© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Fullborrning under Stockholm City - Projekt Saltsjötunneln

Ulf Ljungberg, Stockholm Energi/STOSEB och Leif Tollerup, SIAB, Stockholm.

Ett stort intressant projekt pågår för närvarande under Stockholm, eller rättare sagt, för närvarande under Solna. Innan vi kommer in mera på teknik kring projektet tycker jag det finns anledning att helt kort förklara bakgrunden till projektet.

Varför lägger vi ner så här mycket pengar på den här tunneln ?

Solna och Sundbyberg har ett gemensamt fjärrvärmenät med ett värmeverk vid Bällstaviken, För att komma ifrån det stora oljeberoendet beslöt båda kommunerna att bygga en stor värmepumpanläggning intill det gamla oljeeldade verket. Tempererat vatten fick man "köpa" från Bromma reningsverk i Stockholm. Vattnet därifrån leds i en tunnel till verket och skulle sedan släppas ut i Mälaren vid Nockeby som tidigare.

Sommaren 1984 väcktes tanken hos Stockholms VA-Verk att direkt leda vattnet till en lämpligare recipient. Man var ju så att säga på väg. Det fanns ju sedan 60-talet en uttalad önskan att helt avlasta Mälaren från avloppsvatten. Östra Mälaren är vattentäkt för hela Stockholmsregionen.

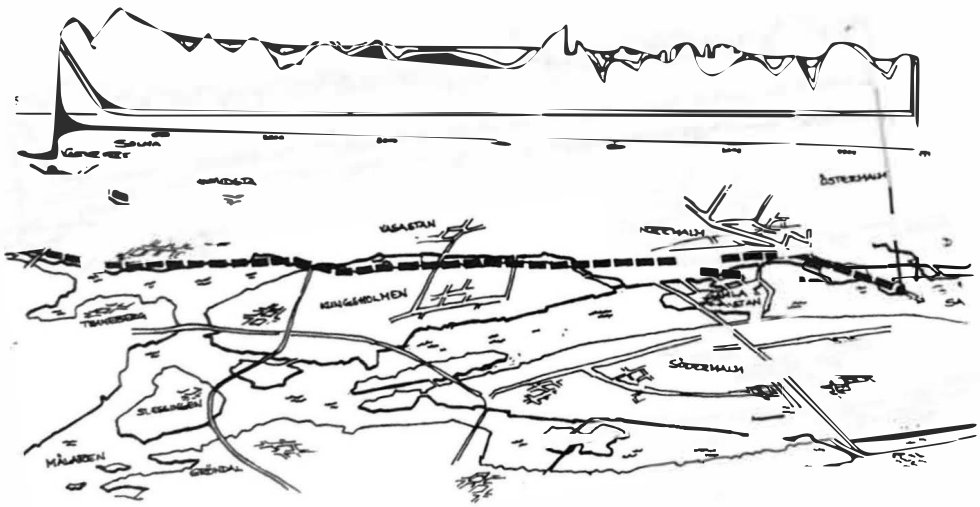
Det blev bråttom. Besut måste fattas före 31 maj 1985 för att ej hindra det pågående värmepumpprojektet. Förprojekteringen påbörjas. Alla berörda kommuner är uttalat positiva. För Stockholm gällde det också att acceptera en ganska stor merkostnad. Beslut i positiv riktning togs i maj 1985. Anbudsförfrågan gick ut till våra större entreprenörer och anbud togs in hösten 1985.

Redan när förprojekteringen påbörjades, uttalades en klar viljelinje att denna tunnel borde fullborras. Erfarenheter från olika håll runt om i världen pekade på att tekniken gått fram väsentligt sedan 70-talet då ett par fullborrningsprojekt drevs i Stockholm. Projekteringen anpassades därför så att anbud på både sprängd och borrad tunnel begärdes in.

