BeFo 220:4/89

Tunnelborrning i tätort Saltsjötunneln, Stockholm

4 Arbetsmiljö och omgivnings-påverkan

Tunnel boring in the city of Stockholm, the Saltsjö Tunnel

4 Working conditions and effects on the surface environment

Eric Karnelo, Industrieberatung

Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo
Swedish Rock Engineering Research Foundation
Stockholm 1989

TUNNELBORRNING I TÄTORT
SALTSJÖTUNNELN, STOCKHOLM

STYRGRUPP

Håkan Westerlund, STOSEB, ordförande
Sven-Erik Bergman, Atlas Copco
Göran Bäckblom, SKB
Tomas Franzén, BeFo
Ulf Ljungberg, STOSEB
Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult
Leif Tollerup, SIAB
Ivar Öhman, TYRÉNS
Tommy Flodin, STOSEB, projektkoordinator

PROJEKTGRUPPER

1 Ingenjörsgeologi	Torbjörn Hahn, Conswede, projektledare Mats Tenne, TYRÉNS
2 Vattenströmning i berggrunden	Lars Lundström, Hagconsult, projektledare Karin Rybäck, Hagconsult
3 Drivningsdata prognos och utfall	Nils-Olof Sundin, Högskolan i Luleå, projektledare Torgeir Blindheim, O T Blindheim Hans Janzon, Atlas Copco MCT Leif Tollerup, SIAB
4 Arbetsmiljö och omgivningspåverkan	Eric Karnelo, Industrieberatung
5 Sammanfattande huvudrapport	Torbjörn Hahn, Conswede Eric Karnelo, Industrieberatung Lars Lundström, Hagconsult Nils-Olof Sundin, Högskolan i Luleå Håkan Westerlund, STOSEB m fl Redigerad av Annica Nordmark och Bengt Steen

FÖRORD

I Solna kommun har man byggt ett värmepumpverk som utnyttjar värmen i avloppsvatten från Bromma reningsverk. Vattnet leds i en 5 km lång, sprängd tunnel till värmeverket där värmepumparna levererar upp till 120 MW till fjärrvärmenätet. Det kylda vattnet förs sedan via en 7,6 km lång tunnel från Solna till Saltsjön utanför Kastellholmen i Stockholm.

I stället för att driva utloppstunneln med borrning och sprängning valde man fullborrning, som särskilt i stadsmiljö kan innebära vissa fördelar jämfört med konventionell teknik. Bland annat kunde man driva hela tunneln från ett enda påslag i Solna och därmed slippa störande tunnelpåslag med åtföljande bergtransporter på Kungsholmen. Man bedömde också att borrningsalternativet skulle ge mindre störningar i form av buller och vibrationer och att det skulle vara lättare att åstadkomma en tät tunnel och därmed minska riskerna för skadliga grundvattensänkningar. Vidare ansåg man att arbetsmiljöfrågorna skulle få en "puff" framåt genom att fullborrningstekniken erbjuder vissa nya möjligheter.

Saltsjötunneln är det första större fullborrningsprojekt som har genomförts i hårt berg i stadsmiljö och det var därför intressant att noga följa arbetet ur flera olika synvinklar. Inom ramen för BeFos forskningsprogram och i samverkan med berörda företag organiserades därför ett forskningsprojekt med uppgift att följa upp ingenjörsgeologi, hydrogeologi och drivningsdata samt miljöaspekter, såväl arbetsmiljön i tunneln som inverkan på omgivningen. Kompletterande finansiering erhölls också genom SBUF (Byggbranschens utvecklingsfond) och SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB).

Forskningsprojektet har genomförts med tonvikt på jämförelsen mellan TBM-tekniken och konventionell borrning och sprängning. En av BeFos programstyrelse utsedd styrgrupp har lett arbetet som genomförts i form av delprojekt. Utöver delrapporter från dessa har de viktigaste resultaten och diskussionerna sammanfattats i rapporten "Tunnelborrning i tätort - Saltsjötunneln, Stockholm. Sammanfattande huvudrapport".

