

Rapport

P-20-32

Oktober 2021



Borrning av kärnborrhål KFR117–120 och teleskop- borrhål KFR121 i Forsmark

Göran Nilsson

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL
AND WASTE MANAGEMENT CO

Box 3091, SE-169 03 Solna
Phone +46 8 459 84 00
skb.se

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

ISSN 1651-4416

SKB P-20-32

ID 1923690

Oktober 2021

Borrning av kärnborrhål KFR117–120 och teleskopborrhål KFR121 i Forsmark

Göran Nilsson, GNC AB

Nyckelord: Kärnborrhål, Kemiborrhål, Porvattenprover.

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

Data i SKB:s databas kan ändras av olika skäl. Mindre ändringar i SKB:s databas kommer nödvändigtvis inte att resultera i en reviderad rapport. Revideringar av data kan också presenteras som supplement, tillgängliga på www.skb.se.

Denna rapport är publicerad på www.skb.se

© 2021 Svensk Kärnbränslehantering AB

Sammanfattning

Fyra traditionella kärnborrhål, KFR117–120, och ett teleskopborrhål av kemityp, KFR121, borrades på piren intill hamnen vid SFR i Forsmark i syfte att inhämta mer detaljerad geologisk, hydrologisk och hydrogeokemisk kunskap om förhållandena på den plats där flera stora bergsalar planeras att byggas. Utförandet och resultaten från borrhålen liksom av mätningar under borrhålen KFM117–121 presenteras i denna rapport.

Borrhålet KFR121, som är utfört med teleskopborrningsteknik och är av sk SKB kemityp, är ansatt med en lutning av 52,45° från horisontalplanet, är 362,53 m långt, når cirka 147 m i horisontell riktning, och har ett vertikalt djup på ca 285 m.

Vid hammarborrning av avsnittet 0–40,59 m med diametern 164,5 mm påträffades höga vatteninflöden, > 250 L/min, för hela borrhålets längd. Vid upprymningen till 250 mm:s diameter ökade vatteninflödet till 500 L/min samtidigt som även sediment rann in i borrhålet, vilket medförde att det var omöjligt att få borrhålet rent och fritt från sediment. Därför fylldes hela borrhålet med cement och en förnyad pilotborrning utfördes när cementen härdat. Efter upprymning till Ø 248,1 mm kläddes hålet in med rostfritt foderrör, och slutligen cementinjekterades spalten mellan borrhålsvägg och foderrör, så att allt vatteninflöde i den hammarborrade delen av teleskopborrhålet upphörde helt.

Under kärnborrhålsfasen vid utförandet av teleskopborrhål används ett relativt komplicerat spol- och returvattensystem, där spolvattnet prepareras i olika moment före användning. Returvattnet leds via en cyklon till en container, där borrhålets sedimenterar innan returvattnet leds vidare till godkänd recipient. Under borrhålets registrering registreras ett antal borrhåls- och spolvattenparametrar, så att god kontroll uppnås dels avseende borrhålets tekniska genomförande, dels beträffande den påverkan av spolvatten och borrhålets som grundvattenakvifären i anslutning till borrhålet utsätts för.

De fyra traditionella kärnborrhålen, KFR117–KFR120, förborrades med hammarbormaskin genom att ett foderrör drevs ner genom jordlagret och någon meter ner i berget. Tjockleken på fyllnadsmassorna på piren varierade mellan 7 och 10 m, och därför drevs foderrören ner till mellan 9 och 12 m. Kärnborrhålen borrades i dimension 75,8 mm och utfördes till ca 176 m längd för att man med hjälp av borrhålsundersökningar ska kunna bedöma bergkvaliteten i pelarna mellan bergsalarna i utbyggnadsprojektet.

KFR121 kommer efter avslutad borrhålsborrning att inkluderas i programmet för långtidsmonitoring av grundvattennivåer och hydrokemiska parametrar.

Abstract/Summary

Performance of and results from drilling and measurements during drilling of four traditional core boreholes and a telescopic borehole of the chemical type at the pier in the harbour, close to the SFR-facility (storage of low- and medium-level nuclear waste) at Forsmark, are presented in this report.

KFR121, which is designed as a so-called telescopic borehole of SKB chemistry type, is 362.53 m long, and is at its starting point inclined 52.45° from the horizontal plane. The borehole reaches approximately 147 m in the horizontal direction, and has a vertical depth of about 285 m.

During pilot drilling of the percussion drilled section 0–40.59 m with the diameter of 164.5 mm, a high water inflows, > 250 L/min was recorded for the entire borehole length. During reaming to 250 mm, the water inflow increased to 500 L/min, and the groundwater was mixed with sediment particles flowing into the borehole, making it impossible to keep the borehole clean. Therefore, the borehole was filled with cement, and pilot drilling was repeated after setting of the cement, followed by reaming to Ø 248.1 mm. Finally, the percussion drilled part was cased with a stainless-steel casing, and the gap between the borehole wall and the casing was grouted. These measures entailed that all inflow of groundwater to the percussion drilled part of the borehole ceased.

A relatively complicated flushing water/return water system is applied for core drilling of SKB telescopic boreholes. The flushing water is prepared in several steps before use, and the return water is taken care of, as to permit drill cuttings to settle before the water is discharged to an approved recipient.

In order to obtain a good control of the drilling process and to permit an estimation of the impact on the groundwater present in the rock volume penetrated by the borehole, a number of technical and flushing water/return water parameters are registered during drilling.

A sampling- and measurement programme for percussion drilling and another programme for core drilling provided preliminary, but current information about the geological and hydraulic character of the borehole directly on-site. This information also served as a basis for extended post-drilling analyses, e.g. of the drill cores. The drill core analyses, together with later on produced OPTV-images of the borehole wall, were used for Boremap mapping of the borehole performed after drilling.

The four traditional core boreholes, KFR117–KFR120, were pre-drilled with a percussion rig by driving a casing down through the soil layer and a few meters into the hard rock. The thickness of the filling masses on the pier varied between 7 and 10 m, and therefore the casing was driven down to between 9 and 12 m. The core boreholes were drilled in dimension 75.8 mm and made to approx. 176 m length, in order to enable the study of the quality of the bedrock in the pillars between the large planned storage halls.

After drilling, KFR121 will be included in the program for long-term monitoring of groundwater levels and hydrochemical parameters.

Innehåll

1	Introduktion	7
2	Mål	9
3	Utrustning	11
3.1	Hammarborrsystem	11
3.2	Injekteringsteknik	12
3.3	Kärnbörning	13
4	Utförande	15
4.1	Förberedelser	15
4.1.1	Etablering	15
4.2	Börning av de fyra traditionella kärnborrhålen	16
4.2.1	Förbörning med hammarborrteknik	16
4.2.2	Inmätning under börning	17
4.2.3	Installation av foderrör i de traditionella borrhålen	17
4.3	Teleskopborrhålet KFR121	18
4.3.1	Förbörning och installation av foderrör	18
4.3.2	Installation av spolvattensystemet	20
4.3.3	Börning, mätning och provtagning	23
5	Resultat	25
5.1	Börningens framskridande	25
5.2	Översiktlig beskrivning av resultaten	27
5.2.1	Inmätning av borrhålen KFR117–KFR120	27
5.2.2	Tekniska svårigheter vid hammarbörning av KFR121	28
5.2.3	Rensning KFR120	30
5.2.4	Börkärnor, prover för porvattenanalys från KFR121	32
5.2.5	Spolvattenhantering	33
5.2.6	Registrering av spol- och returvattenvolymer i KFR121	34
5.2.7	Uraninnehåll i spolvatten och returvatten – massbalans	35
5.2.8	Spolvattenanvändning i KFR117–120	36
5.3	Krökmätningar	37
5.4	Förbrukning	39
5.4.1	Cementinjektering KFR117–120	39
5.4.2	Cementinjektering teleskopdelen av KFR121	39
Bilaga	Tekniska data för kärnborrhålen KFR117–120 och teleskopborrhålet KFR121	41

1 Introduktion

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) driver sedan mitten av 80-talet det underjordiska slutförvaret för låg- och medelaktivt radioaktivt avfall (SFR) vid Forsmark inom Östhammars kommun. Under 2019 lämnade SKB in sin ansökan om den kommande utbyggnaden av SFR med bergsalar, framförallt för att få utrymme att lagra rivningsmassorna från Sveriges avstängda kärnkraftverk. Under tiden som ansökan behandlas genomförs vissa studier och bygg-förberedande undersökningar med syftet att möjliggöra att anläggningsarbetena snabbt kan initieras när ansökan blir godkänd.

I den slutgiltiga layouten har bergsalarna placerats djupare ner än i tidigare förslag, och en kvarstående geologisk osäkerhet i den nuvarande platsspecifika modellen är förekomst, utsträckning och egenskaper hos flacka vattenförande strukturer på förvarsnivå. För att undersöka och karakterisera dessa strukturer utförs ett undersökningsprogram i området kring bergsalarna.

Programmet inkluderar fyra traditionella kärnborrhål vilka borrades från yttre hamnpiren, se figur 1-1. Borrhålen placerades och orienterades så att de hamnar mellan eller utanför bergsalarna och avslutas ca 20 m under sulan för bergsalarna, dvs på cirka –170 m vertikalt djup.

I SFR-området pågår övervakning av bland annat grundvattentryck i borrhål. Ett undantag är området utanför de planerade bergsalarna mot sydost. Detta är ett område där berggrunds-förhållandena generellt inte är lika väl undersökta. Ett tillkommande övervakningsborrhål, dvs ett teleskopborrhål av kemityp där grundvattentryck och hydrokemiska förhållanden kan övervakas under bygget, borrades från den yttre hamnpiren (se figur 1-1). Borrhålet orienterades parallellt med och ca 100 m utanför bergsalarna. Borrhålet förväntas även ge information om geologiska förhållanden i detta område, information av värde vid den uppdatering av den platsspecifika modellen som görs när bergarbetena är avslutade.

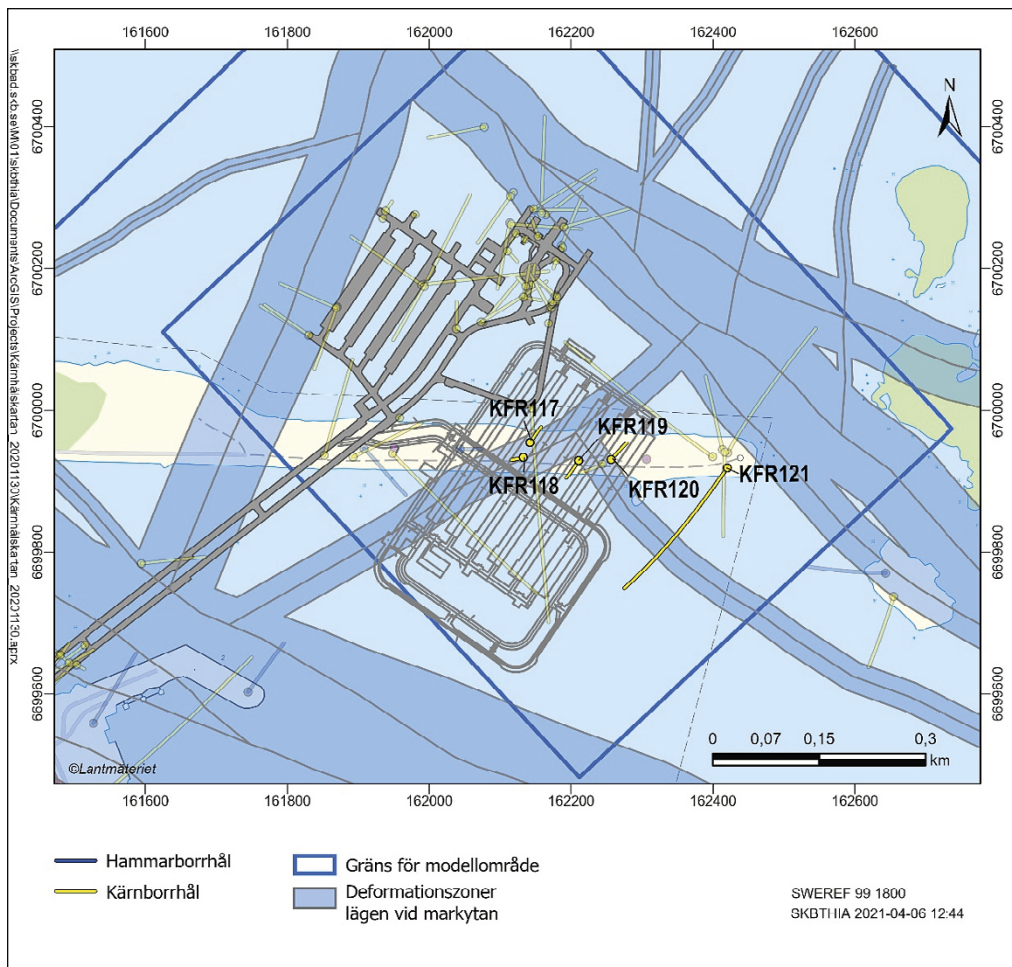
Denna rapport beskriver genomförandet av fyra traditionella kärnborrhål, KFR117–KFR120, och ett teleskopborrhål av kemityp, KFR121, som borrades under perioden april–juli 2020. Styrande dokument för aktivitetens genomförande presenteras i tabell 1–1.

I samtliga borrhål görs efter borring undersökningar omfattande filmning med OPTV, detaljerad borrhålskartering, geofysisk loggning enligt ett standardprogram samt vattenprovtagning och PFL-mätning.

Utöver detta görs även i det teleskopborrade hålet en fullständig kemikarakterisering samt gasprovtagning och porvattenprovtagning (vilket skall göras direkt efter upptag av kärna). Vidare kommer detta borrhål att instrumenteras för fortsatt hydrogeologisk och hydrokemisk övervakning.

Tabell 1-1. Styrande dokument för genomförandet av borrhålsaktiviteten.

Aktivitetsplan	Namn	Version
Borring av 5 borrhål inför utbyggnaden av SFR	AP SFK 19-037	1.0
Metodbeskrivningar och Instruktioner		
Metodbeskrivning för kärnborring	SKB MD 620.003	1.0
Metodbeskrivning för hammarborring	SKB MD 610.003	2.0
Instruktion för rengöring av borrhålsutrustning och viss markbaserad utrustning	SKB MD 600.004	1.0
Instruktion för användning av kemiska produkter och material vid borring och undersökningar	SKB MD 600.006	1.0
Metodbeskrivning för registrering och provtagning av spolvattenparametrar samt borrhålsax under kärnborring	SKB MD 640.001	1.0
Metodbeskrivning för krökningsmätning av hammar- och kärnborrhål	SKB MD 224.001	1.0



Figur 1-1. Översiktskarta över borrhålen KFR117–121 på piren vid SFR, Forsmark. I bakgrunden bergutrymmen för SFR och projekterade bergutrymmen för SFR-utbyggnad.

2 Mål

Projektets ”Kärnbörning SFR-utbyggnad” mål, är dels att komplettera den nuvarande platsspecifika modellen gällande förekomst, utsträckning och egenskaper hos flacka vattenförande strukturer på förvarsnivå, dels, komplettera det befintliga monitoringsprogrammet med ett teleskopborrhål av kemityp. Målen sammanfattas nedan.

- Att utföra de fyra traditionella kärnborrhålen så att en kontinuerlig borrhärna erhålls från bergytan ner till borrhålens slut vid ca 170 m:s vertikalt djup. För teleskopborrhålet finns borrhärna mellan 40 och 363 m:s längd. Med borrhärnorna som underlag kan utbredning och egenskaper hos såväl områdets bergarter som diskreta sprickor och sprickzoner beskrivas.
- Att möjliggöra borrhålsundersökningar, t ex med TV-loggning (det s k OPTV-systemet).
- Att ge möjlighet för hydrogeologiska undersökningar såsom flödesloggning och interferenstester som stöd för den geologiska och hydrogeologiska karakteriseringen.
- Att i teleskopborrhålet ge möjlighet för långtidsmonitoring av grundvattennivåer och hydrokemiska parametrar i avgränsade sektioner av borrhålet.