Vi hade satsat rätt. Merkostnad för fullborrad tunnel var inte större än att fördelarna vägde över. Bättre tunnel, väsentligt förbättrad arbetsmiljö, mindre störningar på Kungsholmen och Kastellholmen, och med stor sannolikhet, mindre risk för skador på fastigheter.

© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Höga krav på tät tunnel ställdes i förfrågningen. Inte så mycket på grund av grundvattensänkning utan mera för att förhindra vatten att tränga ut i angränsande anläggningar. Under upphandlingen fördes långa diskussioner hur detta skulle lösas. Vårt krav från beställaren var att det skall gå att förinjektera vilket ger det bästa resultatet. Mer om detta senare.



Så här skall i alla fall tunneln se ut när den är färdig. Från värmeverket går den i brant lutning ner till en omlastningsstation. Så långt sprängd på konventionellt sätt. Därifrån i svag lutning upp till Kastellholmen, hela tiden på betryggande djup under befintliga anläggningar och djupgravar i berget. Tunneln slutar i ett vertikalt schakt upp till en brunn i markplanet, varifrån vattnet leds ut i en trätub till 30 m djup i Saltsjön. Djupet valt med hänsyn till utgående strömmar.

Sträckningen är vald med hänsyn till kända krosszoner och med hänsyn till markägarförhållandet. Det senare för att förenkla tillståndsgivningen.

Beställningen på projektet lades ut i december 1985 och gick till SIAB och hur det planerats och hur det går berättar nu Leif Tollerup.

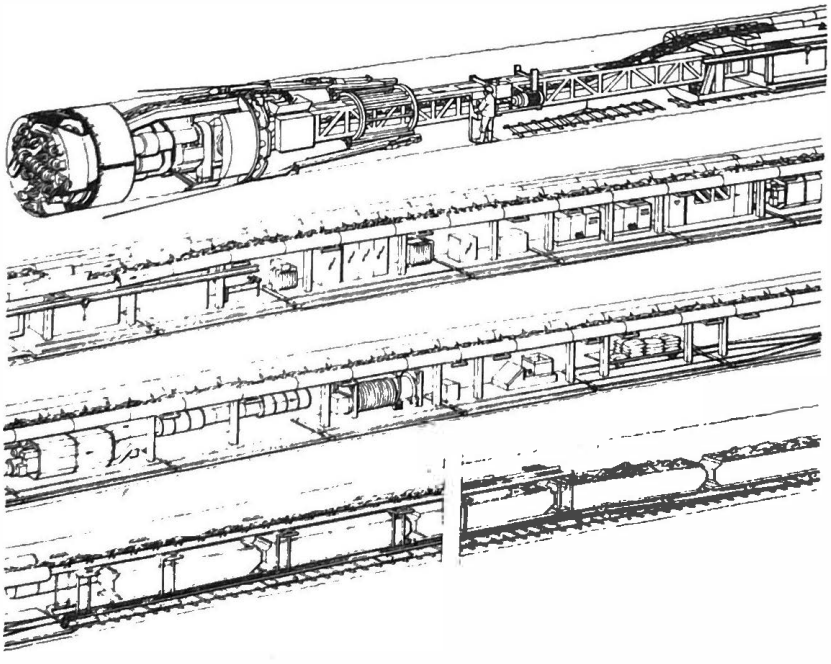
© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Vi tycker det är både spännande och stimulerande att få chansen att utföra det här projektet med fullborrningsteknik.

Vår första uppgift blev att skaffa en ny TBM som dels kunde klara det hårda berget och dels möjliggöra borrning för förinjektering.

Vi kom fram till att två leverantörer, Robbins och Atlas var de bästa alternativen för projektet. Vårt val blev den nya maskinen Foro 900 från Altas Copco. Vi har tillsammans tagit fram en utrustning för sonderingsborrning som gör att fullborrningen kan genomföras med minsta möjliga avbrott. Dessutom ansåg vi det angeläget att både borr- och maskinteknik utvecklas i Sverige.

