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

PROJEKTERING OCH TUNNELDRIVNING AV EN 100 M HORISONTELL RAISEBORRAD TUNNEL

DETAIL PLANNING AND EXCAVATION OF A NEAR-HORIZONTAL RAISE BORING TUNNEL

Cecilia Montelius, NCC Sverige AB

Johanna Holmsten, NCC Sverige AB

Theodore Silveira Övrebö, NYAB Mälardalen AB

Tommy Andersson, Ellevio Sverige AB

Sammanfattning

En bergtunnel i Stockholm borras med raiseborrningsteknik från en befintlig tunnel. Projektet har flera intressanta utmaningar. Tunneln är 100 meter lång, har en lutning på ca 5° och en kurvatur som är nära borrörets brottgräns. Styrhålet är 200 m långt och tunnelns diameter är 3,15 meter. Toleranserna på startpunkt och slutpunkt är mycket små samtidigt som grundvatten, lokal geologi, befintliga anläggningar samt tiden ska beaktas. Vid borrning krävs mycket vatten för att spola bort borrkaxet och hålla borrkronan i gång, närmare 4000 l /min. Materialet separeras direkt vid tunnelmynningen och pumpas upp genom ett 200 m långt mediahål parallellt med tunnellinjen. Vattnet separeras uppe vid ytan och återcirkuleras.

Vid projekteringen borrades ett kärnborrhål och detta, i kombination med ingenjörsgeologisk kartering på ytberg och i pågående schakt, utgjorde förutsättningarna för de kommande tunnelarbetena. Kärnborrhålet vattenförlustmättes för dimensionering av injektering efter krav som ställts vid tillståndsansökan om vattenverksamhet.

Vid kärnborrningen upptäcktes en svaghetszon och områden med ökad vattenförlust. Ett antal svaghetszoner med varierande utbredning hade även identifierats i pågående schakt. Eftersom tiden var begränsad och drivningstekniken inte medger åtgärder, som förstärkning eller injektering framför stuff, behövde dessa åtgärder utföras i förväg i möjligaste mån.

Nyckelord: elektrifiering; raise-borrning; design; produktion; återanvändning av vatten

Summary

A rock tunnel in Stockholm is being drilled using raise-boring technology from an existing tunnel. The project involves several interesting challenges. The tunnel is 100 meters long, has an inclination of approximately 5°, and a curvature that is close to the breaking limit of the drill pipe. The pilot hole is 200 meters long, and the tunnel diameter is 3.15 meters. The tolerances for both the starting and end points are very small, while groundwater, local geology, existing infrastructure, and time constraints must all be considered.

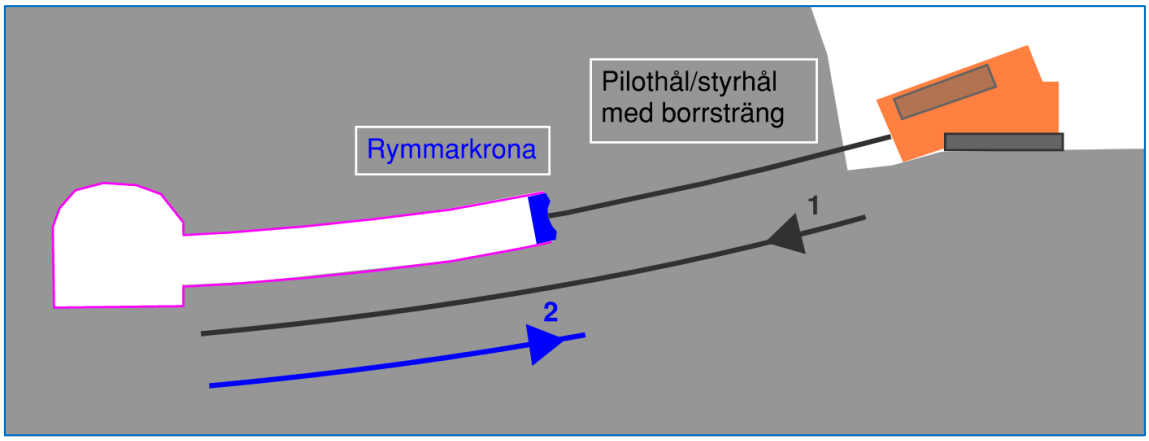
During drilling, a large amount of water is required to flush out the drill cuttings and keep the drill bit operating—nearly 4000 litres per minute. The material is separated directly at

the tunnel entrance and pumped up through a 200-meter-long media hole running parallel to the tunnel alignment. The water is separated at the surface and recirculated.
During the design phase, a core borehole was drilled, and this—combined with engineering geological mapping of outcrops and ongoing excavations—formed the basis for the upcoming tunnelling work. The core borehole was water-loss tested to support the design of grouting measures in accordance with the requirements set during the water activity permit process.
During core drilling, a weakness zone and areas with increased water loss were identified. Several weakness zones of varying extent had also been detected in ongoing excavations. Since time was limited and the tunnelling method does not allow for measures such as reinforcement or grouting ahead of the face, these actions needed to be carried out in advance as far as possible.