3 Utrustning

Två typer av bormaskiner användes för att genomföra borrprogrammet för projekt SFR – utbyggnad på piren i Forsmark. För att hantera de grova dimensionerna i teleskopdelen i KFR121 krävs en stor hammarbormaskin. Eftersom piren är uppbyggd av bergmassorna från den befintliga SFR-anläggningen, måste även de traditionella borrhålen, KFR117–120, förborras med hammarborteknik. Hammarborrningen utfördes med en Soilmec SR-14 medan kärnbörning utfördes med Atlas-Copco U8 borrhög med Epiroc WL N-dimension med trippeltub-system.

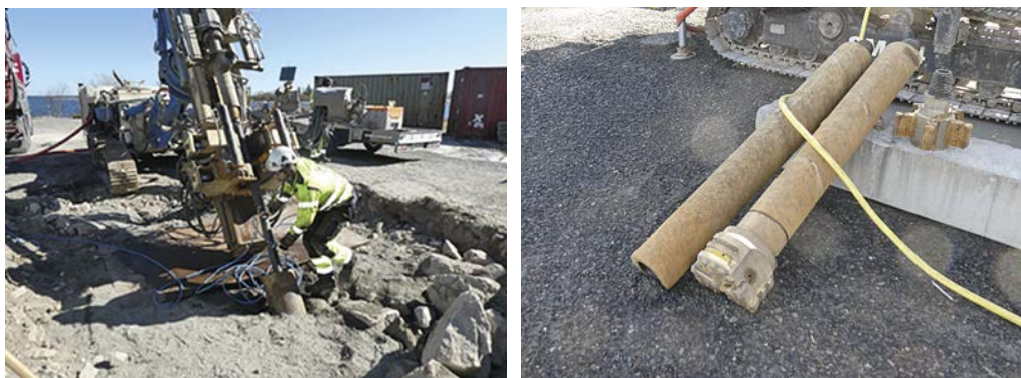
3.1 Hammarborrssystem

Hammarborrning och förborrning utfördes med en Soilmec SM-14, se figur 3-1, som är försedd med två separata motorer. En motor används för förflyttning på larvband av bormaskinen mellan borrarplatserna, medan den andra motorn används vid kraftförsörjning och vid matning/rotation under borrning. Returvatten och borkax blåstes upp från borrhålet med en Gardenor C200TS-24 bar dieselkompressor.

I ett teleskopborrhål måste det första röret som borrar genom fyllnadsmassor och en bit ner i berg vara tillräckligt grovt så att övriga borr- och rördimensioner senare kan passera genom. För KFR121 inleddes hammarborrningen med att driva ner ett foderrör i dimension 323/303 mm, se figur 3-2. Tekniken för utförandet finns beskrivet mer i detalj i SKB MD 610.003 (Metodbeskrivning för hammarborrning).



Figur 3-1. Den larvgående hammarbormaskinen Soilmec SM-14.



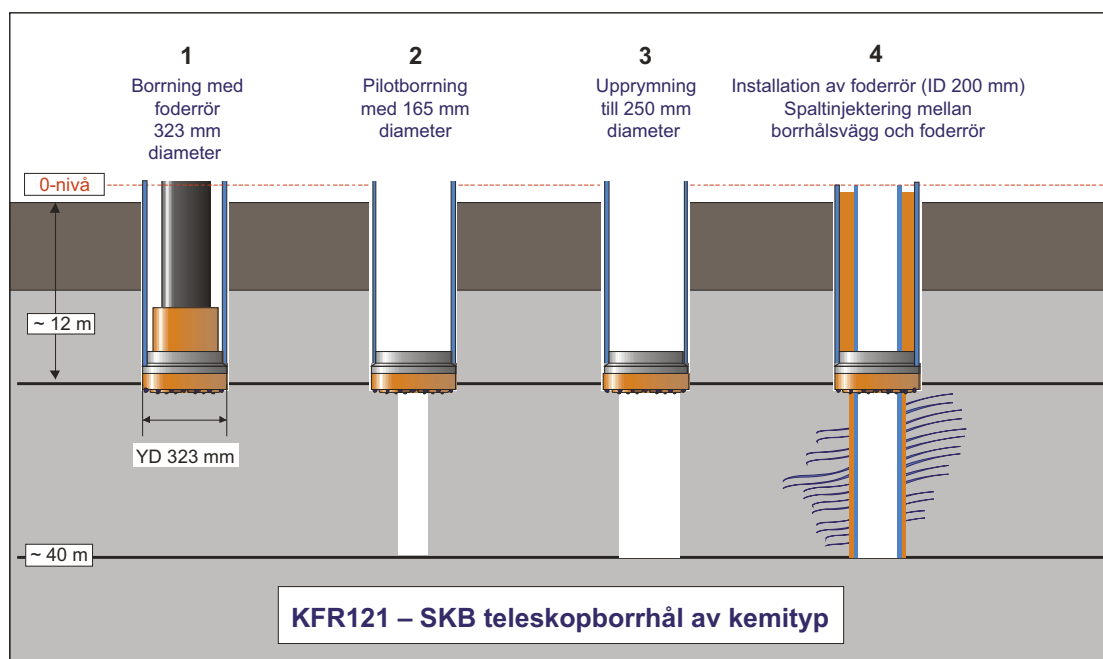
Figur 3-2. Till vänster. Den kraftiga hammarbormaskinen Soilmec SM-14 borrar ned det första jordborrhålet. Till höger syns den borkrona som användes för att driva ner det första grova jordborrhålet för KFR121.

3.2 Injekteringsteknik

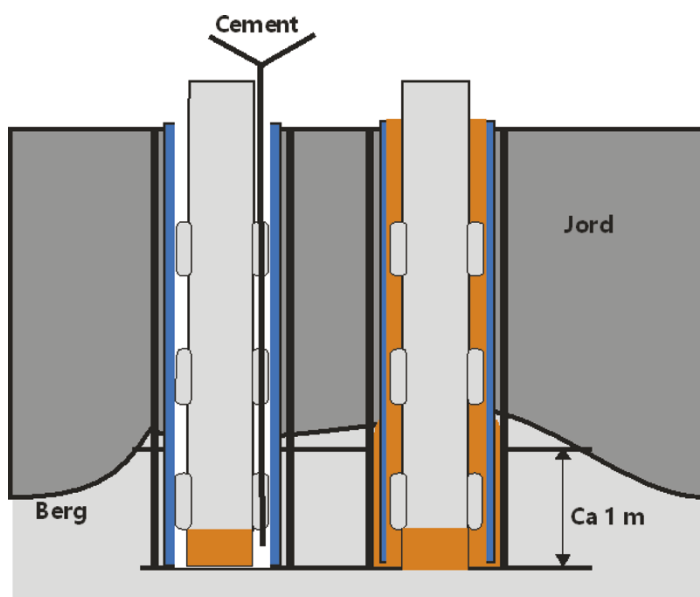
Vid undersökning av grundvattnets geokemiska egenskaper i en bergformation är det viktigt att det djupare grundvattnet inte blandas med ytvatten eller grundvatten från övre delar av berggrunden. Om stora inflöden av vatten påträffas under hammarborrningen av ett teleskopborrhål, är det viktigt att förhindra att vattnet kan flöda ner i de djupare delarna av borrhålet. Den enklaste metoden är att fylla igen hela borrhålet med cement och efter härdning av cementen borra upp hålet igen, eller att klä in borrhålet med rostfritt foderrör som sedan spaltinjekteras.

För KFR121 beslutades om det senare utförande redan från början, främst av den anledningen att hålet ansattes med 50° lutning. Dessutom är sprickfrekvensen oftast högre i berggrunden vid SFR jämfört med berggrunden innanför den tektoniska linsen som är belägen längre söderut. Vid det praktiska utförandet av teleskopborrningen påträffades ytliga sprickzoner som vid upprymningen öppnades upp, varvid stora mängder av vatten och slam flödade in i borrhålet, vilket omöjliggjorde möjligheterna att hålla borrhålet rent. Därför måste först hela borrhålet fyllas upp med cement, och när cementen härdat gjordes en förnyad pilotborrning och upprymning. Dessutom monterades ett rostfritt foderrör som spaltinjekterades, vilket rimligtvis helt förhindrar inströmning av ytligt grundvatten till de djupare delarna av borrhålet, se figur 3-3.

Vid förborrningen av de traditionella kärnborrhålen KFR117–120 tillämpades en enklare injekteringsteknik vid installationen av det inre foderröret, se figur 3-4. Det praktiska utförandet finns närmare beskrivet i sektion 5.4.1.



Figur 3-3. Figuren visar de olika borrhningsmomenten vid utförandet av teleskopdelen av KFR121.



Figur 3-4. Figuren visar hur de förborrade traditionella kärnborrhålen förbereds innan kärnborrningen. I det förborrade hammarborrhålet placeras det vingförsedda inre foderröret. I botten på det inre foderröret gjuts en bottenplugg och en gjutslang tejpas fast. Injekteringen görs nerifrån och upp, samtidigt som pluggen förhindrar att det inre foderröret fylls med cement.

3.3 Kärnborrning

Kärnborrningen utfördes med en Atlas-Copco U8 borrhög med kraftförsörjning från ett dieseldrivet hydraulaggregat. Borrregaget har ett välbeprövat digitalt styrsystem vilket effektiviserar och underlättar genomförande. Utrustningen i borrhålet utgjordes av Epiroc WL N-dimension med trippeltub-system, se figur 3-5.



Figur 3-5. Kärnborrmaskin med kringutrustning på borrhplatsen för KFR121.

4 Utförande

Borringen av de fem kärnborrhålen utfördes enligt metodbeskrivning, MD 610.003 (Metodbeskrivning för hammarborring) och SKB MD 620.003 (Metodbeskrivning för kärnborring), se tabell 1-1.

4.1 Förberedelser

Förberedelserna omfattades av entreprenörernas service och funktionskontroll av borrar- och kringutrustning. Entreprenörerna är förpliktade att endast använda bränsle- och smörjmedel och andra kemikalier som är godkända enligt SKB MD 600.006 (Instruktion för användning av kemiska produkter och material vid borring och undersökningar). Dessutom var borrarutrustningarna rengjorda enligt SKB MD 600.004 (Instruktion för rengöring av borrhålsutrustning och viss markbaserad utrustning), se tabell 1-1.

4.1.1 Etablering

Etableringen ut till den iordningställda borrarplatsen började med avlastning av borrarutrustning och därefter rengöring av utrustningen i borrhålet (borrör, foderrör, borrarhammare, styrning och borrar kronor), se figur 4-1. Rengöringen utfördes enligt nivå två i SKB MD 600.004 (Instruktion för rengöring av borrhålsutrustning och viss markbaserad utrustning).



Figur 4-1. Borrarutrustningen kommer direkt från verkstad där den servats och rengjorts innan transporten till Forsmark.

4.2 Borrning av de fyra traditionella kärnbrorhålen

4.2.1 Förborrning med hammarborrteknik

Epiroc har ett borrsystem där foderröret drivs ned samtidigt med borrkronan. På foderröret svetsas en ringborrkrona med en stödring för den inre borrkronan och hammaren, se figurerna 4-2 och 4-3. Tekniken producerar ett borrhål som är något större än foderrörets ytterdiameter, men ger även god borrsjunkning i berg. Foderröret följer kronan under borringen och avskärmar samtidigt borrhålsväggen. Borrtekniken används primärt vid pålning (förstärkning av jordlager). Därför är kanalerna för avledning av spolmediet, kompressorluften, utformade för att minimera påverkan av luft och olja på de genomborrade jordlagren jämfört med konventionella system.



Figur 4-2. Hammarborrmaskin Soilmec SM-14 under drivning av foderrör genom bergfyllnaden för KFR119.



Figur 4-3. Ringborrkrona för foderrörsborringen genom fyllnadsmassorna på piren för de fyra traditionella borrhålen.

4.2.2 Inmätning under borrning

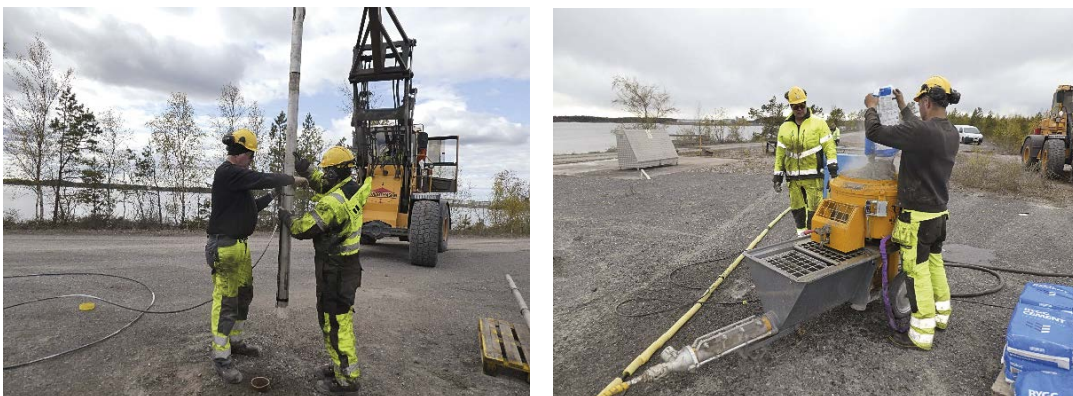
De fyra traditionella kärnborrhålen på piren var utplacerade för att med största möjliga säkerhetsavstånd undvika att penetrera planerad ramp eller bergsalar för den nu fastlagda designen för SFR-utbyggnaden. För att säkerställa att påhugg och riktning skulle hamna rätt anlätades det statliga mätbolaget Metria för att med totalstation rikta upp bormaskinen vid foderrörsdrivningen, se figur 4-4. Eftersom förborringen genom fyllnadsmassorna utfördes med hammarbormaskin var det nu som startriktningen för kärnborrhålet fastslogs. När foderröret drivits ner i berget kunde också borrhålets koordinater mätas in.

4.2.3 Installation av foderrör i de traditionella borrhålen

I de förborrade hålen för KFR117–120 installerades rostfria foderrör i dimension (89/77 mm). Tillsamman smed rören monterades en 16 mm gjutslang som tejpades löst på röret.



Figur 4-4. Metria orienterar foderröret och mäter även in startpunkten för borrhålet KFR117.



Figur 4-5. Till vänster. Installation av rostfritt inre foderrör med gjutslang inuti det förborrade foderröret. Till höger blandas cement innan den pumpas ner i spalten mellan de två rören. Gjutslangen dras upp medan cementen pumpas ut, så att spalten mellan det yttre foderröret och det rostfria foderröret fylls nerifrån och upp.

4.3 Teleskopborrhålet KFR121

4.3.1 Förborring och installation av foderrör

För undersökning av de hydrokemiska grundvattenförhållanden i bergformationen är det viktigt att avskärma ytvattnet och/eller det grundvatten som finns i den översta delen av berggrunden. Om stora inflöden påträffas under hammarborringen av teleskophålet kan dessa injekteras igen, men enklast är att fylla upp hela borrhålet med cement och efter härdning borra upp hålet igen. Detta är också en bra metod om instabila förhållanden i teleskopdelen påträffas, se figur 4-6.



Figur 4-6. Det första grova foderröret (323/303 mm) är borrarat genom fyllnadsmassorna och ner i berg. I förgrunden ses två borkronor som sedan används för att pilotborra med 165 mm diameter och därefter rymma upp borrhålet till 248 mm diameter.

Redan vid projektstart beslutades att hela teleskopdelen i KFR121 skulle kläs in med ett rostfritt foderrör på grund av att sprickfrekvensen generellt är högre utanför den tektoniska linsen (där slutförvaret ska byggas) än inom linsen, men framförallt därför att borrhålet ansattes med ca 50° lutning, vilket ökar risken för utfall från borrhållsväggen. Efter att ha svetsat styrningar på det rostfria foderröret (200/208 mm) användes hammarbormaskinens vinsch för att lyfta rören på plats och möjliggöra noggrann hopsvetsning innan rören sänktes ner i det upprymda borrhålet, se figur 4-7.

När de rostfria rören är nere på botten monteras en injekteringsmanschett inuti röret, och injektering utförs genom att cementen pumpas genom manschetten och upp i spalten mellan röret och borrhållsväggen tills den når markytan. Cementen får härda i ca 6 timmar innan trycket i manschetten släpps och manschetten kan lyftas bort från borrhålet. Dagen efter denna insats avslutades hammarborrningen av teleskopborrhålet genom att borkkronan sänktes till botten av borrhålet, varefter hålet blåstes rent innan avetablering utfördes.