Därtill har ett särskilt seminarium hållits med syfte att redogöra för projektet och diskutera fullborrningsteknikens möjligheter i kommande tunnelarbeten i hårt berg i Sverige och utomlands.

Till alla som på olika sätt aktivt bidragit till projektets genomförande vill vi rikta ett varmt tack.

Håkan Westerlund
Ordförande i styrgruppen

Tomas Franzén
Forskningsdirektör BeFo

SALTSJÖTUNNELN. EN MILJÖSTUDIE *SID*

1.	SAMMANFATTNING	1
2.	BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING	3
3.	VIKTIGA UTRUSTNINGSKOMPONENTER FÖR MILJÖN	5
4.	ARBETSORGANISATION	13
5.	MILJÖN PÅ ARBETSPLATSEN	17
5.1	Arbetsskador	17
1.1	Fallande sten	17
1.2	Klämskador	17
1.3	Halkrisk	17
1.4	Trafik	18
1.5	Brand, explosion	18
1.6	Elolycksfall	19
5.2	Arbetshygieniska faktorer (hälsorisker)	19
2.1	Gaser	19
2.2	Damm	19
2.3	Buller	22
2.4	Vibrationer	22
2.5	Oljedimma	23
2.6	Klimat	23
5.3	Arbetsbelastning (ergonomi)	25
3.1	Operatörens arbetsplats	25
3.2	Sonderingsborrning	28
3.3	Rälsläggning	28
3.4	Skärbyte	29
3.5	Belysning	30
5.4	Psykosociala synpunkter	30
4.1	Arbetarnas bakgrund	31
4.2	Uppfattning av risker	31
4.3	Prioritering av miljöproblem	35
4.4	Positivt vid TBM resp. D&B	36
4.5	Synpunkter på organisationen	36
4.6	Förbättringsförslag på TBM-metoden	36
4.7	Föredra TBM i fortsättningen?	37
6.	EXTERN MILJÖ (OVANFÖR TUNNELN)	39
6.1	Organisationens betydelse	39
6.2	Störningar från tunnelborrningen	39
6.3	Psykologiska faktorer - Informationens betydelse	49
6.4	Grundförhållandenas betydelse	49
7.	SAMMANFATTANDE SLUTSATSER	51
	SUMMARY	56
8.	REFERENSER	57
	BILDFÖRTECKNING	59
	BILAGOR	61

1. *SAMMANFATTNING*

Föreliggande delrapport utgör en beskrivning och analys av olika studier och mätningar som gjorts under drivningens gång både på arbetsplatsen (i tunneln) och i den ovanförliggande bebyggelsen.

Saltsjötunneln drevs under stadsmiljö, vilket ställde stora krav på att undvika inläckning av vatten och sänkning av grundvattennivån under drivningsstadiet. För att klara detta utfördes sonderingsborrning framför maskinen och vid behov förinjektering för att täta berget. Maskinen var därför försedd med en särskild utrustning för att kunna borra ca 20 m långa sonderingshål framför fronten utan att därvid störa den normala drivningen. Utrustningen har tekniskt fungerat bra, men samtidigt inneburit att det blivit trångt att utföra vissa arbetsmoment och att bullernivån blivit högre än normalt vid TBM-drivning.

Berget i Stockholmsområdet är gnejs/granit med hög kvartshalt, vilket kräver en god ventilation och dammbekämpning. Det har visat sig svårt att klara de hygieniska gränsvärdena för finkornigt kvartsdamm. Dammavskiljaren kräver en noggrann och kontinuerlig skötsel för att fungera tillfredsställande.

Störningar av ovanförliggande bebyggelse har följts upp under arbetets gång. Man har funnit att då hus grundlagts direkt på berg måste man räkna med störningar från borrningen för de boende under en begränsad tid. Man kan då bli tvungen att undvika nattarbete. En bra förinformation till de boende är viktig och har visat sig betydligt öka deras förståelse och tolerans för störningarna.