Keynotes: electrification; raise-boring; design; production; water-recycling

1 Bakgrund

För att säkra och trygga Stockholms elförsörjning pågår flera projekt för utbyggnad och förnyelse av elnätet. Ombyggnaden av ett befintligt ställverk är en viktig pusselbit för att säkra Stockholms fortsatta elektrifiering och som en del av förnyelsen behövs nya ledningsdragningar.
Flera lösningar för ledningsdragning har diskuterats och i detta projekt beslöts det att ledningarna skulle förläggas i en borrad tunnel som utfördes med raiseborrningsteknik. Metoden går förenklat ut på att ett styrhål/pilothål borras för installation av en borrsträng. På borrsträngen monteras sedan en rymmarkrona som dras tillbaka längs styrhålet och skapar den borrade tunneln, se illustration i *Figur **1***.



Figur 1. Först borras ett pilothål och sedan monteras en rymmarkrona på borrsträngen. Rymmarkronan dras sedan upp längs med pilothålet. Pilarna visar skedena och riktningarna av de olika momenten som sker vid raiseborrning av tunneln.

2 Övergripande om Ellevios projekt

I över hundra år har Värtan varit ett nav i Stockholms elförsörjning och helt avgörande för stadens utveckling. Det var här den första stora elledningen in till huvudstaden byggdes och på allvar tog elen till stan. Nu är det dags för en ny epok när Ellevio ska bygga om hela ställverksområdet för att framtidssäkra elförsörjningen. Projektet är Ellevios största stationsprojekt någonsin och unikt i energi-Sverige. Den nya stamnätsstationen kommer att finnas på samma plats som den befintliga, men byggas in och ta mindre yta i anspråk.

2.1 Alternativ på framföringsvägar

När Stamstation Värtan byggs om och komprimeras måste ett antal av de matande förbanden till stationen förlängas för att nå det nya läget.
Med tanke på det stora värde som tomten i Värtan betingar, och det faktum att staden vill bygga bostäder i området var det inte möjligt att förlägga kablarna i mark på stationsområdet. Tre huvudsakliga alternativa framföringsvägar jämfördes. Dessa beskrivs här kortfattat.

Alternativ 1:
Förläggning i en kulvert norrut längs Jägmästargatan, och sedan västerut för att nå befintlig kabelväg. Huvudsaklig anledning att alternativet sållades bort var att det inte gick att genomföra innan hela Station Värtan var ombyggd, vilket skulle leda till ett stort antal provisoriska lösningar, och ett utdraget projekt. Dessutom bedömdes kostnaden som väldigt hög.

Alternativ 2:
Markförläggning i Porjus-och Lanforsvägen. Detta var sannolikt det mest ekonomiska alternativet, men föll dels på bergarbeten i direkt närhet till tunnelbanan och dels på att hela gatan skulle behöva tas i anspråk, vilket i praktiken omöjliggjorde förläggning av VA-, tele- och lokalnätskablar etc. till de planerade bostäderna. Alternativet innebar också att det skulle bli mycket svårt att få ut nya kablar från stationen i framtiden, vilket med tanke på stationens strategiska plats i Stockholms elnät var ytterst olämpligt.

Alternativ 3:
Valt alternativ och det alternativ som beskrivs i denna artikel. Fördelar med detta alternativ var tidsaspekten samt tillgänglighet och framtidssäkring. Framtidssäkringen bedömdes som viktig eftersom det kan komma ökade behov av ytterligare utbyggnad framöver.

2.2 Utmaningar vid lokalisering

Projektet är som en del i Station Värtan säkerhetsskyddsklassat, och ett skyddsobjekt. Detta medförde intressanta utmaningar med att mäta in och bestämma tunnelns sträckning. Utmaningen löstes genom att bygga upp ett eget koordinatsystem utan koppling till t.ex. SWEREF och låta ett mycket begränsat antal personer ha tillgång till översättningskoordinater.

Dessutom finns det redan ett stort antal undermarksanläggningar i området, vilket kräver tät samordning med deras respektive huvudmän.
För att kunna hålla den nya tunneln utanför deras riskområden projekterades den med en kurvatur i såväl horisontellt som vertikalt led, något som i sin tur ledde till stora utmaningar för genomförandet.

Den nya tunneln är i praktiken en förlängning av en befintlig tunnel, och arbetet har utförts med befintligt högspänningskablage i full drift. Det begränsade utrymmet mellan befintliga kablar gjorde att vi inte har kunnat transportera borrkax genom befintlig tunnel. Detta löstes genom att borra ett extra hål utanför tunnelns perimeter, genom vilket kaxet kunde pumpas ut med vatten. Mängden vatten som krävs för att få borrkaxet att rinna ner till pumpgropen gör att reningsanläggningen har blivit väldigt omfattande.

Närheten till dels Ellevios egna krafttransformatorer samt andra undermarksanläggningar har gjort att vi inte kunnat tillåta sprängning i annat än mycket begränsad omfattning. Projektet beslutade därför att vibrationsfria metoder var enda vägen fram om en tunnel skulle byggas, och valet för på en ganska oprövad teknik med i stort sett helt horisontell raiseborrning.