Figur 4-7. Montering av de rostfria foderrören i teleskopborrhålet KFR121.

4.3.2 Installation av spolvattensystemet

Så fort som arbetet med teleskopdelen var avslutat påbörjades installation av den utrustning som ingår i spolvattensystemet för teleskopborrhål. SKB har utvecklat ett eget spol- och returvattensystem som minimerar kärnborrnings påverkan på den genomborrade bergformationen.

Det yttre foderröret är försett med två mammutpumpar och tillhörande slangpaket med blås- och returslangar. Genom att gänga ihop de tre meter långa yttre foderrören till 9 m långa sektioner kunde dessa hanteras av lastmaskin med kranarm för att sänka ner utrustningen i borrhålet, se figur 4-8.

På vart 4:e rör svetsades 4 stödvingar som ger en centrerings med ytterdiametern 195 mm. I den rörinklädda teleskopdelen går det bra att använda snäva styrningar som då ger god centrerings inuti det rostfria 200 mm röret. Det yttre foderrörets nedersta 3 m-rör, genomborras med 10 mm borrhål med 20 cm avstånd för att returvattnet och borrhaxen ska kunna passera ut till teleskopdelen. Inledningsvis kärnborrades en kort sektion med 86 mm diameter inuti det yttre foderröret. Detta görs för att centrera det inre foderröret och, i ett senare skede, för att även borrhålsövergången mellan grov och smalare dimension (den s k tratten) ska kunna monteras efter avslutad borring.

Efter att utfört motsvarande håltagning (med 10 mm borrhål för var 20:e cm) som på det yttre foderröret även på det nedersta inre röret (84/77 mm), kunde nu detta monteras inuti det yttre stödfoderröret. Det inre röret är dimensionerat för att centrera borrhören och minska/eliminera vibrationer i borrhören under kärnborringen.

Den markbaserade utrustningen i spolvattensystemet, omfattar en mätcontainer med spårämnesdoserare, där det ingående vattnet tillförs färgspårämnet uranin innan det används som spolvatten under kärnborringen. Under hela borrhperioden är en kompressor ansluten via blåsslångarna till mammutpumparna nere i teleskopborrhålet. Luftflödet från kompressorn tvingar blandningen av returvattnet och borrhax upp till cyklonen. Av gravitationen förs blandningen genom flödesmätarna i mätcontainern, varefter returvattnet får sedimentera i två containrar. Vid den aktuella entreprenaden släpptes vattnet ut i strandkanten och vidare ut i havet, se figurerna 4-9, 4-10 och 4-11.



Figur 4-8. Montering av den första sektionen av det temporära yttre foderröret som är försett med två mammutpumpar och tillhörande blås- och returvattenslangar.



Figur 4-9. Borrplatsen för KFR121 med kringutrustningen uppställd runt bormaskinen.



Figur 4-10. I mätcontainern finns flödesmätare som registrerar volymen både för ingående vattnet (som körs till borrhålet med tankvagn) och för returvattnet som pumpas upp ur borrhålet. På bilden ansluts alla slangarna till rätt uttag.



Figur 4-11. Efter sedimentation i två steg släpps returvattnet ut i strandkanten innan det når havet.

4.3.3 Borring, mätning och provtagning

Borrmaskinen Atlas Copco U8 är utrustad med ett digitalt styrsystem. I borrmaskinens hydraulsystem finns inbyggda givare som skickar rådata till en programvara som hanterar och styr utförandet av borring samt rör- och spolvattenhantering. Digitaliseringen av kärnborrmaskinerna påbörjades under början av 2000-talet, men det är under de senaste fem åren de digitala styrsystemen blivit robusta och inte minst, helt accepterade av den nya generationen borrar. Förändringen medför att borringen blivit effektivare, samtidigt som arbetsmiljön förbättrats markant. Tekniken medför att borrpå personalen delvis frigörs från borrhållsarbetet, så att löpande underhåll kan utföras medan borring pågår. För rörhantering, t ex vid kronbyte, lyfter borrmaskinen rören och gängar lös dem, medan borrpå personalen lyfter bort dem. Redan nu börjar allt fler borrmaskiner utrustas med rörhanterare, som sannolikt blir standardutrustning inom en snar framtid, speciellt vid borring av långa borrhål.

För borring av kärnborrhålen i detta projekt användes sk WL-teknik med trippeltub utrustning från leverantören Epiroc. Det medför att borrhålen blir 75,8 mm i ytterdiameter (N), medan borrhålls kärnan med dagens trippeltub får 45 mm diameter. Tillverkarna av borrhålls utrustning levererar idag bara förstärkta split-rör, vilket medför att borrhålls kärnan blir smalare jämfört med den teknik som användes under tidigare SKB-borringar.

Under kärnboringen användes ett 3 m kärnrör. Efter varje avslutat borrhupstag vinschas innertuben upp och split-tuben med borkärnan pumpas fram för kvalitetskontroll. Borkärnan lyfts försiktigt över till borkärnlådor där noggrann måttsättning och uppmärkning av kärnlådorna sker, se figur 4-12. Lådorna packades på pall innan de skickades till Uppsala för detaljerad borkärnekartering.

Rengöring med hetvatten av utrustning som används i borrhålet är ett viktigt moment, speciellt för borrhål som används för vattenkemiprovtagning, se figur 4-13.



Figur 4-12. När innertuben har vinschats upp från borrhålet pumpas borkärnan ut för kontroll av längdmått innan den läggs i borkärnelådan.



Figur 4-13. Borrhören spolas med hetvatten innan de används vid boringen.

5 Resultat

5.1 Borrningens framskridande

Aktiviteten omfattade borrning av fyra så kallade traditionella kärnborrhål, ca 176 m långa, samt ett teleskopborrhål av kemityp, 362 m långt. Tidigare under vintern färdigställdes en betongplatta för teleskopborrhålet KFR121 samtidigt som borrhålen för de traditionella borrhålen KFR117–120 iordningställdes genom röjning och grusning. En noggrann utsättning av de fyra kärnborrhålen utfördes, eftersom hålen borrades ovanför bergsalarna i den nu fastställda planen för utbyggnaden av SFR. Av uppenbara skäl vill man inte att de nya borrhålen går in i anläggningens planerade ramp eller bergsalar.

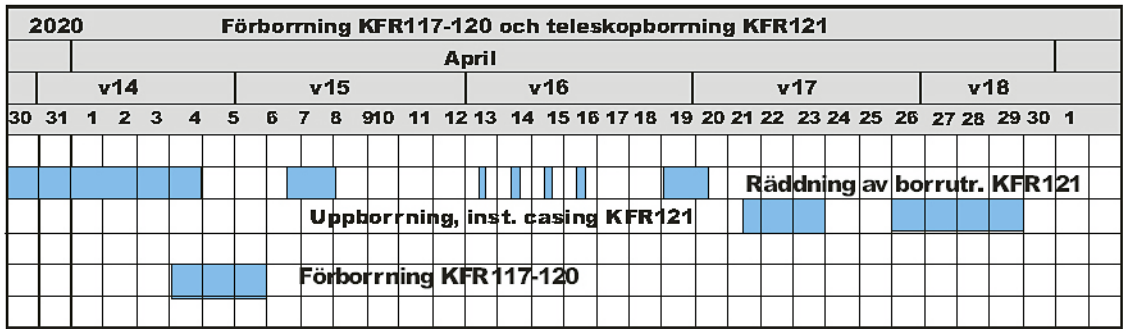
Den övre delen av ett teleskopborrhål borrar alltid med hammarborteknik. Eftersom piren vid Forsmarks hamn är uppbyggd av fyllnadsmassor från det ursprungliga SFR-förvaret, beslutades att även de fyra traditionella kärnborrhålen skulle förböras med hammarbortning. Med hammarbortmaskinens mer kraftfulla och robusta jordbortningsutrustning drevs ett foderrör genom jordlagren och en bit ner i berget i enlighet med beskrivningen i sektion 4.2. Därefter monterades ett inre foderrör inuti det hammarbortade röret, varefter spalten mellan det yttre och det inre foderröret cementinjekterades.

I entreprenad- och gruvindustrin har det under flera år rått högkonjunktur, och för att få tillgång till ledig borrhålskapacitet hos entreprenörerna krävs god framförhållning. Den övergripande tidsplanen fastslog att borrhålsprogrammet måste avslutas före semesteruppehållet under sommaren 2020. Inledningsvis etablerades en stor hammarbortmaskin till Forsmark med vilken teleskopborrningen av KFR121 startade den 30:e mars 2020, se figur 5-1. Inledningsvis fortskred teleskopborrningen normalt, men vid upprymning av borrhålet till 250 mm slutade hammaren att slå när endast drygt en meter återstod att borra av den 40 m långa teleskopdelen. Borrhålsutrustningen visade sig också vara svår att få upp ur hålet. Vid arbetet med losstagning av borrhålsutrustningen drogs till slut rörgången av ca två meter under TOC (Top Of Casing). I samråd med SKB beslutades därför att betongplattan skulle bilas bort, så att en grävmaskin kunde gräva bort fyllnadsmassan ner till nivån där borrhålet var av. Under tiden kunde förbortning av de fyra traditionella borrhålen, KFR117–120, till mellan 9 och 12 m längd utföras.

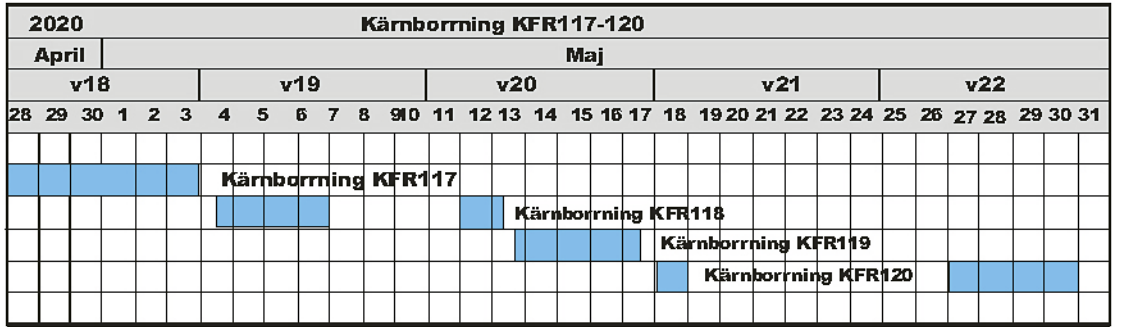
När betongplattan för KFR121 var borta, frilades det grova foderröret ca 2 m ner av en grävmaskin. Genom att kapa av det yttre grova foderröret så att därmed rörskarven kunde nås, gavs möjlighet att byta ut det trasiga borrhålet som ersattes med ett nytt. Efter påskledigheten fortsatte arbetet med svetsning och återställning av det grova yttre foderröret, och när borrhålsplatsen för KFR121 åter var igenfylld och hårdpackad kunde räddningsarbetet i borrhålet fortsätta. Genom att använda en uppslagshammare som knackar borrhålsröret uppåt, samtidigt som en spolbil högtrycksspolade vatten ovanför hammaren, gick det att få rörelse i utrustningen som till slut släppte så att all utrustning kunde återfås oskadd. Nästa åtgärd blev att göra en helhålsinjektering nerifrån och upp av det 40 m långa teleskophålet. När cementen härdat utfördes nu en förnyad uppbortning i två steg, först med 165 mm och sedan rymning till 248 mm diameter. Efter renblåsning, installerades 200/208 mm rostfria foderrör, vilka spaltinjekterades innan arbetet med teleskopdelen av borrhålet avslutades den 29 april, se figur 5-1.

Så fort som foderrören för de fyra traditionella borrhålen var installerade avropades kärnbortningsutrustningen, som anlände till Forsmark den 27:e april, och bortningen av KFR117 startade dagen efter. Allteftersom kärnbortningarna blev färdiga kunde de strax efter OPTV-filmas, och därmed kunde även den mer tidskrävande detaljerade kärnkarteringen komma igång så att kontinuitet i arbetsflödet för de olika geodisciplinerna kunde uppnås. Därefter färdigställdes borrhålen i turordning under maj månad, se figur 5-2. Eftersom bortningen utfördes med enkel-skift kunde detaljschemat planeras direkt mellan aktivitetsledare och borthpersonal.

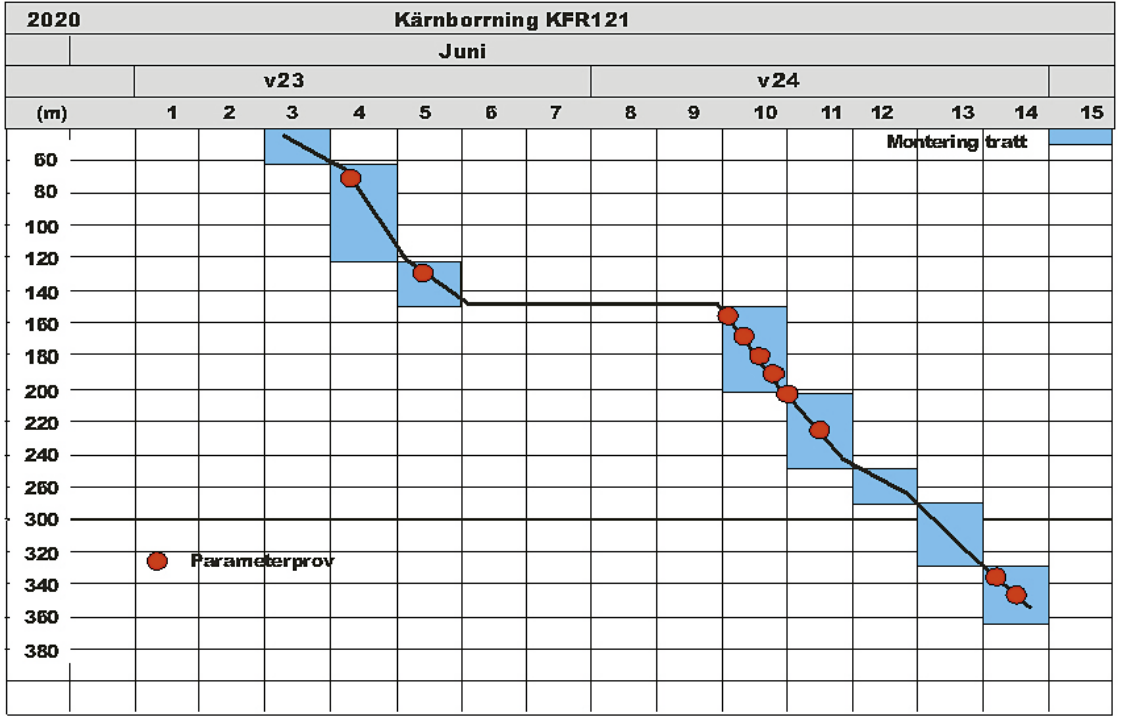
Efter att de fyra traditionella borrhålen avslutats flyttades kärnbortningsmaskinen till KFR121. När utrustning för spolvattenhantering monterats och de dubbla foderrören med mammutpumpar och slangpaket installerats i borrhålet, kunde kärnbortningen påbörjas. I projektet ingick även att under kärnbortningen välja ut kärnprover för porvattenanalys från de olika bergarterna som finns i området. Tio prover togs ut och skickades för analys till Tyskland, se detaljerad beskrivning i sektion 5.2.4. Bortningens och parameterprovtagningens framåtskridande redovisas i figur 5-3.



Figur 5-1. Översiktlig tidsplan som visar när förborring av kärnborrhålen KFR117-120 samt teleskopborringen av KFR121 utfördes.



Figur 5-2. Översiktlig tidsplan som visar när kärnborringen av de fyra kärnborrhålen KFR117-120 utfördes.



Figur 5-3. Översiktlig tidsplan för kärnborringen och parameterprovtagningen i KFR121.