För att få en uppfattning om arbetarnas acceptans av TBM-drivningen jämfört med konventionell drivning (borrning och sprängning) har de vid personliga samtal (en och en) ombetts

svara på ett antal frågor. Det allmänna intrycket var att man föredrog TBM-drivning, men att man önskade vissa förbättringar av metoden.

Den arbetsorganisation som användes - med långa arbetsskift men i stället möjlighet till lång sammanhängande ledighet med jämna mellanrum - har uppskattats, speciellt av de arbetare som har sitt hem på annan ort.

Rapporten har utarbetats av Eric Karnelo med hjälp av platschefen vid tunneln, Hans Törnros, SIAB, och hans medhjälpare, Robert Hillbom. Den slutliga redigeringen är utförd av BeFo.

2. BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING

En av orsakerna till att man valde att driva Saltsjötunneln med en tunnelborrningsmaskin (TBM) var att man med ledning av erfarenheter från Mellaneuropa och Norge ansåg att man skulle få en metod som gav mindre påverkan på den yttre miljön och dessutom skulle ge en bättre miljö för arbetarna i tunneln.

Då man driver tunnlar i stadsförhållanden har man stora krav på att inte negativt påverka bebyggelsen ovanför t ex genom att sänka grundvattennivån, skada hus och känslig utrustning p g a vibrationer och störa de boende med buller.

De flesta TBM-tunnlar som drivits tidigare i Mellaneuropa och Norge har legat långt utanför tättbebyggda samhällen och man har kunnat konstruera maskinerna och organisera arbetet helt med tanke på att få maximalt utnyttjande och en hög drivningshastighet.

Bergarterna är där också oftast betydligt lösare än den gnejs/granit som finns i Stockholm. Inverkan på omgivningen från borrningen blir större när man måste bearbeta berget med maximalt möjligt matningstryck för att få ekonomisk avverkning.

I områden med höga krav på att minimera inverkan från vibrationer har man också i Mellaneuropa i många fall kunnat ersätta sprängning av tunnlarna med fräsande bergfragmentering (Roadheaders - Bomfräsmaskiner). Den möjligheten finns ännu inte i Stockholmsområdet då fräsning inte på lång tid är möjlig i gnejs/granitliknande bergarter.

Målsättningen för denna miljöstudie har därför varit att försöka svara på frågan om tunnelborrning med TBM från miljösynpunkt är att föredra framför sprängda tunnlar.

Detta skall då belysas ur kommunal synvinkel för drivning av tunnlar inom tättbebyggda områden.

Studien är i stor utsträckning baserad på observationer och mätningar som gjorts av olika organisationer och konsultfirmor under arbetets gång. I förekommande fall hänvisas till den bifogade referenslistan med ett nummer inom parentes, exempelvis (1).

Egna observationer och samtal med arbetare, arbetsledare och maskinleverantör kompletterar dessa undersökningar.

3. VIKTIGA UTRUSTNINGSKOMPONENTER FÖR MILJÖN

En beskrivning av projektet och tunnelborrningsmaskinen med tekniska data finns i Bilaga 1. Vissa faktorer är emellertid speciellt viktiga för miljön och kommer här att beskrivas särskilt.

Då man driver tunnlar i stadsliknande förhållanden har man stora krav på att bebyggelsen och miljön för de boende ovanför tunneln inte påverkas negativt. En sänkning av grundvattennivån kan t ex skada husen och brunnar kan torrläggas.

En förutsättning är därför att tunneln görs praktiskt taget tät för att förhindra inläckning redan under drivning. Den enda möjligheten att klara detta är att sonderingsborra framför tunnelgaveln och vid förekomst av vattenförande zoner förinjektera.

Det här kravet är svårt att lösa tekniskt på ett praktiskt sätt i samband med en TBM. Maskinens borrhuvud täcker hela ortgaveln och maskinkonstruktionen och bakutrustningen fyller upp en stor del av tunnelarean.