Det har varit ett utmanade projekt, men med fokus på samarbete och stor lösningsorientering, har vi nu löst utmaningarna och borrat cirka 100 meter horisontellt med diameter 3,15 meter och cirka 30 meter vertikalt med diameter 3,5 meter.

3 Projektering

Projektering utfördes i en projektstudioform där nära kontakt och kommunikation tilläts mellan projektörerna och där beställaren var närvarande och delaktig under hela processen.

3.1 Undersökningar

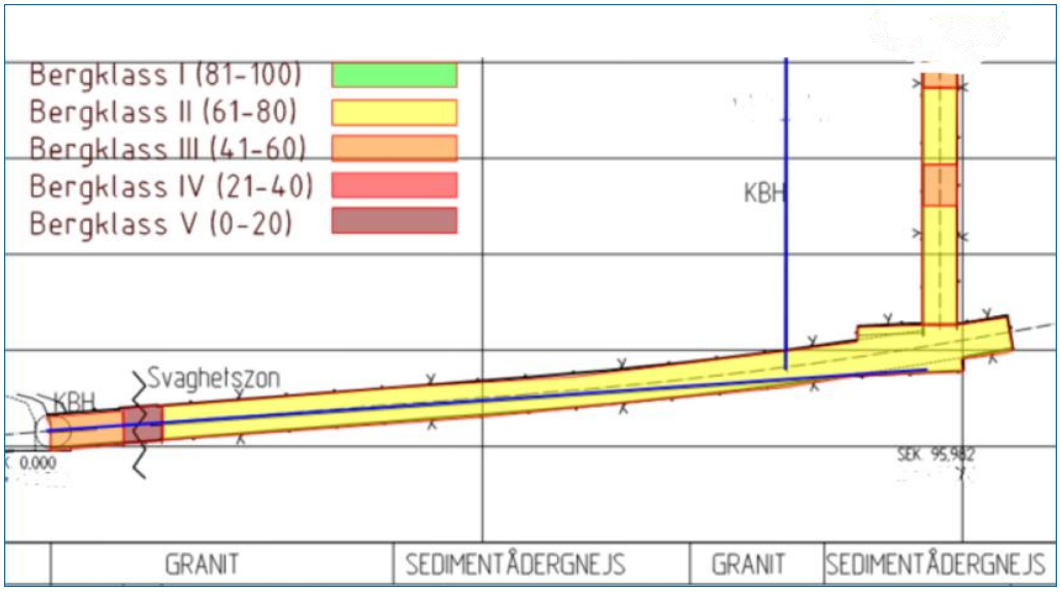
I ett tidigt utredningsskede borrades en vertikal bergborrkärna ut för att ta reda på bergarter och bergkvalitet och för att göra tester på hårdheten i bergmaterialet. Bergmassan i område visade sig bestå av granit och heterogen sedimentådergnejs. För att ta reda på hårdheten i bergmaterialet utfördes tester, exempelvis testades CAI vilket står för Cerchar Abrasivity Index, och testar bergets nötningsegenskaper och slitstyrka. Det visade sig att sedimentådergnejsen hade hög nötningsförmåga (high abrasiveness) och graniten hade extrem nötningsförmåga (extreme abrasiveness) vilket förenklat betyder att bergmassan kommer stå emot mekanisk påverkan från borrutrustningen och nöta mycket på kuttrarna.

Det borrades även en bergkärna horisontellt i riktning och läge för den planerade tunneln. Detta gjordes för att i ett tidigt skede få reda på förhållanden längs sträckningen. Det var viktigt att få reda på hur stor andel som var sedimentådergnejs respektive granit samt om det fanns några svaghetszoner längs sträckan då dessa egenskaper har stor påverkan på tiden vid utförandet. Även miljöprovtagning av inläckade mörkt vattendropp utfördes för att utvärdera eventuell påverkan på grundvattnet och arbetsmiljön vid planerad tunneldrivning.

Båda kärnborrhålen vattenförlustmättes och dessa mätningar låg till grund för injekteringsdesignen av tunneln. Vid pågående produktion i närliggande projekt kunde ingenjörsgeologisk kartering utföras på bergöveryta och på losshållen bergyta. Denna kartering utgjorde ett komplement till bergkärnorna när den geologiska modellen och ingenjörsgeologiska prognosen togs fram, se exempel i *Figur 2*.
Sammanfattningsvis utfördes följande undersökningar i projekteringen:

- Bergkärnor och kärnborrhål
- Bestämning av bergarter och omfattning längs sträckan
- Identifiering av svaghetszoner, Figur 3
- Test av bergets nötningsegenskaper CAI
- Bergets försurande egenskaper och omfattning
- Miljöprovtagning av inläckande vatten för att kunna utvärdera föroreningar i bergmassan
- Vattenförlustmätning
- Ingenjörsgeologisk kartering av bergöveryta
- Förekomst av sulfidberg

Under produktionsskedet utfördes kompletterande undersökningar för att noggrannare bestämma svaghetszonens omfattning och utbredning.