Under tillverkningstiden av maskinen utfördes tillfartstunneln som är 500 meter lång, den lutar 1:7 och mynnar i en montage och omlastningsstation på nivån ./. 65 m. För att montera maskinen med nödvändigt back-up system så att maskinen själv skall kunna förflytta sig åtgår ca 100m. Vid omlastningsstationen finns förutom schakt ned till traktorutlastningen även utrymme för rälshantering och serviceverkstad.



Det totala borrsystemet är 200 meter långt, längst fram finns TBM. En stålbrygga överför dragkraften till bakriggen. På stålbryggan finns två hydrauliska bergborrmaskiner, typ COP 1238 monterade. Med dem borras 25 - 30 m långa sonderingshål i 3 ° vinkel, hålen har 51 mm diameter. Maskinerna kan sidoförflyttas på en cirkulär ram, 8 ursparingar i en ram framför bakre grippers underlättar anslag vid borrning. Utrustningen är rörlig på stålbryggan, därför kan sonderingsborrningen utföras utan att störa tunnelborrningen. När injektering skall utföras måste dock borrningen avbrytas.

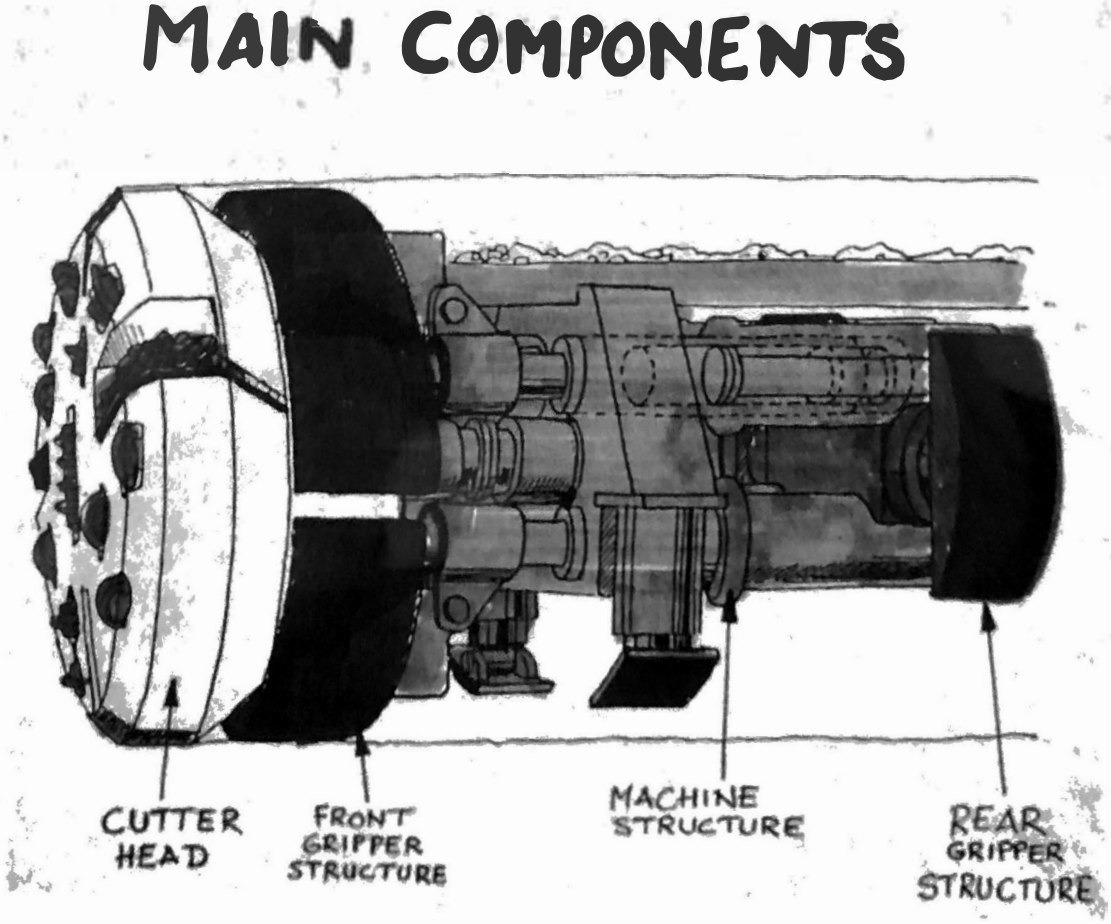
© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Under den 20 meter långa stålbryggan läggs rälsen som bakriggen rullar på.