5.2 Översiktlig beskrivning av resultaten

5.2.1 Inmätning av borrhålen KFR117–KFR120

De fyra traditionella kärnborrhålen KFR117–KFR120 på piren orienterades för att få största möjliga säkerhetsavstånd till de av projekteringen beslutade placeringarna av ramp och bergsalar. Eftersom kärnborrhålen förborrades med hammarborrteknik var det också då som startriktningen för kärnborrningen fastställdes. Personal från Metria, Gävle, uppdrogs att med totalstation orientera och rikta upp hammarborrmaskinens foderrör vid borrstart, se figur 5-4. Eftersom borrhålen har en brant lutning ($-80-85^\circ$) får även en liten förändring när foderröret roteras ner i fyllnadsmassorna tydlig påverkan på riktningen (azimut). Det går inte heller att justera orienteringen av borrhålet när väl borrningen påbörjats och foderöret gått ner i marken.

Jämfört med de förutbestämda positionerna och riktningarna blev det bara mindre justeringar som inte medförde att riktningarna på borrhålen behövde förändras. Med totalstation beräknas både azimut och inklination. Den största felkällan bestod i svårigheten att borra i de blockiga fyllnadsmassorna som gav brytningar i foderröret, vilket kan förändra ett korrekt startvärde. Skillnaden mellan planerat och slutligt värde visade sig vara $< 1^\circ$ för inklinationen. Det var förenat med betydande svårigheter att hitta ett stabilt azimutvärde, eftersom borrhålen är så branta. För tre av borrhålen blev avvikelserna från planerat värde i azimut mellan 1 och 3° . I borrhål KFR118 uppstod betydande brytningar i foderöret under neddrivningen i fyllnadsmassorna, vilket medförde att azimut hamnade 5° åt höger redan från början. Genom att lutningen var -85° blir dock det absoluta felet inte så stort. När hålet var färdigborrat var det också KFR118 som uppvisade den största skillnaden i planerat jämfört med faktiskt slutläge, $6,5$ m. Samtliga borrhål klarade dock uppställda lägeskrav och ligger som närmast $4,5$ m från borganläggningens öppna rum.



Figur 5-4. Inmätning med totalstation av foderröret vid förborrningen av KFR118.

5.2.2 Tekniska svårigheter vid hammarborrning av KFR121

Vid hammarborrningen av teleskopdelen i KFR121 slutade borrhammaren att slå strax innan upprymningen av borrhålet till 250 mm borrhålsdiameter nådde full längd. Det finns ingen tydlig orsak till varför detta hände, men nedan beskrivs några sannolikt samverkande orsaker. Borrhålet ansattes med ca 50° lutning, och med ett vertikalt djup ner till berget av 9 m hamnar det grova yttre foderröret inte så långt ner i berget. Om ytberget dessutom har hög sprickfrekvens ökar också risken för inläckage av vatten och slam vid den fortsatta pilotborrningen. Att det fanns sprickförbindelser märktes genom att det bubblade i havet utanför piren när hammarborrningen pågick. De grova dimensionerna medför också att mycket högt luftflöde krävs för att lyfta upp vatten och borrkax, vilket samtidigt medför risk att de vattenförande sprickorna vidgas så att inflödet i borrhålet ökar ännu mer. Vid pilotborrningen uppskattades flödet till ca 250 L/min men vid upprymningen ökade flödet till ca 500 L/min, se figur 5-5.

Den mest troliga orsaken till att borrhammaren slutade fungera är därför att vid skarvning av borrhölen, när luftflödet slogs av, strömmade vatten och slam ner i borrhålet, och vid återstarten åtgick huvuddelen av luftmängden för att lyfta upp vatten- och slampelaren, varvid luften inte räckte till för att få igång hammaren igen. En stor risk för fastsättning ligger också i den stora diameterskillnaden mellan hammarborrhör (89 mm) samt hammare och borrkrona (250 mm). När slam sedimenterar i borrhålet krävs inte mycket för att kila fast utrustningen. Under några timmar försökte borrhörarna att både trycka och dra i utrustningen, och till slut gick ett borrhör av, men som tur var brast borrhöret endast knappt 2 m under TOC.

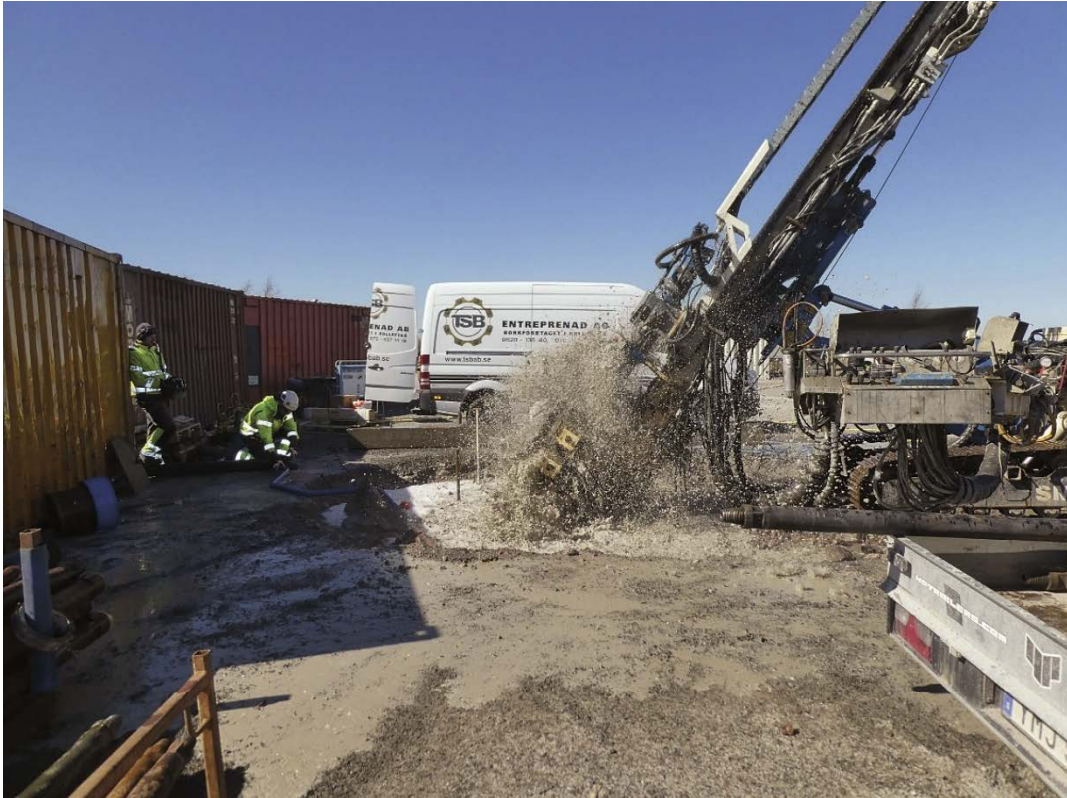
Följande handlingsplan för att rädda borrhålet upprättades och godkändes av projektledningen:

- bormaskin utför förborrningen av KFR117–120,
- betongplattan hackas bort och ytterröret friläggs med grävmaskin,
- röret kapas av så att ett nytt borrhör kan skarvas på,
- nya räddningsförsök utförs genom att använda uppslagshammare och spolbil.

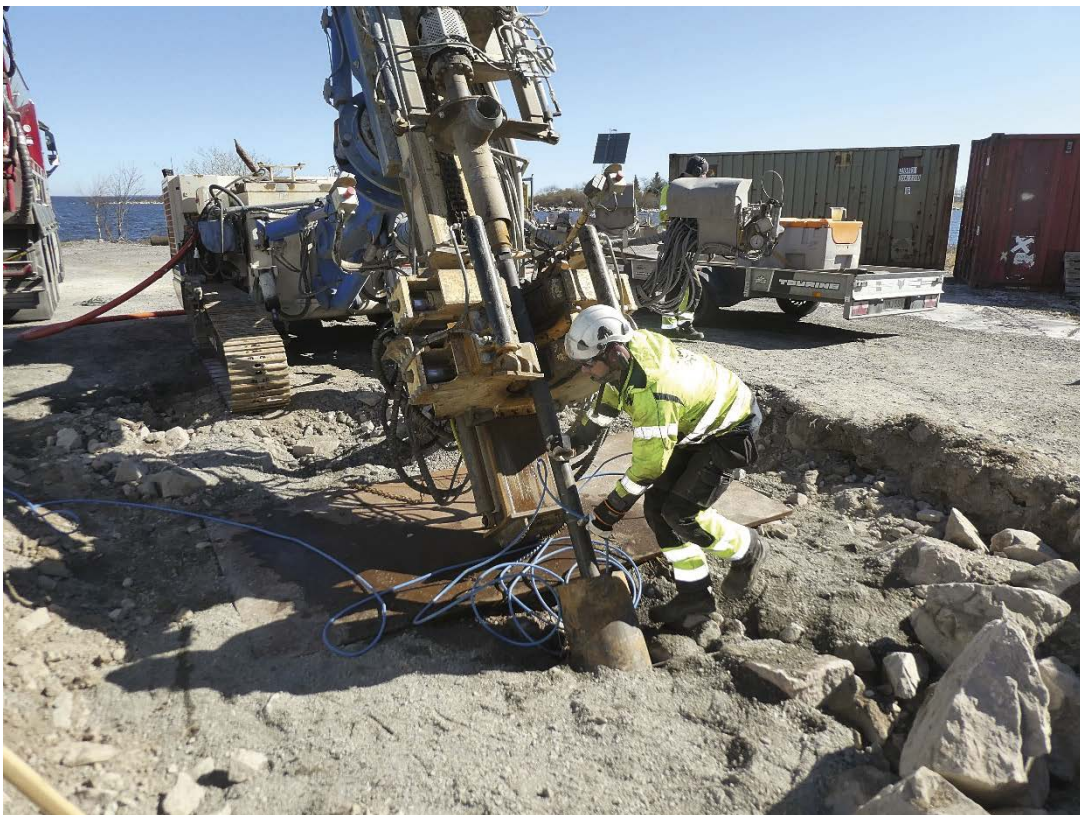
Räddningsplanen verkställdes, och medan förborrningen för de fyra övriga kärnborrhålen utfördes, hackades betongplattan sönder och det grova jordröret (323/303 m) frilades. Efter att röret kapats kunde det avslitna borrhöret ersättas med ett nytt. Stödfoderröret svetsades åter ihop och borrhöret återfylldes. Genom att placera en stabil körplåt under bormaskinen kunde räddningsarbetet i borrhålet återupptas. En uppslagshammare (som slår borrhören uppåt) hade införskaffats, och genom att en spolbil kunde gå ner med alloy-rör och spolmunstycke och spola vatten ovanför hammaren gick det till slut att få rörelse uppåt i borrhöret, och all utrustning kunde återtas ur borrhålet, se figur 5-6.

För att färdigställa teleskopdelen av borrhålet måste hela hålet fyllas upp med cement, se figur 5-7. När cementen härdat gjordes en förnyad pilotborrning och därefter upprymning, nu med en rymningsborrkrona med 248,1 mm diameter. Efter upprymningen hade inflödet i borrhålet minskat till endast 20 L/min. Slutligen installerades ett rostfritt foderrör i dimension 208/200 mm som spaltinjekterades, så att inflödet från teleskopdelen av borrhålet upphörde helt.

När hammarbormaskinen avetablerats från området kunde en ny betongplatta formsättas och gutas runt borrhålet. Merarbetet med teleskopdelen av KFR121 påverkade budgeten men störde inte huvudtidsplanen, eftersom kärnbormaskinen användes för att borra de fyra traditionella borrhålen KFR117–120. När dessa var färdigställda kunde bormaskinen etableras till borrhöret med den nyanlagda betongplattan, och kärnbormningen av KFR121 kunde avslutas planenligt före midsommarhelgen.



Figur 5-5. Blåsning under borrning visar på mycket stora inflöden i borrhålets teleskopdel.



Figur 5-6. För att få loss hammarborrtrusningen pumpar en spolbil vatten ovanför borrhålets teleskopdel samtidigt som en uppslagshammare knacker upp utrustningen. Den ursprungliga betongplattan har bilats bort för att kunna byta ut det trasiga borrhöret.



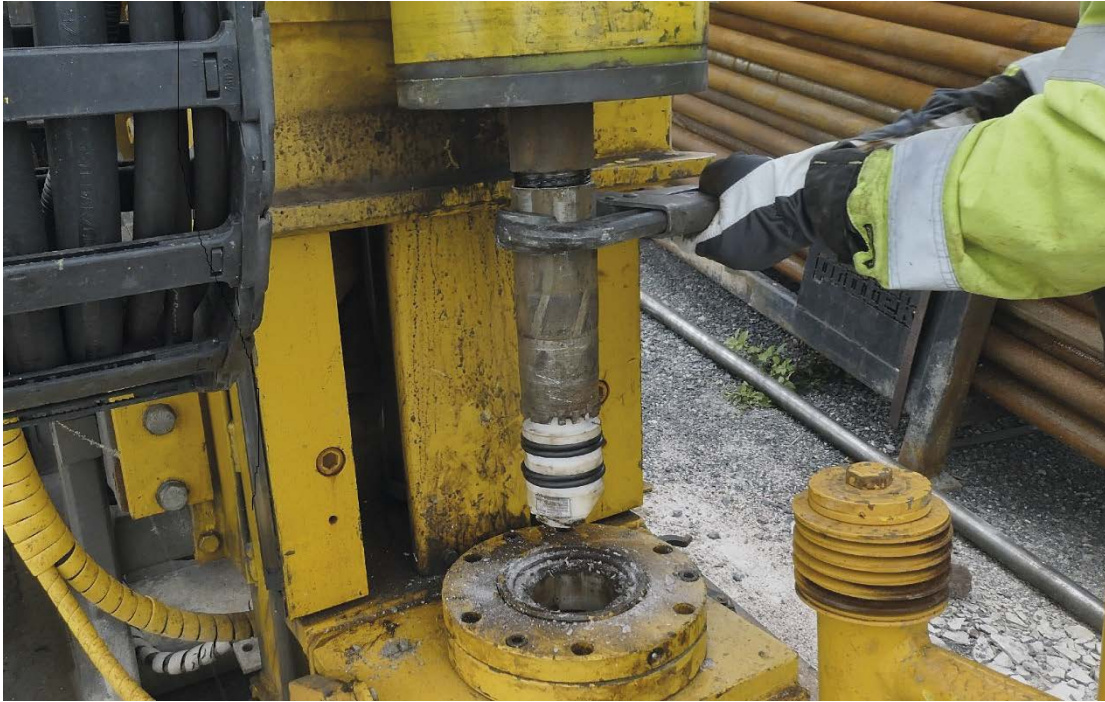
Figur 5-7. För att fylla upp hela teleskopdelen av KFR121 gick det åt 4 ton cement.