Figur 2. Utklipp från den ingenjörsgeologiska prognosen.

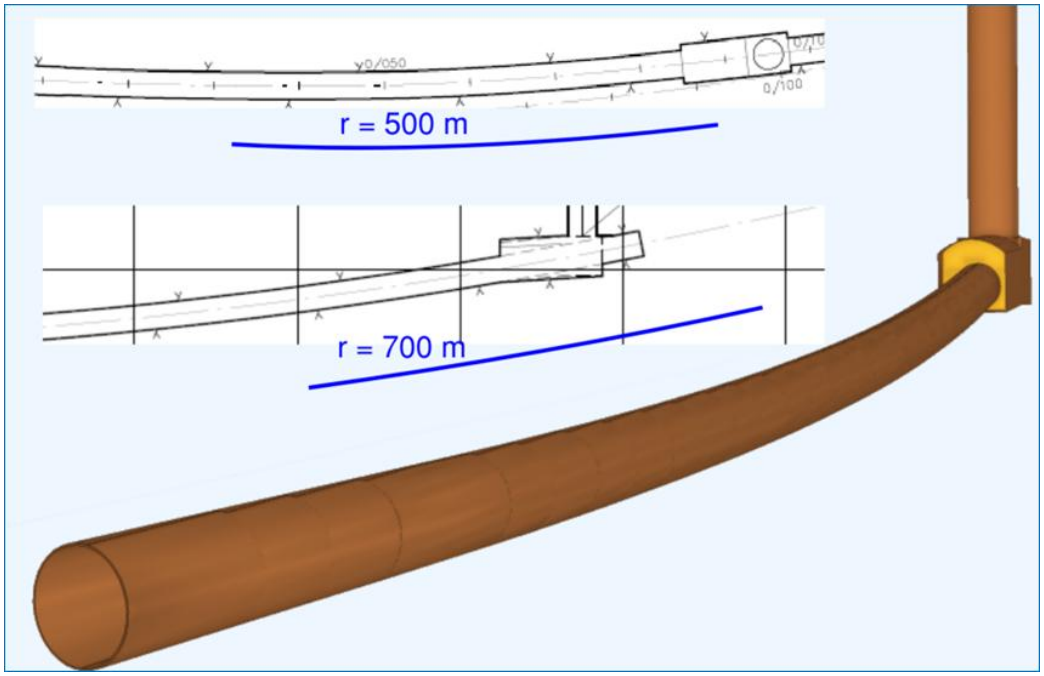
Figur 3. Svaghetszon påträffad vid horisontell kärnborrning. Längs en strecka på ca 0,6 meter var bergkärnan mycket uppsprucken och lera kunde noteras.

3.2 Tunnelsträckning

Tunnelns startpunkt var fast eftersom läget fanns i en befintlig tunnel. Det fanns även restriktionen om var den inledande borrningen av pilothålet kunde utföras och någonstans längs vägen behövdes en anslutning till ett läge i ytterligare en befintlig anläggning.

Att borra en rak tunnel hade varit det enklaste men det var inte möjlig eftersom tunnelns startpunkt och slutpunkt var fasta. Tunnellinjen behövde även koppla ihop flera punkter i ett område där det förekommer andra anläggningar. Läget för starten av borrning av pilothålet hade sina begränsningar och utrymmet för utförande och etablering i alla lägen/punkter var begränsat.

Att borra i berg med styrd borrning och sedan rymma upp har begränsningar i vad material och utrustning klarar av. För snäva radier går inte att utföra så de slutliga radierna blev 500 meter i plan och 700 meter i profil.
Målet med projekteringen var att finna den bästa lösningen med givna förutsättningar och det är inte alltid så att alla förutsättningar finns framme och att den bästa lösningen är den första som tas fram.



Figur 4. Tunneln har en horisontalradie på 500 meter och en vertikalradie på 700 meter. På ett ställe ansluts ett vertikalschakt till en befintlig anläggning.

3.3 Injekteringsdesign

I den tillståndsansökan för vattenverksamhet som var pågående under projekteringen ansöktes om ett tillåtet inläckage och en strategi för en tätad tunnel. Vattenförlustmätningar hade utförts i kärnborrhålen och resultaten visade att det behövdes tätningsåtgärder för att upprätthålla kraven i ansökan.

Designen optimerades och den bästa lösningen bedömdes vara att koncentrera tätningsarbetet till de delar som visat på störst vattenförlust vid mätning och komplettera tätningen med efterinjekteringsskärmar vid behov. De delar som där det förväntades störst vatteninläckage låg inom 20 meter från startpunkten av tunneln. Istället för att injektera berget längs hela tunneln projekterades en 20 meter lång injekteringsskärm från det begränsade utrymmet i den befintliga anläggningen. Injekteringskärmen testades med kontrollhål och ytterligare injektering utfördes tills vattenförlustmätning i kontrollhål låg under godkänd nivå.
Injekteringen utfördes med cementbaserad injektering och injekteringsskärmarna skulle förtätas enligt behovsbaserade kriterier.