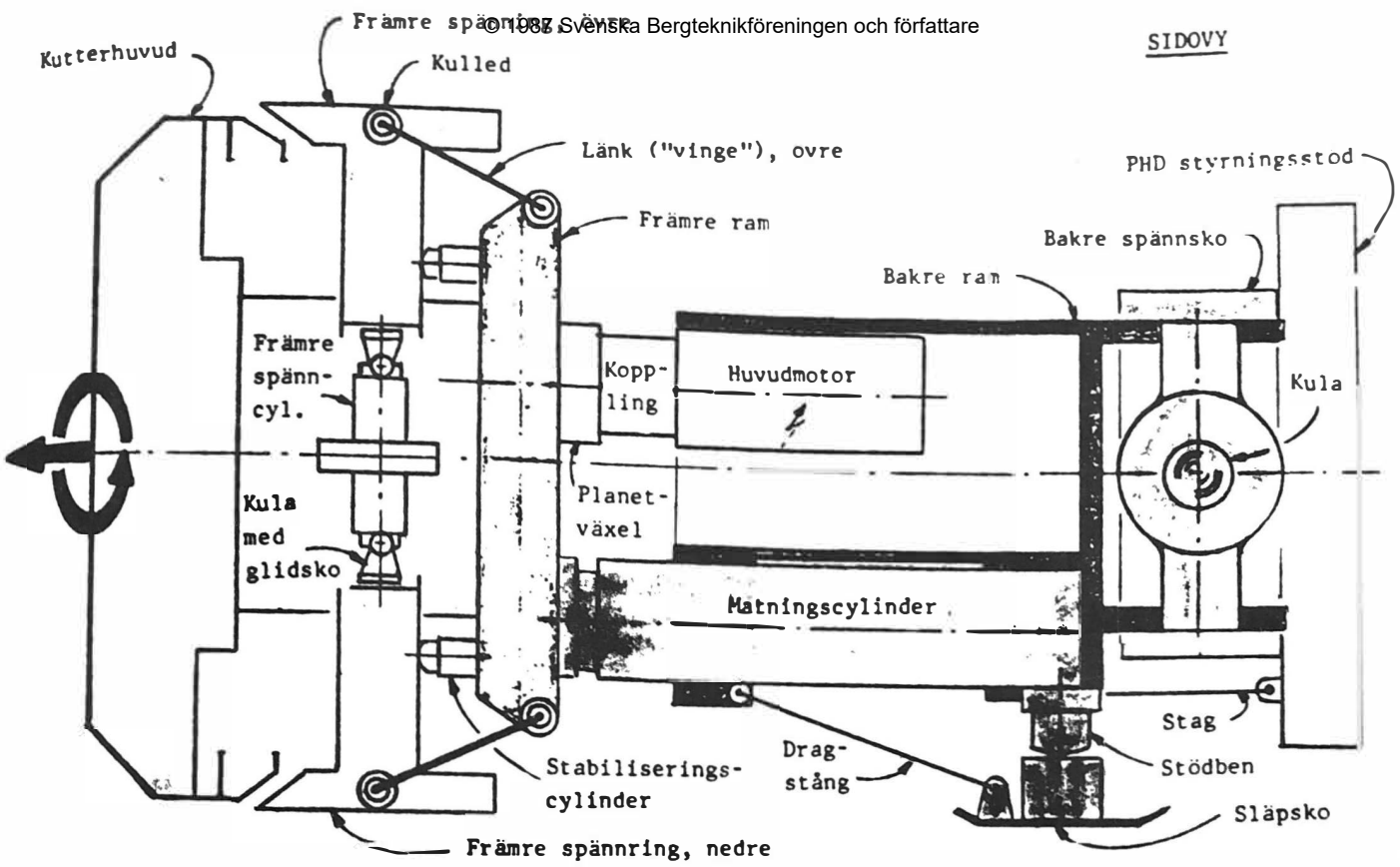
Bakriggen är konstruerad så att nödvändig utrustning är monterad på höger sida, den vänstra halvan är ett rälsförsett kommunikationsutrymme för framtransport av räls, skärrullar och injekteringsutrustning.