5.2.3 Rensning KFR120

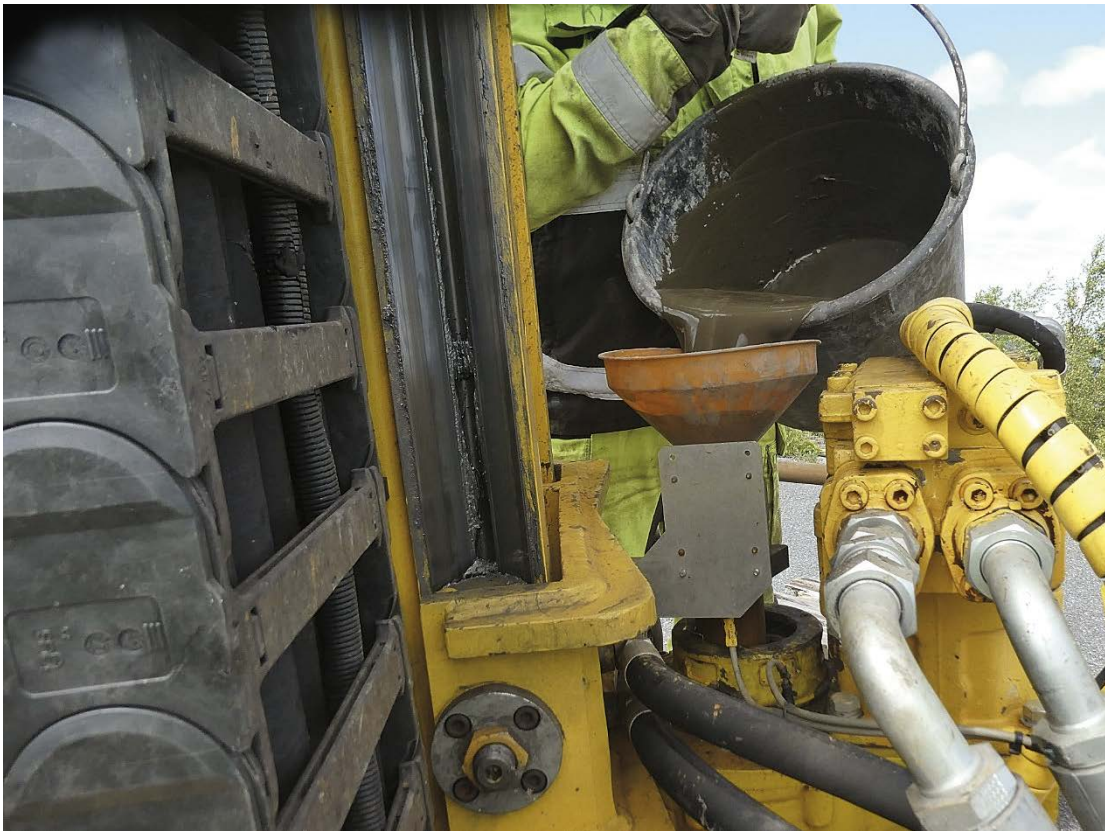
Kärnbörningen av KFR120 avslutades den 30:e maj men vid efterföljande hydrotester den 26:e juni gick det inte att passera med mätutrustningen vid ca 13 m:s längd, dvs strax under foderrörets nedre kant. Med en borrhålskamera indikerades att ett utfall från bergväggen blockerade hålet. Loggningspersonalen försökte även att med 33 mm Al-rör stöta upp raset, men inte heller det lyckades. Hela borrprogrammet avslutades till midsommarhelgen, men då borrutrustningen fortfarande var kvar i området beslutade projektledningen att rensa borrhålet. Innan huvuddelen av SKB:s organisation gick på semester flyttades bormaskinen och övrig utrustning tillbaka till KFR120. Detta möjliggjorde att arbetet med att stabilisera borrhålet även kunde utföras när SKB-kontoret i Forsmark var stängt. Rensningen av KFR120 kunde utföras 22–24:e juli 2020 enligt beskrivningen nedan.

Arbetet inleddes med att borrhörens sänktes i borrhålet, varvid ras materialet kunde rensas bort till ca 15 m längd. Därefter monterades en stopplugg som trycktes förbi raszonen till 14 m längd, se figur 5-8. Stoppluggen förhindrade cementen från att rasa ner i borrhålet. Eftersom hålet är brant, och gjutningen utfördes på måttligt djup, kunde cementblandningen hällas direkt ner i borrhålet, se figur 5-9.

Cementen fick härda under ett dygn innan rensbörningen påbörjades, men uppvisade direkt fasta betongkärnor. Bottenpluggen är tillverkad av borrhörningsbar plast, och den kunde därför lätt borraras bort, men för att säkerställa att borrhålet var helt rent sänktes rören ner till botten, och en kort kärna borrades in i kärnröret. Vid upptag av innertuben fanns både den bortborrade stoppluggen och en 3 cm lång borkärna med upp, och därmed förlängdes borrhålet med tre cm till 176,91 m, se figur 5-10. När nu borrhålet var rensat kunde borrhörens lyftes upp och borrutrustningen avetableras från borrhörplatsen. Några veckor senare kunde borrhålet hydrotestas och OPTV-filmas till full längd.



Figur 5-8. Bottenpluggen trycks in i borrhkronan och pressas ner till ca 15 m längd. När man återtar borrhörens låses pluggen på plats.



Figur 5-9. Cementen hälls direkt ner i det branta borrhålet tills hela sektionen från 14 m till TOC är fylld.



Figur 5-10. Den bortborrade pluggen samt en 3 cm kort borrhärna kom med upp ur borrhålet.

5.2.4 Borrhärnor, prover för porvattenanalys från KFR121

I det omfattande borrhärprogrammet som utfördes under platsundersökningen för djupförvaret för det högaktiva kärnavfallet i Forsmark testades metodik för provtagning av borrhärnor för analys av i kärnorna inneslutet porvatten. Resultatet från dessa analyser har visast sig ge värdefull information om porvattnets ålder i olika bergarter, vilket kompletterar den övriga hydrokemiska karakteriseringen av berggrunden.

Inga provtagningar i borrhär utanför den tektoniska linsen har tidigare utförts, men när nu borrhärprogrammet för SFR-utbyggnaden fastställdes, beslutades att från kemiborrhålet KFR121 ett antal kärnprover skulle tas ut för porvattenanalys, se tabell 5-1. Tio kärnprover från KFR121 valdes ut och skickades till ett laboratorium i Tyskland för analys av porvattnet.

Tabell 5-1. Tio prov av borrhärnan från KFR121 tog ut för porvattenbestämning.

Prov	Från (m)	Till (m)
1	71,04	71,40
2	124,60	124,97
3	150,25	150,66
4	163,83	164,19
5	175,42	175,75
6	187,58	187,94
7	196,40	196,81
8	234,33	234,75
9	331,38	331,79
10	349,57	349,95

Provtagning av borrhärnor för porvattenanalys kräver både snabb och noggrann hantering för att undvika uttorkning och kontaminering innan proverna analyseras i laboratoriet i Tyskland, se bildserien i figur 5-11. Omedelbart efter kärnupptaget väljs en ca 40 cm lång borrhärna som fotograferas och dokumenteras. Borrhärnan läggs i en plastpåse som fylls med kvävgas så att allt syre pressas ut ur påsen. Därefter sugs kvävgasen ut med en vakuumpump, och när plastpåsen sluter tätt runt borrhärnan tillsluts påsen med en värmefog. Provet placeras nu i ytterligare en plastpåse, och proceduren med att tillsätta kvävgas, evakuera syret och tillsluta påsen upprepas.

Slutligen läggs det dubbelpackade provet i en påse av aluminiumfolie, och proceduren med kvävgas och vakuumsug och tillslutning upprepas på precis samma sätt som för plastpåsar. Den nu väl inpackade borrhärnan läggs i en stötsäker aluminiumväska, transporteras till Arlanda och ska inom 24 timmar levereras till laboratoriet i Tyskland, se nedan.



Figur 5-11. Bildserien visar den omfattande hanteringen vid provtagning av borrhänsor för analys av porvatten. Provet tas ut direkt efter att borrhänsan kommit upp ur borrhälet. Provet läggs i en plastpåse som fylls med kvävgas så att all luft pressas bort. Därefter sugs gasen ut med vakuumpump. Proceduren upprepas med ytterligare en plastpåse, och därefter utförs samma procedur för den tredje och sista påsen av aluminiumfolie. Borrhänsan packas i vadderad väska och skickas omedelbart med flygfrakt från Arlanda till laboratorium i Tyskland. Sammanlagt tio prover från KFR121 har skickats iväg för porvattenanalys.

5.2.5 Spolvattenhantering

Spolvattnet som används vid all kärnboring i Forsmarksområdet utgörs av dricksvatten. Från en vattenpost intill vägen mot SFR transporterades vattnet i tankvagnar ut till borrhänsorna på piren. Innan vattnet användes som spolvatten tillsattes det fluorescerande färgspårämnet uranin med en flödesstyrd doserare placerad i mätcontainer på borrhänsan. Vattnet flödade sedan genom en flödesmätare innan det nådde borrhänsans vattenpump, se figur 5-12. Spårämnesanläggningen och flödesmätarna kalibrerades innan de togs i bruk.



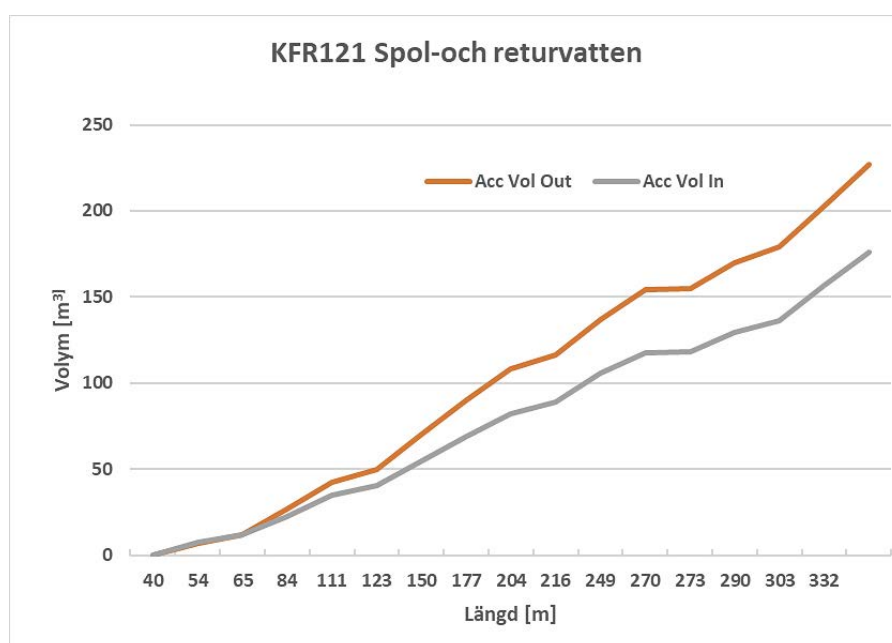
Figur 5-12. Till vänster: Dricksvatten från vattenposten som ligger intill vägen mellan kraftverket och SFR användes vid borrhningarna på piren. En transport som den på bilden räcker till ca 25 m kärnborrhning. Till höger: Från tankvagnen leds vattnet till en buffertank på marken varifrån vattnet pumpas upp till tanken på den blå mätcontainern. I mätcontainern tillför en flödesstyrad doserare spårämnet uranin (med en halt av 0,20 mg/L), innan spolvattnet når bormaskinen.

5.2.6 Registrering av spol- och returvattenvolymer i KFR121

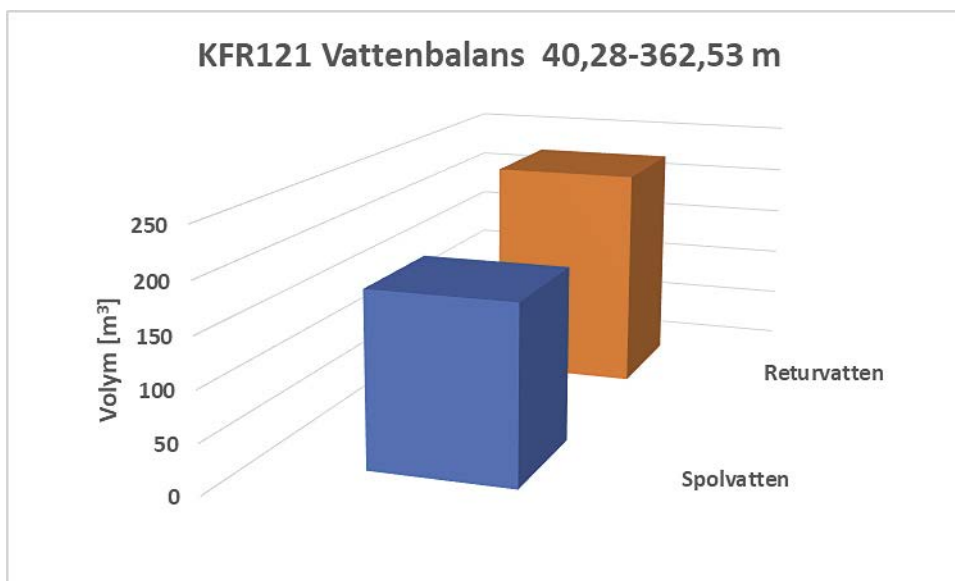
Eftersom borrhål KFR121 är ett kemiborrhål är det viktigt att dokumentera förbrukningen av spolvatten under borrhningen liksom mängden returvatten som återvunnits ur borrhålet. Syftet med detta är att utföra en vattenbalansberäkning för borrhålet avseende hela borrhförloppet. Volymerna av spol- och returvatten registreras i flödesmätare i mätcontainern.

Returvattnet är en blandning av spolvatten samt grundvatten från bergformationen som flödar in i borrhålet. För att kunna uppskatta mängden spolvatten som efter borrhningen blir kvar i borrhålet och i den omgivande akvifären görs en beräkning med uraninhalten från prover tagna från spol- och returvattnet under borrhningsförloppet. Detta möjliggör en massbalansberäkning från vilken spolvattenhalten i borrhålet kan bestämmas.

Figur 5-13 illustrerar den ackumulerade volymen av spolvatten och returvatten kontra tiden under kärnborrhning, medan figur 5-14 visar de ackumulerade volymerna av spolvatten och returvatten från hela borrhperioden, vilket ger en returvatten/spolvattenvkvot på 1,29.



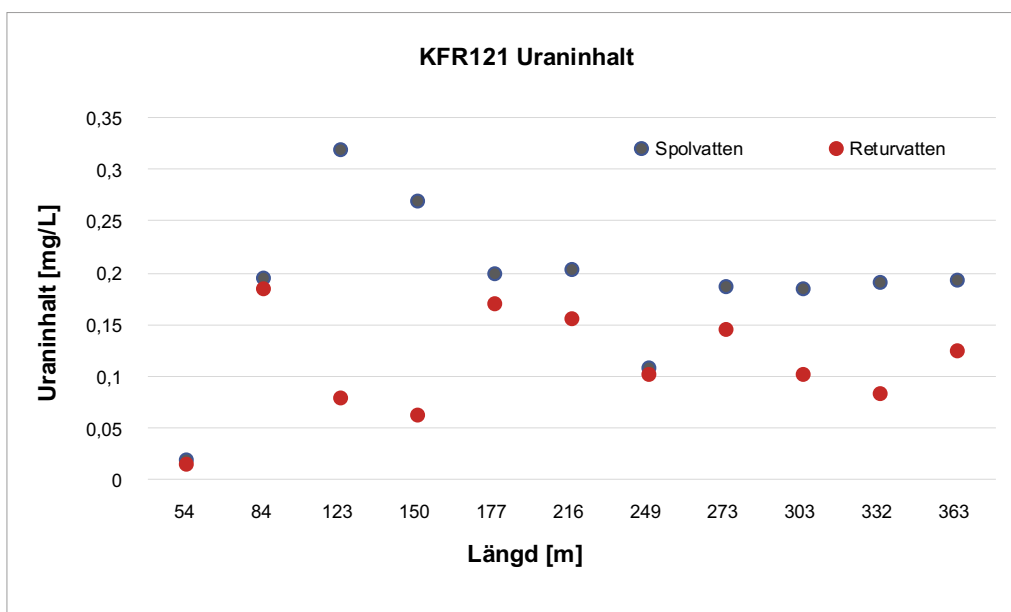
Figur 5-13. Ackumulerade volymer av spolvatten (grå) och returvatten (orange) över tid under borrhningen av KFR121.



Figur 5-14. 177,9 m³ spolvatten användes under borrningen av KFR121. Under samma period uppmättes returvattenvolymen till 227 m³, vilket ger en spolvattenkvot på 1,29.

5.2.7 Uraninnehåll i spolvatten och returvatten – massbalans

Under borrningen av KFR121 utfördes provtagning av spol- och returvatten för analys av uraninnehållet med en frekvens av ungefär ett prov per 25 m borrlängd, se figur 5-15. Med en flödesstyrd doserare tillförs uranin till spolvattnet med en koncentration av 0,2 mg/L. Om medelvärdet av uraninkoncentrationsvärdena i spolvattnet och i returvattnet används för att beräkna mängden uranin som tillsatts respektive återvunnits från borrhålet, ger beräkningarna för KFR121 36 g respektive 28 g. Trots att mängden returvatten var större än mängden nerpumpat spolvatten indikerar således resultaten att det finns viss mängd spolvatten kvar i hålet och i omgivande akvifär. Att massbalansberäkningen för uraninhalterna visar detta resultat, dvs att viss mängd spolvatten blir kvar efter borrningen, är erfarenhetsmässigt inget ovanligt, speciellt inte i långa kärnborrhål.



Figur 5-15. Uraninnehåll i spolvattnet och returvattnet från borrning av KFR121. En automatisk doseringsutrustning, kontrollerad av en flödesmätare, tillförde spårämnet Uranin.