3.4 Förstärkningsdesign

Eftersom tunnelns och vertikalschaktets tvärsnitt är cirkulärt och dimensionen liten i bergtunnelmått mätt bedömdes dimensioneringen av den normala förstärkningen vara relativt enkel. Information om sprickgrupper, sprickavstånd och sprickfyllnader erhölls från den ingenjörsgeologiska karteringen av bergkärnor och losshållen bergyta i närliggande projekt. Att utföra förstärkningsdesignen med hjälp av analytiska metoder som blockkilanalys och hävdvunna metoder som NGI:s Q-system bedömdes tillräckligt i de

flesta förekommande brottskriterier (strukturellt styrda brott). Bultdimension och en bultlängd som var anpassad efter möjligt utförande och behov av säkring av block togs fram. Tunneln skulle karteras och förstärkning skulle anvisas löpande. Kransbultning och bergsäkringsnät används som komplement till bergbult.

Förstärkning i svaghetszon
Förstärkningsdesignen vid den påträffade svaghetszonen var betydligt mer avancerad och krävde numeriska beräkningar.
Ca 9 meter in i tunneln bedömdes bergkvaliteten vara lägre på en sträcka om ca 1-2 meter. Zonen, som identifierats vid kärnborrning, bestod av ställvis uppkrossad bergmasssa med förekomst av lera i sprickorna. Utbredningen, eventuell lutning och riktning var inte känd varför sträckan i tunneln som påverkas av zonen var osäker.
Det designades därför en temporär förstärkning för att säkra arbetsmiljön innan den permanenta förstärkningen installeras längs denna strecka. Troligtvis kan den temporära förstärkningen även underlätta för raiseborrningen.

En förförstärkning i form av långa självborrande och injekterbara stag som skulle installeras parallellt med tunneln togs fram som temporär förstärkning.
Spilingbultarna/stagen i form av självborrande och injekterabara stag skulle var minst 12 meter långa och borras in i den övre halvan av tunneln med ett inbördes avstånd på 0,3 meter.

Bultarna designades för att forma ett valv i den uppspruckna bergmassan och ha ett upplag före och efter svaghetszonen.
Armeringsnät som översprutas med sprutbetong ska fungera som den permanenta förstärkningen i svaghetszonen.

4 Produktion

4.1 Vikten av ett bra pilothål

Projektet inleddes med att etablera en påhuggsyta för den styrda borrningen, samt skapa förutsättningar för en stabil placering av raiseborrmaskinen. Detta genomfördes genom att schakta fram en bergyta, avlägsna jord- och bergmassor, anlägga en spontgrop samt gjuta en betongplatta mot mark för maskinuppställning.
Styrd borrning är en metod där långa och krökta borrhål kan skapas från markytan, och där borrhuvudets läge styrs elektroniskt och bildar ett pilothål som senare ryms upp till slutlig dimension.
Två styrda borrhål borrades: ett pilothål för raiseborrningen och ett parallellt mediahål, cirka 1,5–5 meter från pilothålet. Mediahålet användes för uppumpning av berg, kax och vatten samt som vattenförsörjning till tunneln. Båda hålen borrades initialt med mindre diameter och rymdes därefter upp till anpassade dimensioner.

Dimensioner på borrhålen:

- **Pilothål:** borrades i Ø 211 mm, upprymt till Ø 311 mm, total längd 198 m
- **Mediahål:** borrades i Ø 250 mm, upprymt till Ø 385 mm, total längd 202,7 m

Kvaliteten av ett noggrant pilothål med jämn kurvatur var av stor betydelse för raiseborrningens genomförande. Det cirka 200 meter långa pilothålet hade både en vertikal och en horisontal radie som sammanföll, vilket innebär att borrsträngen utsätts för betydande mekaniska påfrestningar under raiseborrningsmomentet.

Efter slutförd borrning av pilothålet konstaterades mindre avvikelser i radien jämfört med den projekterade tunnellinjen, framför allt den initiala sträckan från ansatspunkten ovan jord. Den ytliga första sträckan i bergmassan var dessutom väldigt sprucken, se Figur 5. Det ledde även till ett samband mellan de två styrhålen, vilket orsakade problem med upptagning av borrkaxet. Åtgärder gjordes för att injektera och täta sambanden mellan de båda borrhålen.

Figur 5. Sprickor i bergmassan i pilothål, 4 och 10 meter från ansatspunkt.