Längst fram sitter TBM - operatören som med hjälp av sin manöverpanel kör och följer vad som sker med maskinen. Längre bak finns de nödvändiga installationerna för TBM:en. Hydraulpaket, elskåp, transformator, kompressor, dammsugningsutrustning, kabeltrumma, personalhytt samt plats för injekteringsutrustningen när den ej användes.

Sista delen av bakriggen utgör utlastningssystemet. Här kan 11 vagnar köras in. Hela vägen från TBM:en över bakriggen löper ett transportband som transporterar massorna till vagnen längst bak i riggen. Vagnarna manövereras med ett kedjesystem som gör att lastning sker kontinuerligt även när loket transporterar till omlastningsstationen. Vagnarna är självtippande och rymmer 8 m3. Systemets växelverkan gör det möjligt att under 5 timmar med 2 meters indrift kunna borra utan stopp på grund av vagnsbrist. Och detta när vi är 6.5 km in i tunneln.



© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare



TBM:en består av två huvuddelar:
Den främre arbetande delen.
Den bakre fastspänningsenheten.

Den främre arbetande delen består av borrhuvudet som förutom de 27 skärrullarna även är försett med skrapor och skopor vilka lyfter upp det utborrade berget till bandtransportören som är placerad på maskinens ovansida.

En ringformad glidsko stabiliserar maskinens främre del. Drivenheten för rotation av borrhuvudet utgöres av tre stycken vattenkylda elmotorer à 225 kw, vilka via slirkopplingar och planetväxlar driver en tandkrans och därmed borrhuvudet. För uppstartning av borrhuvudet finns även en hydraulisk "jog-motor". Huvudet roterar med en hastighet av 12,3 varv/minut.

Matningskraften som är 700 ton fås från tre hydraulcylindrar vilka även överför matnings- och vridmomentets reaktioner till den bakre fastspänningsenhten. Maximal matningskraft på 700 ton gör att varje skärrulle trycks mot berget med ca 25 ton. Slaglängden på matningscylindrarna är 1.5 meter, vilket således är borrcykelns längd. Maskinens arbetstryck är max 345 bar.

Den bakre fastspänningsenheten består av en ram i vilken matningscylindrarna, spänncylindrarna och stödbenen är monterade. Spänncylindrarna förankrar maskinens bakdel horisontellt mot berget med en kraft av 2100 ton. Stödbenen reglerar höjden när fastspänningsenheten flyttas fram vid omställningen av matningscylindrarna.

© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Styrning av maskinen sker horisontellt med hjälp av spänncylindrar i den bakre fastspänningsenheten.

Vertikal styrning sker med de främre spänncylindrarna som reglerar borrhuvudets höjd i förhållande till den ringformade glidskon.

Riktningskontroll sker via en laserstråle och två måltavlor som är monterade på själva maskinen. Tavlorna observeras med hjälp av två TV-kamror och en TV monitor vid manöverpanelen.