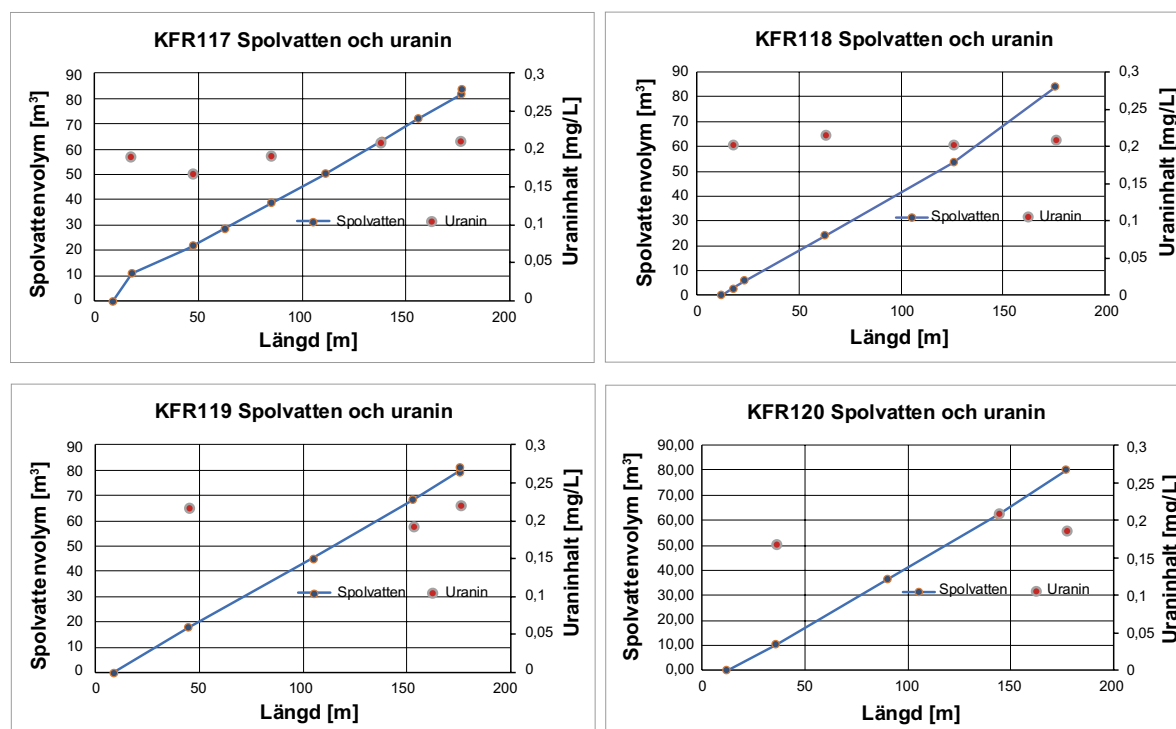
Mammutpumpningens effekt avtar mot djupet, vilket försvårar möjligheten att återvinna nerpumpat spolvatten (blandat med grundvatten), men i kortare borrhål, som i KFR121, borde den effekten inte vara påtaglig. Orsaken till viss mängd kvarblivet spolvatten i KFR121, trots kort borrhål, torde i stället vara att borringen idag är effektivare än med äldre teknik. Kärnborringen i KFR121 pågick i endast 8 dagar, med en medelproduktion av ca 40 m borrhålen per skift. Eftersom det blir fler upptag utförda per skift jämfört med vid mindre effektiv borring, tillförs borrhålet också mer spolvatten. Mammutpumparna, som har begränsat maxflöde och drivs av en dieselkompressor, som vid denna entreprenad var påslagen under 12 timmar per dag, hinner däremot inte pumpa upp returvatten i de volymer som skulle önskas. Under platsundersökningen för djupförvaret utfördes ofta en längre rensumpning efter avslutad kärnborring i syfte att minska spolvattenhalten i formationen. Denna åtgärd rekommenderas även att utföras i KFR121 innan borrhålet instrumenteras.

5.2.8 Spolvattenanvändning i KFR117–120

Utförandet av de traditionella kärnborrhålen medför att returvattenvolymer inte mäts, och oftast spolas inget returvatten upp överhuvudtaget, utan det försvinner ut i sprickor i den övre delen av berggrunden. Vid kärnborringen av de fyra ca 176 m långa hålen vid SFR förbrukades mellan 80 och 83,9 m³ spolvatten per borrhål, se tabell 5-2. Analysen av spolvattenprover från hålen visar att uraninhalten håller en förhållandevis jämn nivå runt 0,20 mg/L i samtliga borrhål, se figur 5-16.

Tabell 5-2. Spolvattenförbrukningen för KFR117–KFR120.

Borrhål	Datum	Längd (m)	Spolvatten (m ³)
KFR117	2020-05-04 08:00	176,01	83,59
KFR118	2020-05-13 12:00	175,48	83,89
KFR119	2020-05-17 14:00	176,47	81,60
KFR120	2020-05-30 16:00	176,91	79,96



Figur 5-16. Diagrammen visar spolvattenförbrukningen och halterna tillsatt uranin i spolvattnet för de fyra traditionella kärnborrhålen KFR117–120.

5.3 Krökmätningar

För borringen av de fyra traditionella borrhålen över bergsalarna var det viktigt att påslagspunkten och startriktningen blev som planerat för att största möjliga säkerhetsavstånd till ramp och bergsalar i anläggningen skulle erhållas. Även borrrustningen var utformad för att borra så raka hål som möjligt, med ett stabilt kärnrör och god kontroll av dimensionerna på sidostensringarna, vilket är väsentliga förutsättningar för att erhålla raka borrhål.

Borrprogrammet vid SFR omfattade relativt korta borrhål, vilket ökar sannolikheten att borrhålen är relativt raka. Därför beslutades om avsteg från den tidigare etablerade SFR-strategin att alltid krök-mäta kärnborrhål med två oberoende metoder. Krökmätning för de fem kärnborrhålen utfördes därför ner och upp med endast ett instrument, Flexit Multismart, som är en magnetisk metod, se tabell 5-5. Ett medelvärde av de två mätningarna beräknades och lämnades in till Sicada.

En förutsättning för att resultaten från krökningsmätningar med magnetisk metod ska ha hög kvalitet är störningar från det geomagnetiska fältet under mätperioden är begränsade. Regelbundna registre-ringar av det geomagnetiska fältet görs på ett stort antal stationer över hela världen. För magnetfältet kring Forsmark kan mätstationen i Uppsala användas. Stationen genererar uppdaterade mätvärden för varje minut och finns tillgänglig via Internet på www.intramagnet.org. Det magnetiska fältets varia-tion under mätperioderna redovisas i bildserien i figur 5-17 och uppvisar endast mindre störningar som inte märkbart påverkar mätresultaten.

Resultatet från krökmätningarna sammanfattas i tabellerna 5-3 och 5-5. I tabell 5-4 redovisas den absoluta avvikelser jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid ansättningspunkten.

Tabell 5-3. Datum och tider för utförande av krökmätning med magnetisk metod i kärnborrhålen.

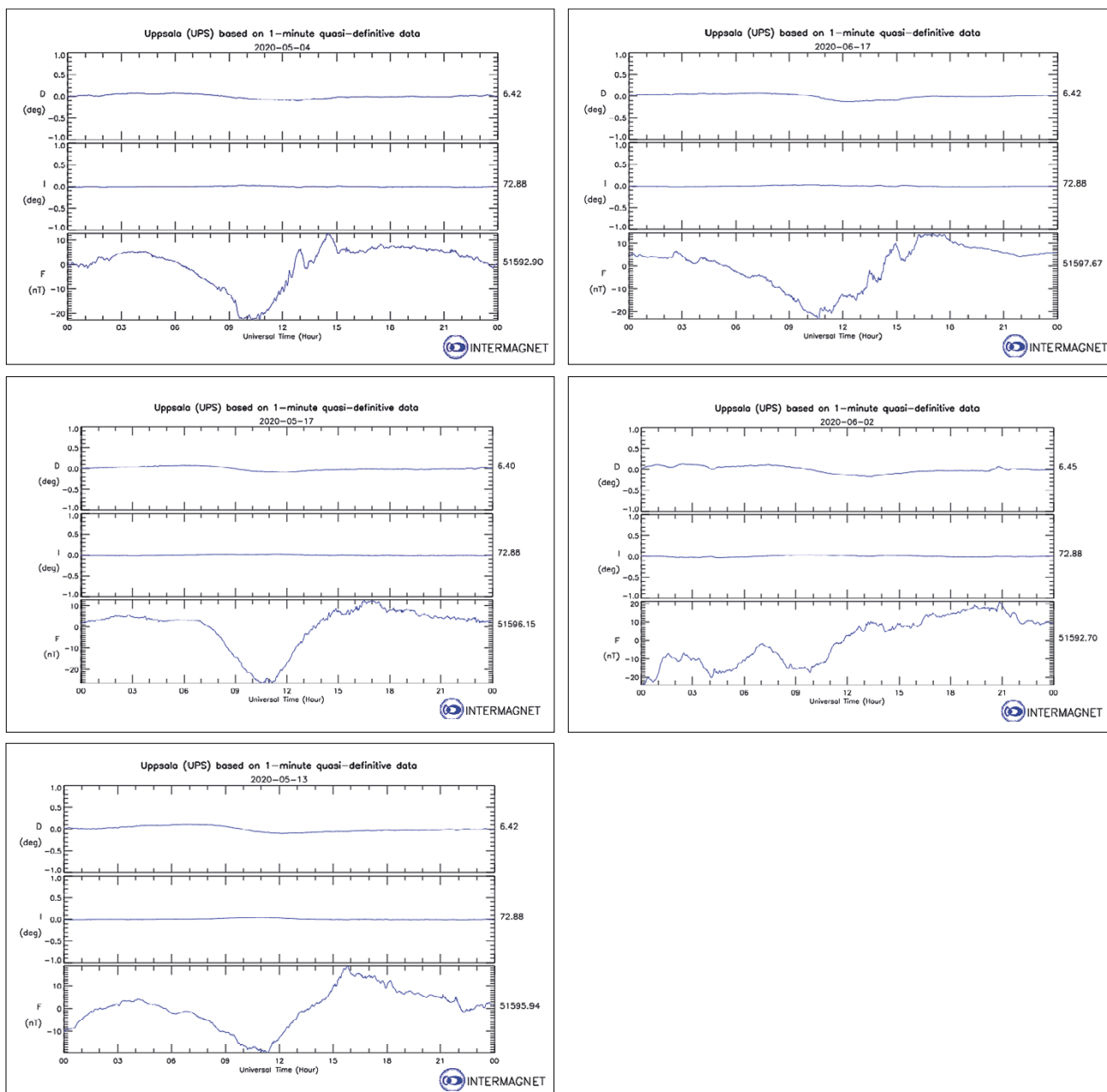
Borrhål	Aktivitet	Datum	Från	Till
KFR117	Magnetic – acc. measurement	2020-05-04 10:00–11:45	0,00	17,00
KFR118	Magnetic – acc. measurement	2020-05-13 15:30–16:45	0,00	174,00
KFR119	Magnetic – acc. measurement	2020-05-17 15:45–17:00	0,00	174,00
KFR120	Magnetic – acc. measurement	2020-06-02 08:00–09:30	0,00	174,00
KFR121	Magnetic – acc. measurement	2020-06-16 08:00–11:30	0,00	360,00

Tabell 5-4. Tabellen visar borrhålets absoluta avvikelse jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid borrhålets start.

Borrhål	Längd (m)	Abs.avvikelse (m)
KFR117	176,01	2,20
KFR118	175,48	6,48
KFR119	176,47	3,31
KFR120	176,91	3,40
KFR121	362,53	21,75

Tabell 5-5. Tabellen visar startvärden och slutvärden för de fem kärnborrhålens orientering i koordinatsystemet SWEREF 99 18 00 RH 2000.

ID	Längd [m]	Norr [m]	Öst [m]	Nivå [m]	Incl. [°]	Riktning [°]
KFR117	0	6699954,80	162141,98	2,44	-80,59	34,05
KFR117	176,01	6699976,48	162157,84	-171,51	-81,4	38,75
KFR118	0	6699934,01	162132,41	3,16	-85,59	236
KFR118	175,48	6699930,21	162115,95	-171,5	-84,1	261,35
KFR119	0	6699929,31	162210,71	3,1	-80,79	210,48
KFR119	176,47	6699904,85	162193,09	-170,77	-79,6	220,05
KFR120	0	6699930,77	162256,47	3,19	-79,88	37,41
KFR120	176,91	6699954,04	162278,45	-170,8	-79,6	46,6
KFR121	0	6699919,24	162420,29	2,87	-52,45	215,97
KFR121	362,53	6699749,32	162275,03	-282,11	-50,7	228



Figur 5-17. Utplottningar från www.intramagnet.org från mätstationen i Uppsala visar att när krökmätningar i de fem borrhålen utfördes förekom endast mindre störningar i magnetfältet vilka inte påverkade mätresultaten nämnvärt.

Den beräknade krökningen av borrhålet KFR117 visar att borrhålet avviker åt höger och något uppåt, och med en absolut avvikelse av 2,2 m jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid borrhålets startpunkt.

Den beräknade krökningen av borrhålet KFR118 visar att borrhålet avviker tydligt åt höger och något nedåt och med en absolut avvikelse av 6,5 m jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid borrhålets start. Den relativt stora avvikelser i KFR118 beror på att det yttre foderröret bröt åt höger under drivningen ner i fyllnadsmassorna. Snäva toleranser på styrningarna medförde att även det inre foderröret styrde åt höger, vilket fick till följd att riktningen (azimuth) vid slutpunkten avviker ca 26° jämfört med startriktningen. Eftersom borrhålets lutning är brant blir dock inte den absoluta avvikelser särskilt stor, och trots avvikelser klarades de uppställda kraven, dvs borrhålet når inte in i ramp eller bergsalar i den planerade anläggningen.

Den beräknade krökningen av borrhålet KFR119 visar att borrhålet avviker åt höger och något uppåt, och med en absolut avvikelse av 3,3 m jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid borrhålets startpunkt.

Den beräknade krökningen av borrhålet KFR120 visar att borrhålet avviker åt höger och marginellt uppåt och med en absolut avvikelse av 3,4 m jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid borrhålets start.

Den beräknade krökningen av borrhålet KFR121 visar att borrhålet avviker åt höger och något uppåt och med en absolut avvikelse av 21,8 m jämfört med den tänkta raka linjen från borrhålets riktning och lutning vid borrhålets start.

KFR117–120 placerades och orienterades för att få största möjliga säkerhetsmarginal till ramp och bergsalar i den planerade SFR-utbyggnaden. Det preliminära resultat visar att marginalen är som minst 4,5 m. Även med en viss osäkerhet i mätresultaten bedöms risken som liten att borrhålen kommer att påverka anläggningen.

5.4 Förbrukning

5.4.1 Cementinjektering KFR117–120

Den cementvolym som åtgick vid spaltinjekteringen för kärnborrhålen KFR117–120 redovisas i tabell 5-6. Som framgår av tabellen är den injekterade volymen med standardcement med vct 0,8 mellan 1,3 och 1,6 gånger större än den teoretiska spaltvolymen. Eftersom ingen injektering gjordes efter att hammarbormaskinen borrar ner de yttre foderrören, är det troligen i övergången mellan fyllnadsmassorna mellan jord och berg som cementöverskottet har flödat ut.

Tabell 5-6. Förbrukning av cement vid spaltinjekteringen av KFR117–KFR120.

Borrhål	Datum	Från (m)	Till (m)	Spaltvolym (L)	Cementslurry* (L)	Övervolym
KFR117	2020-04-28 12:30–14:00	0,25	9	64	95	1,5
KFR118	2020-05-03 14:00–15:00	0,30	12	85	110	1,3
KFR119	2020-05-06 13:00–15:00	0,30	9	64	104	1,6
KFR120	2020-05-06 15:00–17:00	0,25	12	85	124	1,5

* Recept med vct 0,8.

5.4.2 Cementinjektering teleskopdelen av KFR121

I och med att hela den hammarborrade delen av KFR121 fick gjas igen, var det stora mängder cement som användes. Utförandet skedde i två steg då den första cementeringen efter härdning sjönk ihop nedanför foderröret, se tabell 5-7. De stora övervolymerna av cementblandningen som gått ner i borrhålet visar att det finns öppna strukturer i den övre berggrunden. Den tredje cementeringen är spaltinjekteringen mellan det rostfria foderöret och borrhålsväggen.