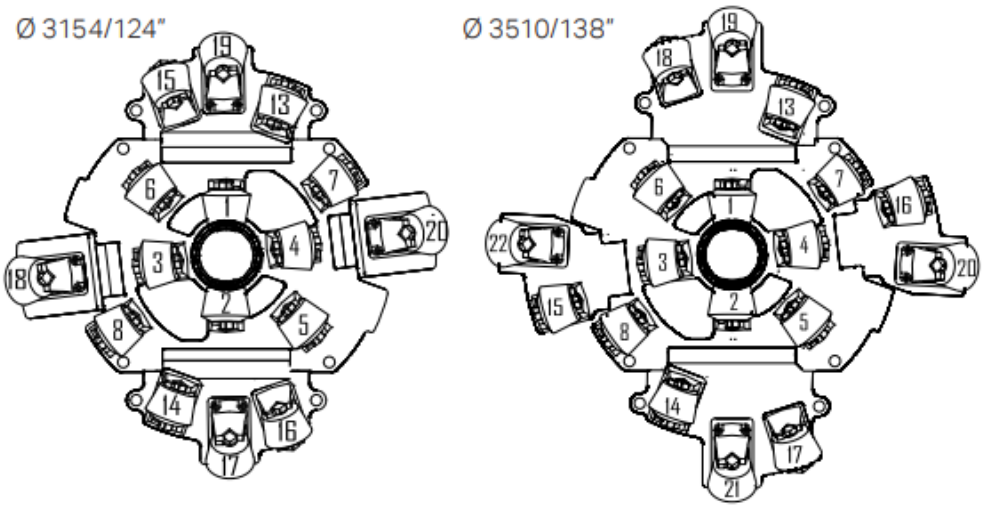
4.2 Raiseborrning

Raiseborrning är en metod där ett pilothål borras och därefter ryms upp med en rymmarkrona som dras bakåt och krossar/maler upp berget till ett färdigt schakt, vertikalt eller horisontellt.

Initiala förutsättningar

Borrmaskinens utgångsläge var cirka 200 meter från raisekronans påhugg. Den horisontella tunneln skulle borras 100 meter. Därefter skulle kronan vändas, monteras om till ny dimension och användas för ett vertikalschakt rakt upp till ytan. Den hundra meter långa horisontaltunneln som borrades hade en lutning på 4–11 grader.

Radien på horisontaltunneln innebar tydliga begränsningar i valet av borrutrustning. En för grov borrsträng innebar för hög styvhet och risk för rörbrott enbart till följd av radien. Utrustningen som valdes optimerades därför utifrån den flexibilitet som krävdes för den projekterade radien. Den dimension på borrkrona som valdes visas i Figur 6.



Figur 6. Storlek på borrkrona. Horisontalschakt 3154 mm och vertikalschakt 3510 mm.

Nedmatning av borrör

När pilothålet var färdigborrat och recirkulationssystemet för kax och vattenhantering successivt hade etablerats började nedmatningen av rör för raiseborrningen. Borrsträngen matades ned med hjälp av en rymmarkrona längst fram för att säkerställa passage genom sektioner där radien potentiellt var för snäv och utrymmet blev för trångt för stabilisatorn. Längs vissa sträckor noterades ett ökat borrmotstånd. Dessa observationer var en tidig indikation på att kraftförluster kunde uppstå i det roterande momentet vid raiseborrningen.

Montering av borrkronan

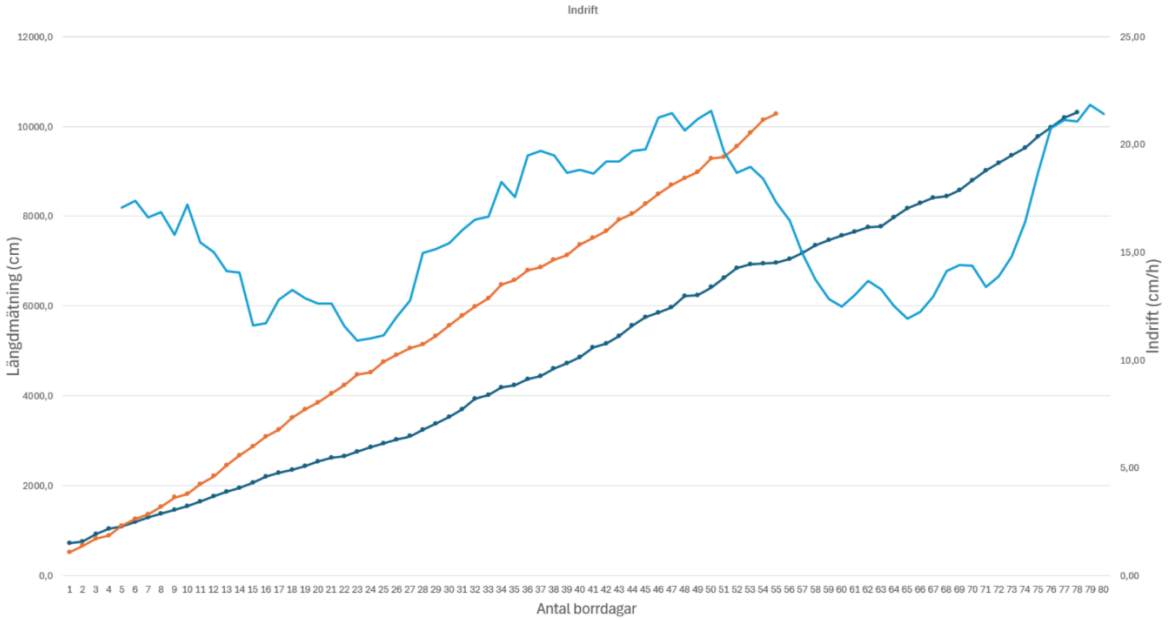
På grund av utrymmesbegränsningar i tunneln fanns det ont om plats för maskiner och utrustning. Maximal transporthöjd för maskiner och utrustning var 2,10 meter och maximala bredden var 1,90 meter. Det innebar att borrkronan behövde transporteras ner i flera segment och monteras på plats nere vid påhugget.