Maskinen har byggts i Olso vid Kvaerner Bruk. Efter att färdigmontage och funktionskontroll genomförts, demonterades maskinen för transport till arbetsplatsen.

För att minimera montagetiden på arbetsplatsen gällde det att inte plocka ned den i för små enheter. Totalt väger TBM:en ca 120 ton. TBM kroppen med en vikt på 71 ton transporterades på trailer med båt Drammen - Göteborg och sedan på E3:an till Stockholm. Borrhuvudet och övriga delar kunde transporteras med lastbilar direkt till arbetsplatsen. Trailern backades ned i tillfartstunneln till montageplatsen, där TBM:en sedan med hjälp av domkrafter kunde sänkas ned på det färdigställda spåret.

Montage av borrhuvudet och andra komponenter pågick under ca 10 dagar. Det hydrauliska och elektriska montaget tog sedan ytterligare tre veckor. Parallellt utfördes montage av bakriggen, som dock vad gäller utlastningsdelen inte kunde färdigmonteras förrän maskinen börjat vandra in mot fronten.

Eftersom tunneln hade sprängts ytterligare 500 meter från montageplatsen tog det 4 dagar innan maskinen nått fronten.

Vid inmarschen fick borrhuvudets tyngd appliceras på en liten vagn. Matningscylindrarna tryckte fram huvudet, efter full slaglängd sänktes borrhuvudet mot tunnelbotten och tjänade då som mothåll när matningscylindrarna reverserades och drog fram bakriggen. Vi fick även föra över vikten på bakdelen av TBM:en på en vagn. De rälsgående vagnarna garanterade riktningsstabiliteten.

Vid framkomsten till fronten kunde vagnen framför borrhuvudet sänkas ned i ett i förväg utsprängt utrymme. Tio meter framför fronten hade ett "startrör" gjutits för att samtliga grippers skulle ha en perfekt anläggningsyta. Borrningen kunde nu påbörjas.

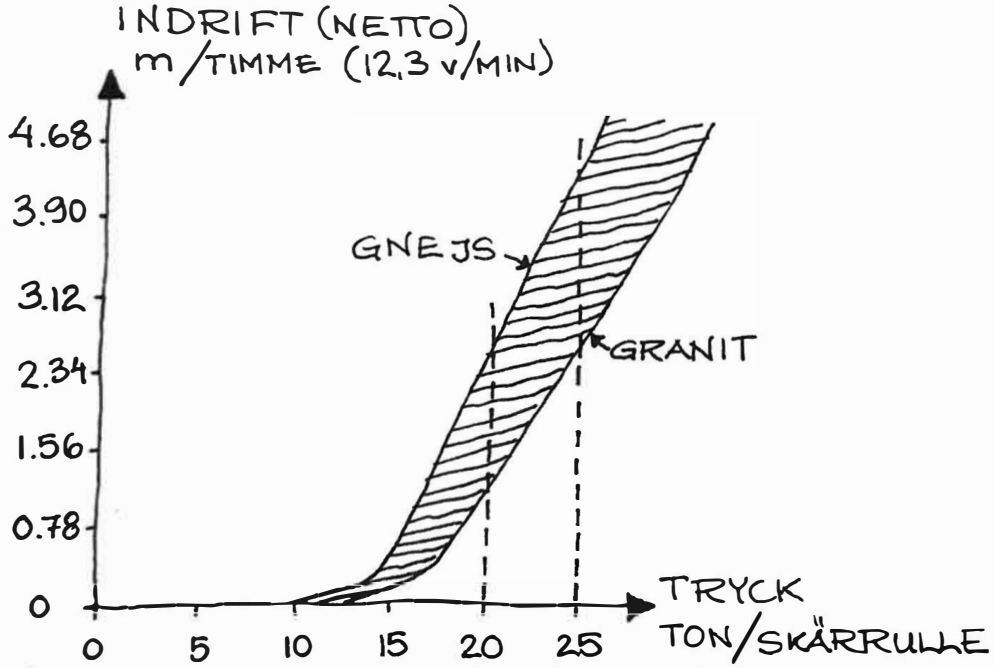
Inkörningsperioden har tagit längre tid än vad vi räknade med. Eftersom detta är första gången som denna typ av TBM arbetar, fanns inga erfarenheter om hur den beter sig när den arbetar med berget. Det finns ingen möjlighet att testa utrustningen på annan plats än i tunneln i full skala. Elsidan med sina styrsystem har fått kompletteras, vidare har det varit problem med styrningen av makinen såväl i vertikal- som horisontalled. Dessa problem har nu lösts.

© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Det är givetvis alldeles för tidigt att ge några driftdata kring maskinen efter endast 400 meters borrning.

Vi kan dock konstatera att maskinen går mycket stabilt utan vibrationer, och att miljön vid tunnelfronten är mycket bra, lite damm och lite buller. Problemen finns i form av tungt arbete inom trånga sektioner. Det är som att jobba i en ubåt.

Vad gäller nettoindriften i graniten så uppnås 1,5 till 2.5 meter per timma vid matarkraft 22 - 24 ton på skärrullarna. Stor variation i indriften har vi kunnat konstatera, detta beror på sprickbildningen, vissa partier är väldigt homogena. Det betyder att maskinen har goda förutsättningar att borra i mycket hårda bergarter.



Vad gäller sonderingsborrningen "som vi oroade oss mycket för i planeringsstadiet" kan vi konstatera att detta fungerar perfekt. Anslaget fungerar bra och borrlängder upp till 30 meter är inget problem att klara, även parallellkörningen med TBM borrningen klaras utan problem. Den skonsamma fullborrningen kommer att minska tätningsbehovet jämfört med konventionell sprängning.

Styckefallt på det utborrade materialet är en flisig 0 - 100, samkross. Materialet har för hög stenmjölshalt ca 15 - 20% för att kunna klassas som icke tjälfarligt.

Berggrunden i den hittillsa borrade sträckan har växlat mellan en grå granit (s.k. stockholmsgranit) och en medel- till grovkornig gnejs (ådergnejs) med enstaka amfibolitiska.

Hittills har ej heller några större vattenförande zoner passerats förutom en som ger ca 5 l/min.

© 1987 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Kartlägningen visar att många sprickor som uppfattats som genomgående i den sprängda tunneln är svåra att skönja i den borrade tunneln. Det betyder att många av de sprickor som kan observeras i den sprängda tunneln från början endast är sprickanvisningar.

Dessa sprickanvisningar som företrädesvis uppträder i gnejsen är ofta identiska med skiktningar i gnejsen (glimmerplanen).

Ju hårdare och homogenare berget är desto högra matningstryck erfordras för att få en fragmentering av berget. Gnejsen med sina inbyggda svaghetsplan ger därför stor hjälp att få fragmentering vid ett lägre matningstryck.

Bergets hållfasthet har hittills mätts i 5 punkter - 2 graniter, 2 gnejser och 1 amfibiolit.

Testerna är utförda dels som enaxiell tryckhållfasthet och point load test, dels Handewiths inträngningstest. Point load tester är utförda med fem prov på varje prov och är korrigerade med ett empiriskt index.

Den enaxiella tryckhållfastheten visar för granit 203 MPa mot 72 MPa för gnejsen medan point load testerna visar 173 MPa för gnejsen och 203 MPa för graniten. Vi tolkar point load testerna som mer representativa då de är utförda på flera prover.

Jag har med detta försökt beskriva var vi står i projektet "Saltsjötunneln" idag. Beslut har fattats om ett omfattande uppföljningsprojekt där BeFo, SBUF och SKB deltager och finansierar. Uppföljningsprojektet omfattar; drivningsdata, geologi, hydrogeologi och miljö. Detta kommer att ge en detaljerad information och kunskap kring "Fullborrning i hårda bergarter".