning

Svara gärna på samtliga frågor utifrån ett specifikt arbete. Ange gärna svar från flera arbeten, men särskilj dessa tydligt. Frågorna riktar sig endast till arbeten som utförts i utrymmen omkring 1x2m i sektion eller mindre.

1. Platsspecifika förutsättningar:

- a. När och var?
- b. Syftet med borrningen?
- c. Hur många hål borrades?
- d. Hur djupt borrades?
- e. Storlek på borrhål (A, B, N, H, P, S)?
- f. Genomfördes borrhålsfilmning?
- g. Kompletterades borrningen med annan undersökningsmetod (ex. resistivitetsmätning, flödes/spinner-mätning, borrhålsradar, seismisk undersökning)?
- h. Hur många var ni på plats?
- i. Storlek på utrymmet?
- j. Tillgång/access till utrymmet (tillgång från flera håll? Stege/ramp?)
- k. Hur lång tid tog arbetet?
- l. Generellt: tar det avsevärt längre tid i trånga utrymmen?
- m. Vidhölls särskilda åtgärder för att bibehålla en säker arbetsmiljö? Till exempel med avseende på:
 - i. Avgaser?
 - ii. Klämrisk?
 - iii. Syremätare?
- n. Annat?

2. Borrutrustning:

- a. Maskintyp (ex. Sandvik DE110, Epiroc Diamec 232, specialbyggd maskin)?
- b. Cirkamått (längd, bredd, vikt, längd på bom)?
- c. Drivning (el/elverk/hydraulik/tryckluft)?
- d. Konventionell- eller wirelineborrning?
- e. Enkel-, dubbel- eller trippeltubs-borrning?
- f. Varför just denna typ av borrning?
- g. Längd på kärnrör (0,5m/1,0m/1,5m/annat)?
- h. Användes utrustning för orienterad kärna?
- i. Användes MWD (measurement while drilling)?
- j. Hur tillfördes vatten (varifrån)?
- k. Slutet system (återanvändning av vattnet)?
- l. Tillsattes tillsatsmedel?
- m. Användes någon annan relevant utrustning?

3. Tekniska problem/lösningar:

- a. Hur transporterades all utrustning till borrarplatsen (för hand? Fyrhjuling?)?
- b. Monterades borrarrieten ihop på plats?

- c. Hur drogs el/hydraulik? Placerades generatoren i samma rum som borrhälen?
 - d. Kunde ni borra i önskad vinkel eller behövde lutningen justeras på grund av begränsat utrymme?
 - e. Gjordes mindre lossställning av berg (borrning, sågning, knackning?) för att få plats med montering av borrhälen?
 - f. Hur hanterades borrhälen? Var detta ett problem?
 - g. Hur hanterades kärnor? Undersöktes dem på plats av geolog? Lades dem direkt i kärnlådor?
 - h. Uppstod problem i samband med uttag av kärnor?
 - i. Påverkades kärnhanteringen av det trånga utrymmet?
 - j. Skadades kärnan avsevärt vid uttag?
 - k. Rasade något hål in?
 - l. Stötte ni på några övriga relevanta problem?
4. **Generella frågor** (ej nödvändigtvis projektspecifikt):
- a. Vad är viktigt att tänka på vid planering av dessa specifika arbeten i trånga och svåråtkomliga utrymmen? T.ex. tillgång/åtkomst, utrymme för elverk, ventilation, plats för transport med fyrhjuling etc.

Frågor - Filmning

Om arbetet (eller ett annat arbete) omfattade borrhålsfilmning – svara gärna på nedanstående frågor. Annars kan dessa ignoreras.

1. **Platsspecifika förutsättningar:**
 - a. Syftet med filmningen?
 - b. När och var?
 - c. Storlek på utrymmet?
 - d. Hur djupt filmades?
 - e. Hur många hål filmades?
 - f. Hur många var ni på plats?
 - g. Hammar- eller kärnborrade hål?
 - h. Diameter på hålen?
 - i. Rymdes borrhålen upp till en större diameter?
 - j. Hur lång tid tog arbetet?
 - k. Tar det avsevärt längre tid i trånga utrymmen?
 - l. Utfördes inmätning av kärnborrhålen samt utfördes någon avvikelsemätning (krökmätning) av borrhålet?
2. **Typ av utrustning:**
 - a. Typ av sond och tillverkare?
 - b. Dimensioner på sonden (längd, diameter)?
3. **Tekniska problem/lösningar:**
 - a. Begränsades ni av grumligt vatten?
 - b. Spolades hålet/hålen inför filmning?
 - c. Uppstod problem med att borrhål rasade in/sattes igen?

- d. Påverkades arbetet avsevärt på grund av begränsat utrymme?
- 4. **Övrigt** (*ej projektspecifikt*):
 - a. Gjorde ni/gör ni tolkning av resultatet?
 - b. Behöver detta jämföras/korrigeras mot kärnor?
 - c. Har ni använt enklare utrustning tex. vanlig rör-inspektionskamera för mindre undersökningar?
 - d. Har ni utfört andra oförstörande mätningar i borrhål (ex. borrhålsradar, seismiska undersökningar, spinner-mätning)?
 - i. Erhålls orientering av sprickplan från borrhålsradar?
 - e. Om ja, vilken typ och i vilket syfte? Skiljer sig metoden avsevärt från borrhålsfilmning?
 - f. Är det vanligt att borrhålet pumpas torrt eller vattenfylls inför undersökning?

BORRNING I TRÅNGA UTRYMMEN FÖR IDENTIFIERING OCH KARAKTÄRISERING AV SPRICKPLAN

Rapportens syfte är att undersöka möjligheter för utförande av borrhings- och borrhålsundersökningar i trånga utrymmen med en tvärsektion mindre än 2x1 m (höjd x bredd). Rapporten beskriver de metoder och den utrustning som lämpar sig för kärnborrning och andra borrhålsundersökningar i dessa utrymmen samt redogör för relevanta utförande- och projekteringsaspekter. Innehållet bygger på en litteraturstudie, intervjuer från sakkunniga entreprenörer i branschen och en marknadsundersökning avseende kompakt kärnborrtrrustning och utrustning för andra borrhålsundersökningar. Resultatet tyder på att det sannolikt är möjligt att genomföra kärnborrning och borrhålsfilmning i utrymmen med tvärsektion 2x1 m trots att inget praktikfall med dessa utrymmesbegränsningar identifierats i studien. Det finns borrhargar som troligen kan kärnborra i även mindre utrymmen, men mindre borrhargar medför generellt sämre kvalitet på borrhålskärnan.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