Utmaningar under raiseborrningen

Borrningen inleddes med att borrkronan sakta gnagde sig in i berget tills hela kronans profil hade kontakt med bergytan (s.k. full-face mot berget). Därefter ökades rotations- och matningstrycket successivt för att uppnå full indrift.

När raiseborrningen kom igång noterades ett högre rotationsmotstånd än förväntat, vilket begränsade maskinens möjlighet att utnyttja sin fulla matningskraft. Ett stort friktionsmotstånd i pilothålet gjorde att kraft förlorades i det roterande momentet vid borrkronan, vilket i sin tur påverkade matningskraften som drar borrkronan. Dvs. dras kronan för hårt så nyper kronan fast i berget. Konsekvensen blev att det inte gick att uppnå den kraft per kutter som rekommenderas för att effektivt bryta ut berget. Orsaken till detta var troligtvis några små korrigeringar utförda vid borrning av pilothålet, som visade sig ha stora konsekvenser då radien redan var väldigt låg. Trots uppkomna kraftförluster fortsatte borrningen, men med en lägre hastighet och mindre indrift än förväntat.

Ytterligare skillnad i indrift observerades mellan borrning i sedimentådergnejs och i stockholmsgranit, där indriften blev bättre när vi borrade i sedimentådergnejsen. Sedimentådergnejsen har en tryckhållfasthet på omkring 110 MPa, vilket är lägre än stockholmsgranitens tryckhållfasthet på cirka 280 MPa.



Figur 7. Graf som visar indriften. Den förväntade ackumulerade indriften visas i orange och den faktiska ackumulerade indriften i mörkblått. Den ljusblåa linjen visar indrift i (cm/h) där det gick snabbare i gnejsen än i graniten.

En ytterligare följd av det höga motståndet i pilothålet var att borrsträngen drabbades av två rörbrott. Det första inträffade efter 64 meters borrning och det andra efter 69 meter. Det konstaterades att brotten orsakats av torsionsutmattning. I kombination med borrhålets snäva radie och de flexande belastningar som uppstod i det kurvade hålet ledde detta till brott i borrsträngens gängpartier.

Problemen åtgärdades genom att borrsträngen ersattes med nya rör, varefter borrningen kunde fortsätta och den horisontella tunneln borrades färdigt.

4.3 Kax- och vattenhantering

En av projektets största utmaningar var att hantera de stora mängder bergmaterial och borrkax som uppstod samt allt vatten som krävdes för att utföra det horisontella raiseborrningstunneln. Den låga lutningen gjorde att hela borrprocessen krävde höga vattenflöden för att kontinuerligt kunna spola bort berg och kax från borrkronan. Enligt erfarenhet från våra UE behövde vi spola kronan med ca 4000 l/min.

Nere vid tunnelpåslaget var utrymmet mycket begränsat, vilket omöjliggjorde sedimentering eller lagring av material i tunneln. Allt kaxvatten och bergmaterial behövde därför hanteras direkt vid tunnelpåslaget och pumpas upp till markytan via mediahålet. Uppe vid ytan byggdes en stor vattenreningsanläggning för att kunna separera