Tabell 5-7. Förbrukning av cement vid helhålsinjekteringen och spaltinjekteringen av KFR121.

Borrhål	Datum	Från (m)	Till (m)	Bh.volym (L)	Cementslurry* (L)	Övervolym
KFR121	2020-04-22 07:00–15:00	14,4	40	1275	3200	2,5
KFR121	2020-04-23 07:00–09:00	10	14,4	130	590	4,5
KFR121	2020-04-29 07:00–10:45	0,30	40,6	610	1 120	1,8
Totalt				2015	4910	2,4

* Recept med vct 0,4.

Tekniska data för kärnborrhålen KFR117–120 och teleskopborrhålet KFR121

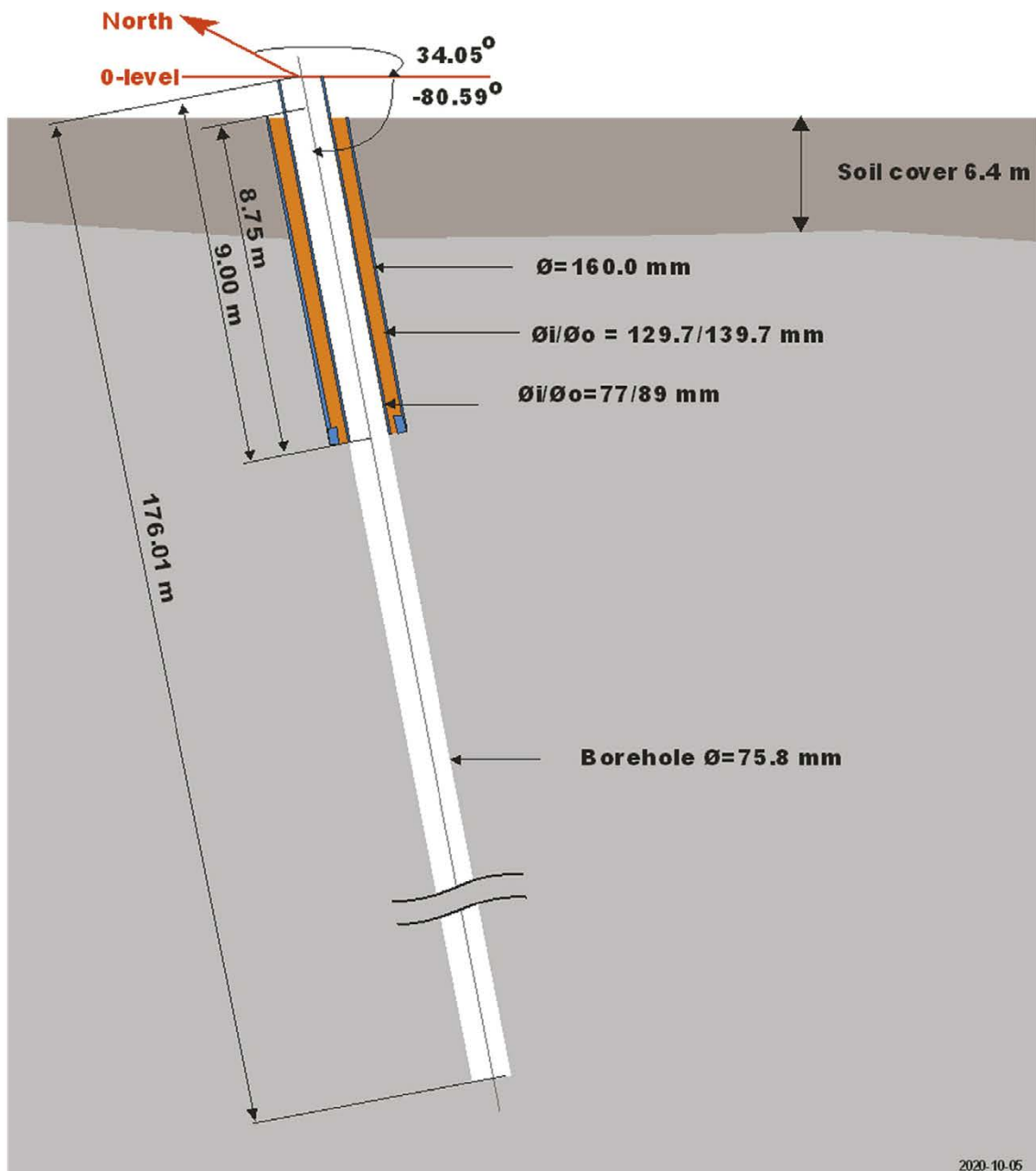
Tabell B-1. Administrativa, geometriska och tekniska data för kärnborrhål KFR117.

Parameter	Data
Borrhål ID	KFR117
Plats	Forsmark, Östhammars kommun, Sverige
Förborrning med hammarborrmaskin	2020-04-07 11:30–14:30
Kärnborrning	2020-04-28 till 2020-05-04
Entreprenör kärnborrning	Protek i Norr AB
Kärnborrningsutrustning	Atlas-Copco U8 med Epiroc N
Entreprenör hammarborrning	TSB AB
Hammarborrutrustning	Soilmec 14
Position överkant casing (SWEREF 99 18 00/RH 2000)*	N 6699954,80 (m) E 162141,98 (m) Z 2,441 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 34,05° Dip (0–90°): –80,59°
Position vid borrhålsbotten (SWEREF 99 18 00/RH 2000)	N 6699976,48 (m) E 162157,84 (m) Z –171,51 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 38,75° Dip (0–90°): –81,40°
Borrhålets längd	176,01 m
Borrlängd och dimensioner	Från 0,25 m till 9,00 m: 0,1600 m Från 9,00 m till 176,01 m: 0,0758 m
Foderrör	Casing $\emptyset_j/\emptyset_i = 139,7/129,7$ mm från 0,25 m till 8,97 m Ringborrkrona $\emptyset_j/\emptyset_i = 160,0/116,0$ mm från 8,97 m till 9,00 m
Inre foderrör, diameter och borrlängd	$\emptyset_j/\emptyset_i = 89/77$ mm 0,00 m till 9,00 m
Dimension borrhålskärna	9,00–176,01 m/ \emptyset 45 mm
Borrhålskärnans längd	9,00–176,01 m
Medelvärde för borrhålskärnans längd	2,78 m
Antal upptag	60

* Data som redovisas i tabell och figur hämtas från Sicada för aktiviteterna EG150 och EG151 (inmätning av koordinater och borrhålets startorientering). Mindre avvikelser jämfört med motsvarande data som redovisas i sektion 5-3 för krökningsmätningar kan då erhållas.

Technical data

Borehole KFR117



Drilling period

Drilling start date: 2020-04-28
 Drilling stop date: 2020-05-04

Borehole spec.

Borehole length: 176.01 m

Drilling reference point

Northing: 6699954.80 (m), SWEREF99 18 00
 Easting: 162141.98 (m), SWEREF99 18 00
 Elevation: 2.441 (m.a.s.l.), RH 2000

Figur B-1. Tekniska data KFR117.

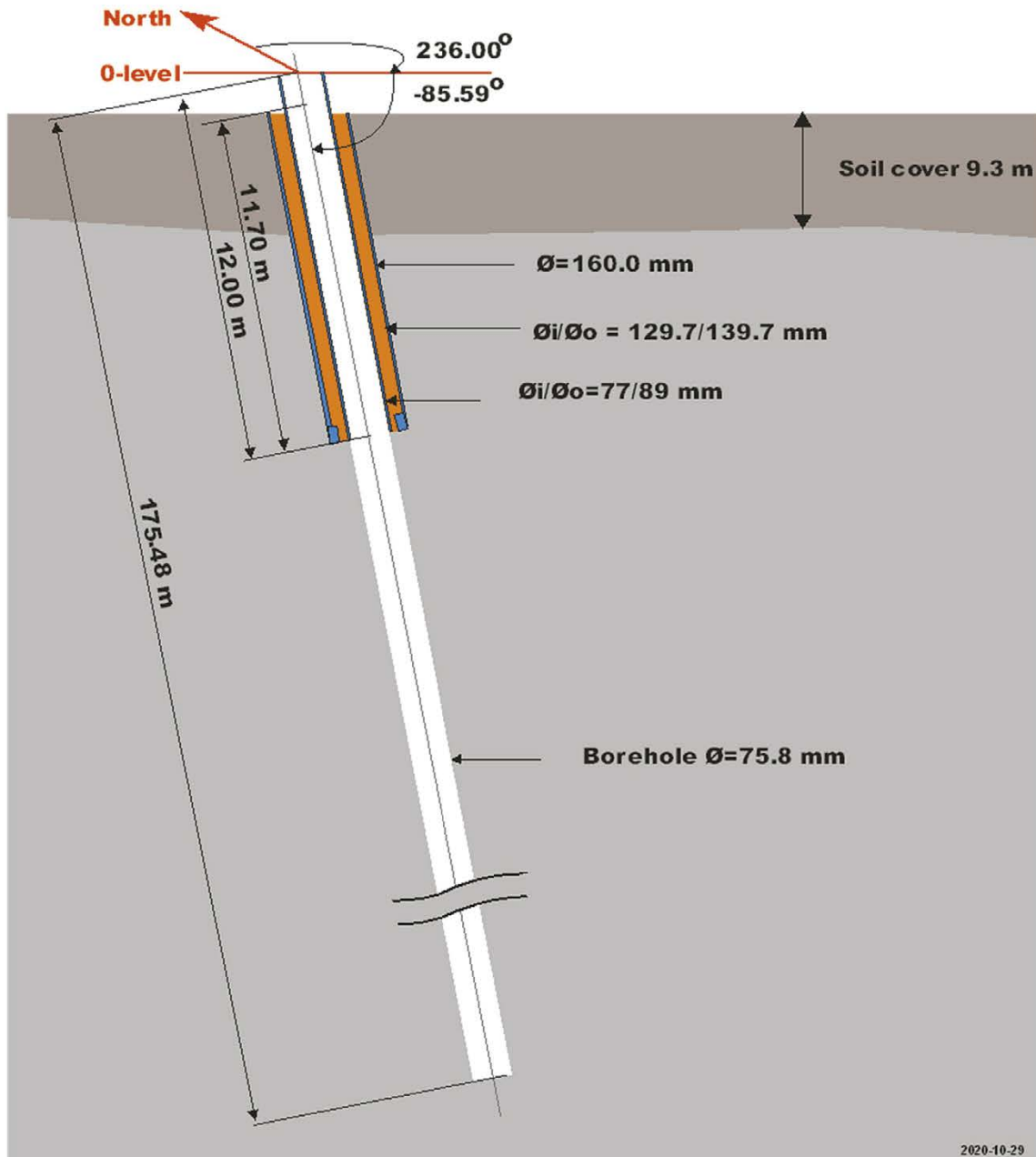
Tabell B-2. Administrativa, geometriska och tekniska data för kärnborrhål KFR118.

Parameter	Data
Borrhål ID	KFR118
Plats	Forsmark, Östhammars kommun, Sverige
Förborrning med hammarborrmaskin	2020-04-07 15:00–18:00
Kärnbörning	2020-05-04 till 2020-05-13
Entreprenör kärnbörning	Protek i Norr AB
Kärnbörningsutrustning	Atlas-Copco U8 med Epiroc N
Entreprenör hammarborrning	TSB AB
Hammarborrutrustning	Soilmec 14
Position överkant casing (SWEREF 99 18 00/RH 2000)*	N 6699934,01 (m) E 162 132,41 (m) Z 3,159 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 236,00° Dip (0–90°): –85,59°
Position vid borrhålsbotten (SWEREF 99 18 00/RH 2000)	N 6699930,21 (m) E 162 115,95 (m) Z –171,50 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 261,35° Dip (0–90°): –84,10°
Borrhålets längd	175,48 m
Borrlängd och dimensioner	Från 0,30 m till 12,00 m: 0,1600 m Från 12,00 m till 176,48 m: 0,0758 m
Foderrör	Casing $\varnothing_o/\varnothing_i = 139,7/129,7$ mm från 0,30 m till 11,97 m Ringborrkrona $\varnothing_o/\varnothing_i = 160,0/116,0$ mm från 11,97 m till 12,00 m
Inre foderrör, diameter och borrlängd	$\varnothing_o/\varnothing_i = 89/77$ mm 0,00 m till 12,00 m
Dimension borrkärna	12,00–176,48 m/ \varnothing 45 mm
Borrkärnans längd	12,00–176,48 m
Medelvärde för borruptagens längd	2,74 m
Antal upptag	60

* Data som redovisas i tabell och figur hämtas från Sicada för aktiviteterna EG150 och EG151 (inmätning av koordinater och borrhålets startorientering). Mindre avvikelser jämfört med motsvarande data som redovisas i sektion 5-3 för krökningsmätningar kan då erhållas.

Technical data

Borehole KFR118



Drilling period

Drilling start date: 2020-05-04
 Drilling stop date: 2020-05-13

Borehole spec.

Borehole length: 175.48 m

Drilling reference point

Northing: 6699934.01 (m), SWEREF99 18 00
 Easting: 162132.41 (m), SWEREF99 18 00
 Elevation: 3.159 (m.a.s.l.), RH 2000

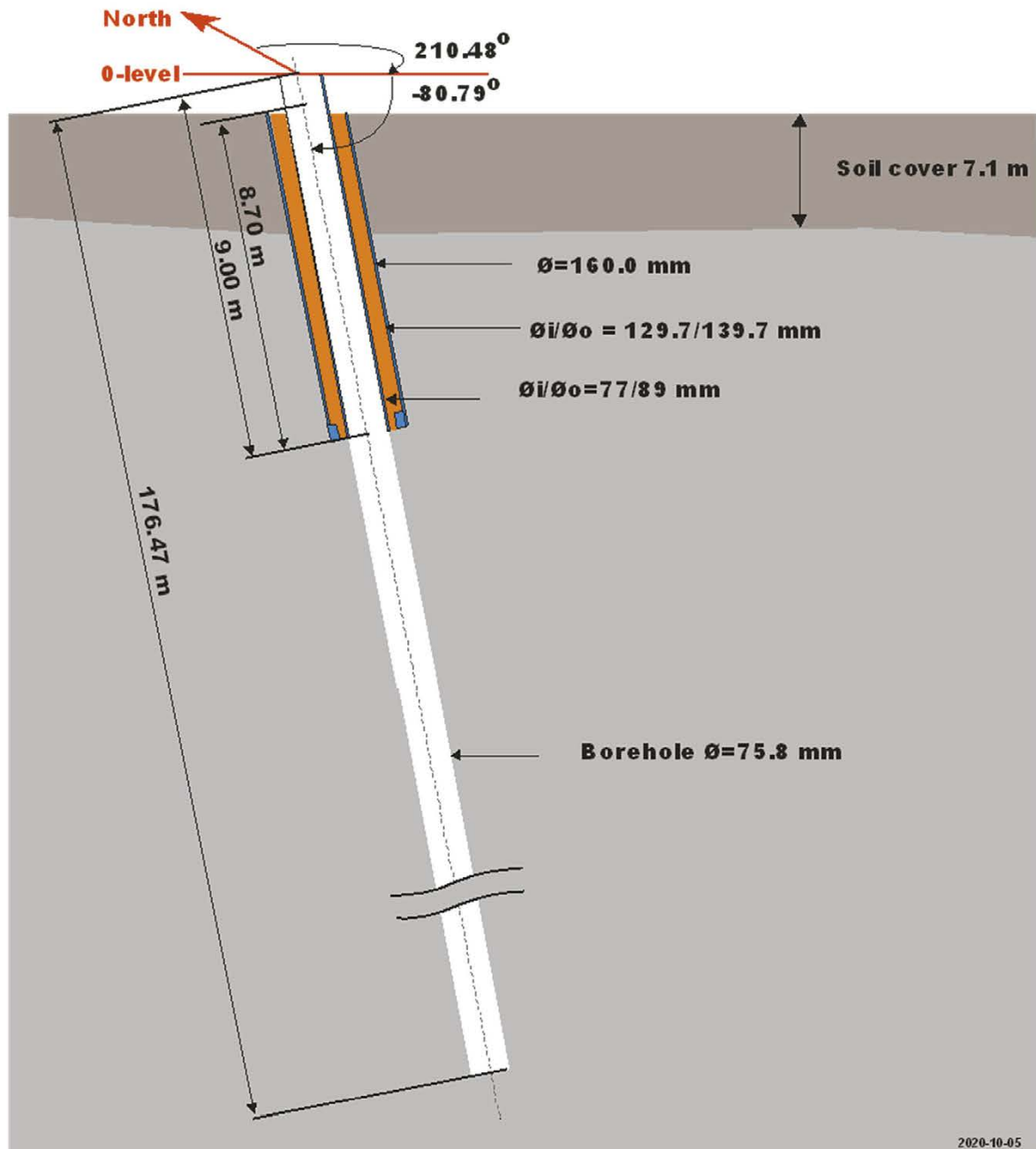
Figur B-2. Tekniska data för KFR118.

Tabell B-3. Administrativa, geometriska och tekniska data för kärnborrhål KFR119.

Parameter	Data
Borrhål ID	KFR119
Plats	Forsmark, Östhammars kommun, Sverige
Förborrning med hammarborrmaskin	2020-04-07 08:15 – 11:15
Kärnborrning	2020-05-13 till 2020-05-17
Entreprenör kärnborrning	Protek i Norr AB
Kärnborrningsutrustning	Atlas-Copco U8 med Epiroc N
Entreprenör hammarborrning	TSB AB
Hammarborrutrustning	Soilmec 14
Position överkant casing (SWEREF 99 18 00/RH 2000)*	N 6699 929,31 (m) E 162 210,71 (m) Z 3,10 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 210,48° Dip (0–90°): –80,79°
Position vid borrhålsbotten (SWEREF 99 18 00/RH 2000)	N 6699 904,85 (m) E 162 193,09 (m) Z –170,77 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 220,05° Dip (0–90°): –79,60°
Borrhålets längd	176,47 m
Borrlängd och dimensioner	Från 0,30 m till 9,00 m: 0,1600 m Från 9,00 m till 176,48 m: 0,0758 m
Foderrör	Casing $\varnothing_o/\varnothing_i = 139,7/129,7$ mm från 0,30 m till 8,97 m Ringborrkrona $\varnothing_o/\varnothing_i = 160,0/116,0$ mm från 8,97 m till 9,00 m
Inre foderrör, diameter och borrlängd	$\varnothing_o/\varnothing_i = 89/77$ mm 0,00 m till 9,00 m
Dimension borrkärna	9,00–176,47 m/ \varnothing 45 mm
Borrkärnans längd	9,00–176,47 m
Medelvärde för borruptagens längd	2,89 m
Antal upptag	58

* Data som redovisas i tabell och figur hämtas från Sicada för aktiviteterna EG150 och EG151 (inmätning av koordinater och borrhålets startorientering). Mindre avvikelser jämfört med motsvarande data som redovisas i sektion 5-3 för krökningsmätningar kan då erhållas.

Technical data Borehole KFR119



Drilling period

Drilling start date: 2020-05-13

Drilling stop date: 2020-05-17

Borehole spec.

Borehole length: 176.47 m

Drilling reference point

Northing: 6699929.31 (m),SWEREF99 18 00

Easting: 162210.71 (m),SWEREF99 18 00

Elevation: 3.10 (m.a.s.l.), RH 2000

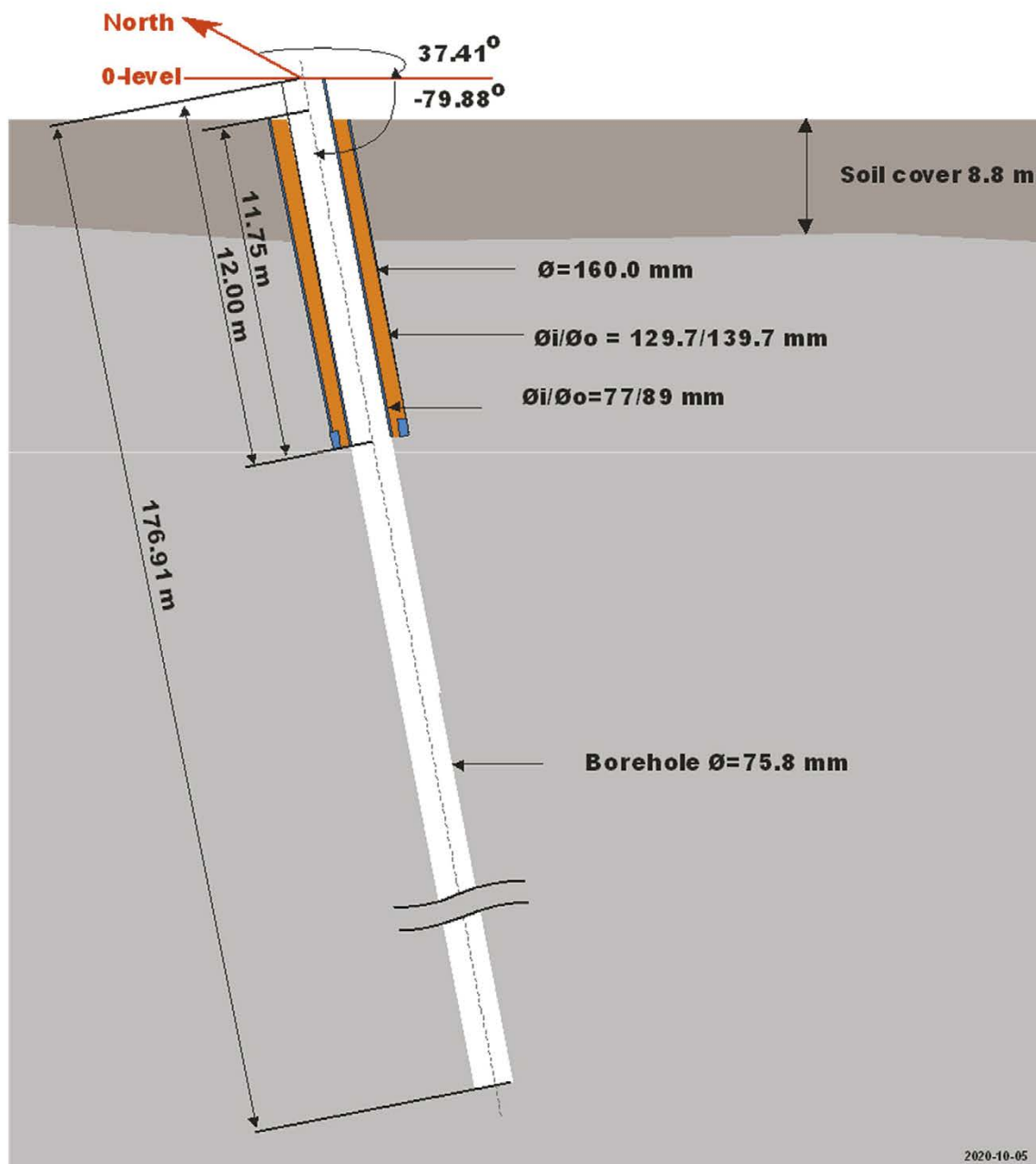
Figur B-3. Tekniska data för KFR119.

Tabell B-4. Administrativa, geometriska och tekniska data för kärnborrhål KFR120.

Parameter	Data
Borrhål ID	KFR120
Plats	Forsmark, Östhammars kommun, Sverige
Förborrning med hammarborrmaskin	2020-04-06 08:15–18:45
Kärnborrning	2020-05-18 till 2020-05-30
Kärnborrning, rensning	2020-07-24
Entreprenör kärnborrning	Protek i Norr AB
Kärnborrningsutrustning	Atlas-Copco U8 med Epiroc N
Entreprenör hammarborrning	TSB AB
Hammarborrutrustning	Soilmec 14
Position överkant casing (SWEREF 99 18 00/RH 2000)*	N 6699 930,77 (m) E 162 256,47 (m) Z 3,19 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 37,41° Dip (0–90°): –79,88°
Position vid borrhålsbotten (SWEREF 99 18 00/RH 2000)	N 6699 954,04 (m) E 162 278,45 (m) Z –170,80 m (RH 2000) Azimuth (0–360°): 46,60° Dip (0–90°): –79,60°
Borrhålets längd	176,91 m
Borrlängd och dimensioner	Från 0,25 m till 12,00 m: 0,1600 m Från 12,00 m till 176,91 m: 0,0758 m
Foderrör	Casing $\varnothing_o/\varnothing_i = 139,7/129,7$ mm från 0,25 m till 11,97 m Ringborrkrona $\varnothing_o/\varnothing_i = 160,0/116,0$ mm från 11,97 m till 12,00 m
Inre foderrör, diameter och borrlängd	$\varnothing_o/\varnothing_i = 89/77$ mm 0,00 m till 12,00 m
Dimension borrkärna	12,00–176,91 m/ \varnothing 45 mm
Borrkärnans längd	12,00–176,91 m
Medelvärde för borruptagens längd	2,75 m
Antal upptag	60

* Data som redovisas i tabell och figur hämtas från Sicada för aktiviteterna EG150 och EG151 (inmätning av koordinater och borrhålets startorientering). Mindre avvikelser jämfört med motsvarande data som redovisas i sektion 5-3 för krökningsmätningar kan då erhållas.

Technical data Borehole KFR120



Drilling period

Drilling start date: 2020-05-18
Drilling stop date: 2020-05-30
Drilling extended: 2020-07-24

Drilling reference point

Northing: 6699930.77 (m), SWEREF99 18 00
Easting: 162256.47 (m), SWEREF99 18 00
Elevation: 3.19 (m.a.s.l.), RH 2000

Borehole spec.

Borehole length: 176.91 m

Figur B-4. Tekniska data för KFR120.

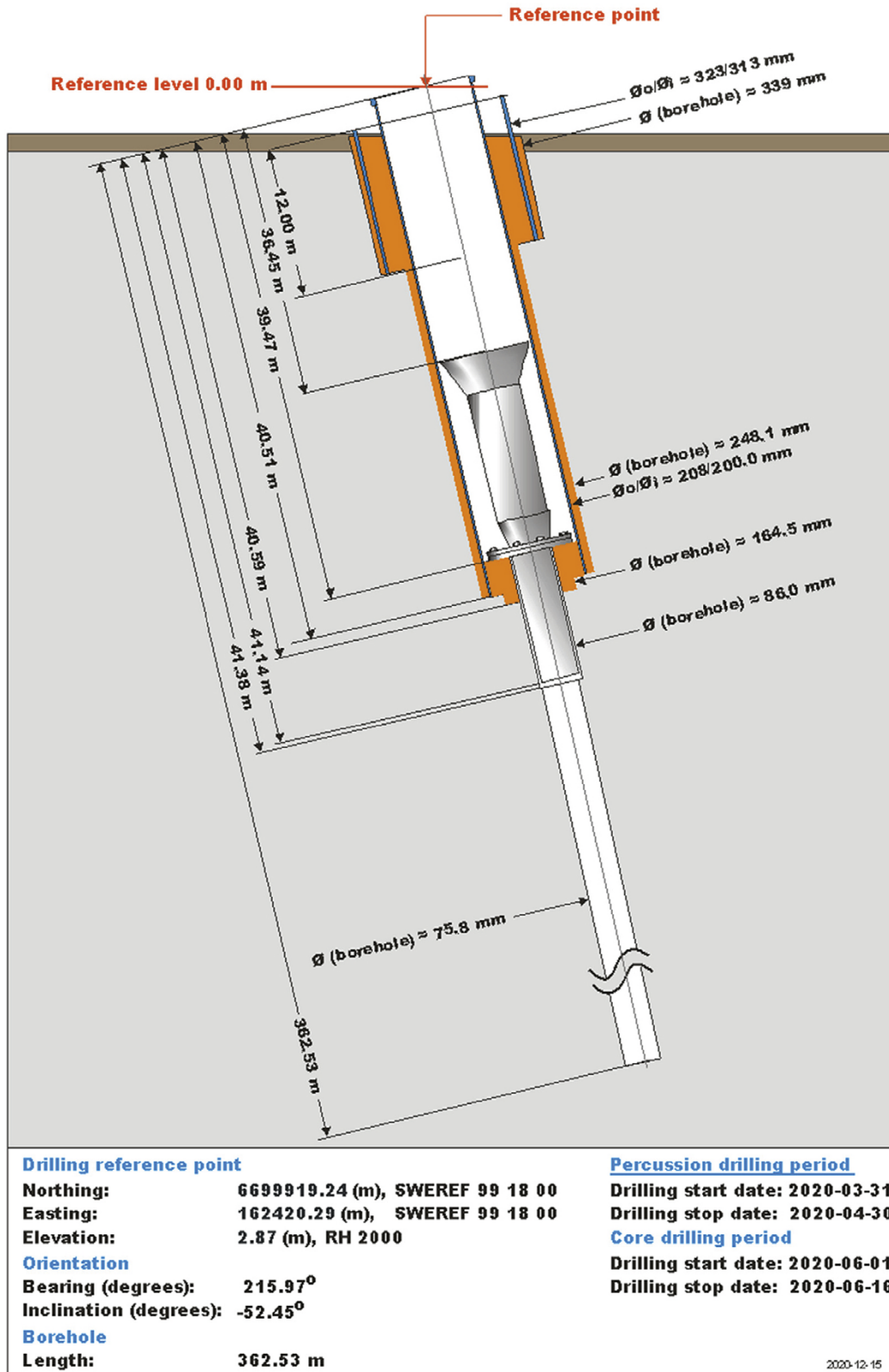
Tabell B-5. Administrativa, geometriska och tekniska data för borrhål KFR121.

Parameter	Data
Borrhål ID	KFR121
Plats	Forsmark, Östhammars kommun, Sverige
Borrstart datum	2020-03-31
Färdigställt datum	2020-06-16
Hammarborrning	2020-03-31 till 2020-04-30
Kärnborrning	2020-06-01 to 2020-06-16
Entreprenör kärnborrning	Protek i Norr AB
Entreprenör hammarborrning	TSB AB
Hammarborrtröstning	Soilmec 14
Kärnborrigg	Atlas-Copco U8
Position överkant casing (SWEREF 99 18 00/RH 2000)*	N 6699919,24 (m) E 162420,29 (m) Z 2,87 (m) Azimuth (0–360°): 215,97° Dip (0–90°): –52,45°
Position vid borrhålsslut (SWEREF 99 18 00/RH 2000)	N 699749,32 (m) E 162275,03 (m) Z –282,11 (m) Azimuth (0–360°): 228,00° Dip (0–90°): –50,70°
Borrhålslängd	362,53 m
Borrhålsdiameter och -längder	Från 0,00 m till 12,00 m: 0,339 m Från 12,00 m till 40,51 m: 0,2481 m Från 40,51 m till 40,59 m: 0,1645 m Från 40,59 m till 41,38 m: 0,086 m Från 41,38 m till 362,53 m: 0,0758 m
Casingdiametrar och borrlängder	$\varnothing_o/\varnothing_i = 323 \text{ mm}/313 \text{ mm}$ till 11,87 m Ringborrkrona $\varnothing_o/\varnothing_i = 280 \text{ mm}/339 \text{ mm}$ mellan 11,87 och 12,00 m Ringborrkrona $\varnothing_i = 281 \text{ mm}$ mellan 12,23 och 12,31 m $\varnothing_o/\varnothing_i = 208 \text{ mm}/200 \text{ mm}$ mellan 0 och 40,51 m
Borrhålsövergång och innerdiameter	Vid 36,45 m: 0,197 m Vid 41,14 m: 0,080 m
Borrkärnans dimension	40,59–41,28 m/ \varnothing 62 mm 41,28–362,53 m/ \varnothing 45 mm
Kärnlängd	40,59–362,53 m
Medelvärde för upptagens längd	2,90
Antal upptag	111

* Data som redovisas i tabell och figur hämtas från Sicada för aktiviteterna EG150 och EG151 (inmätning av koordinater och borrhålets startorientering). Mindre avvikelser jämfört med motsvarande data som redovisas i sektion 5-3 för krökningsmätningar kan då erhållas.

Technical data

Borehole KFR121



Figur B-5. Tekniska data för KFR121.