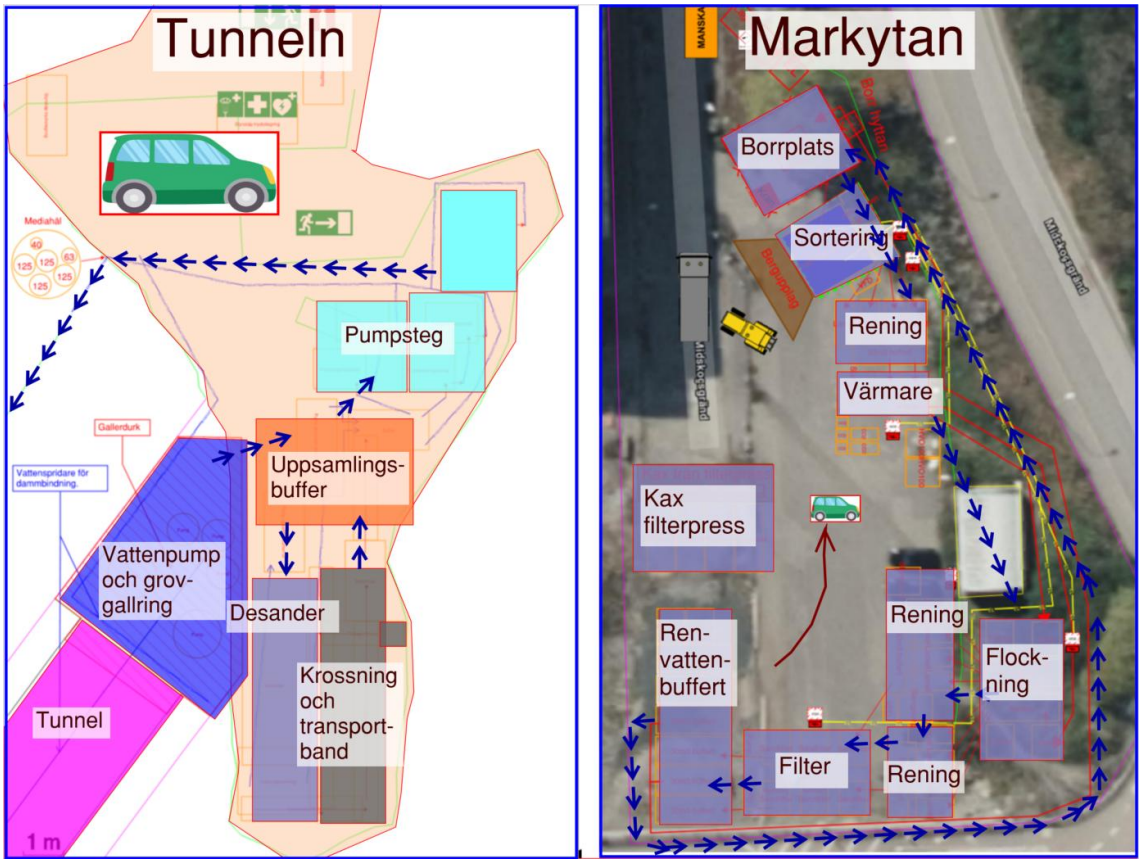
bergmaterialet från vattnet. Vattnet återcirkulerades sedan för återanvändning i ett slutet system. Eftersom det vart ont om utrymme för att kunna buffra kaxvattnet från tunneln behövde reningsanläggningen fungera utifrån samma höga flödeskrav. Översiktlig utformning av anläggningarna under och ovan jord se Figur 8. Ett foto på den verkliga anläggningen nere i tunneln visas i Figur 9.

Tunnel – uppsamling och transport

För att kunna samla allt berg och kaxvatten i tunneln spräckte vi fram en cirka 20 kubikmeter stor pumpgrop framför tunnelpåslaget och i den installerades två stora dränkbara pumpar som hade kapacitet att pumpa både vatten och grövre bergmaterial. Gropen täcktes med en gallerdurk (38×38 mm) för att hindra större material från att nå pumparna. Material som fastnade på gallret hanterades manuellt och lades på ett transportband upp till krossen.

Processen i tunneln:

- Kaxvatten och material separerades först via en desander.
- Kaxvattnet transporterades till en uppsamlingstank och pumpades vidare till ytan med tryckstegring.
- Grovmaterialet krossades till <10 mm och fördes sedan till samma tank för uppumpning via tryckstegring.



Figur 8. Översiktlig illustration över hanteringen av vatten, kax och bergmaterial i tunneln och vid markytan. Den lilla gröna bilen är inlagd i båda illustrationerna för att visa på ungefärlig skala.

Figur 9. Desander, kross och pumpsteg ryms i ett väldigt begränsat utrymme i befintlig tunnel.

Markytan – rening och återcirkulation
Vid markytan separerades återigen material och kaxvatten. Kaxvattnet passerade därefter genom ett reningssystem som avskilde finmaterial och föroreningar, innan vattnet återfördes till borriggen. Det behandlade vattnet skulle även hålla en kvalitet som uppfyllde kraven för utsläpp till den lokala anslutningspunkten (kombinerad ledning). Detta för att kunna släppa ut vattnet ifall systemet blev överfyllt och efter att projektet avslutas.

Samarbetspartners/ UE

- Alverdens AB – Pumpanläggning med kax-och berghantering samt rening och recirkulation av vatten.
- Entreprenörservice AS – Raiseborrning
- Northex AB – Maskinister och YA för utlastning av berg samt drift av kax- och vattenreningssystemet.
- Stabilt Berg & Betong AB – Spräckning, sprängning, injektering- och förstärkningsarbeten.

5 Sammanfattning, lärdomar

Detta projekt är ett unikt exempel på en raiseborrad tunnel som borrats horisontellt med maximal påfrestning på borrutrustning och extremt omfattande hantering av vatten, borrkax och bergmaterial. Projektet hade inte fungerat utan en tät och väl fungerande kommunikation och samarbete mellan alla inblandade.
Det är mycket man kan önska i men vi är mycket stolta att vi har lyckats genomföra detta tunnelprojekt tillsammans!

Lärdomar från detta projekt och som kan vara bra att tänka på i liknande projekt är:

- Underskatta inte vikten av en noggrann borrning av pilothålet eftersom detta påverkar indriften mer än förväntat.
- Om möjlighet finns att påverka radien på tunnelns sträckning så är en större radie bättre för indriften.
- Högre lutning än vad som var möjligt i detta fall är att föredra då detta påverkar vattenförbrukningen, kaxhantering och matningen av upprymningskronan.
- Hantering av bergmaterial (som inte är kax) på annat sätt än krossning på plats i trånga utrymmen hade varit enklare.
- Trångt utrymme begränsar alla aktiviteter och ökar kostnaderna och tiden för varje moment.