Om man skulle vara tvungen att avbryta tunnelborrningen och föra fram speciell utrustning för sonderingsborrningen med jämna mellanrum skulle utnyttjandet av den dyra tunnelutrustningen bli alldeles för låg.

På den maskin som användes i Saltsjö-projektet har man därför gjort en lång fackverksliknande konstruktion (brygga) mellan den egentliga borrmaskinen och bakriggen. På den finns en anordning med två borrarmar med hydrauliska borrmaskiner för långhålsborrning av hål ca 20 m framför ortgaveln med någon stickning utåt i solfjäderform runt maskinens borrhuvud.

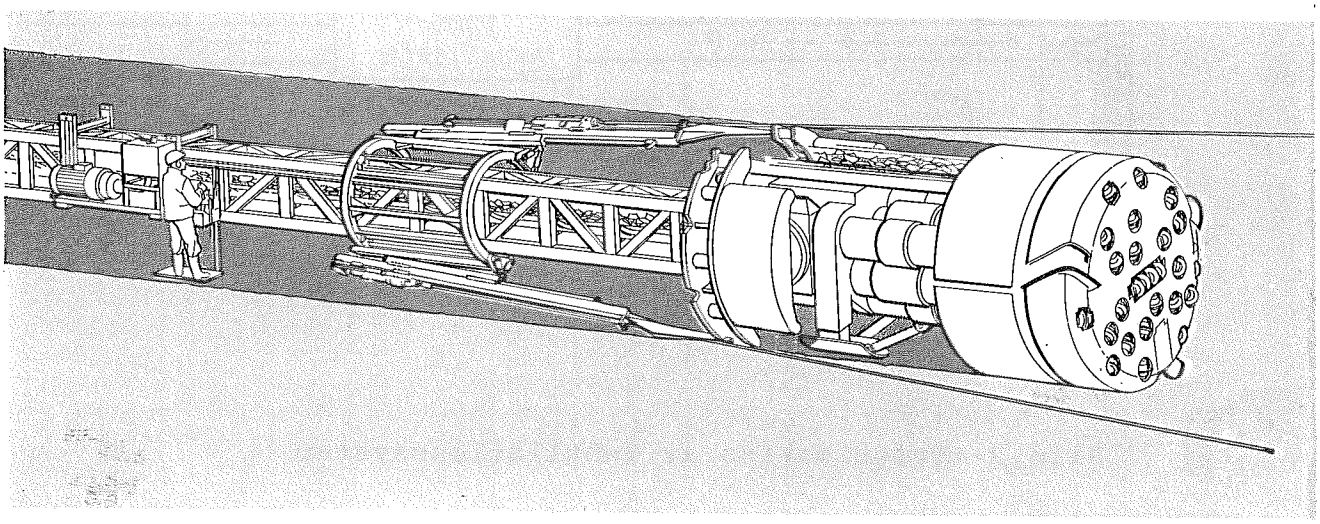

Bild 1 Utrustning för sonderings- och injekteringsborrning (PDH-aggregatet).

Den här utrustningen, kallad Probe-Drill-Hole (PDH) aggregat, kan röra sig utmed "bryggan" oavhängigt av tunnelborrningsmaskinens rörelse och man kan därför utföra sonderingsborrningen utan att störa drivningen. Vid större förinjekteringar måste emellertid maskinen stoppas för att låta injekteringsbruket härda.

En viktig faktor för miljön är ventilationen och hur man kan bekämpa dammbildningen. Vid TBM-drivning har på senare år utvecklats en standard som i de flesta fall varit tillfredsställande. Det innebär att man blåser in frisk luft till maskinen och suger ut luft och damm framför skärhuvudet. Den dammiga luften därifrån renas i någon typ av dammavskiljare till en så hög reningsgrad att den kan blåsas ut i tunneln bakom maskinen.

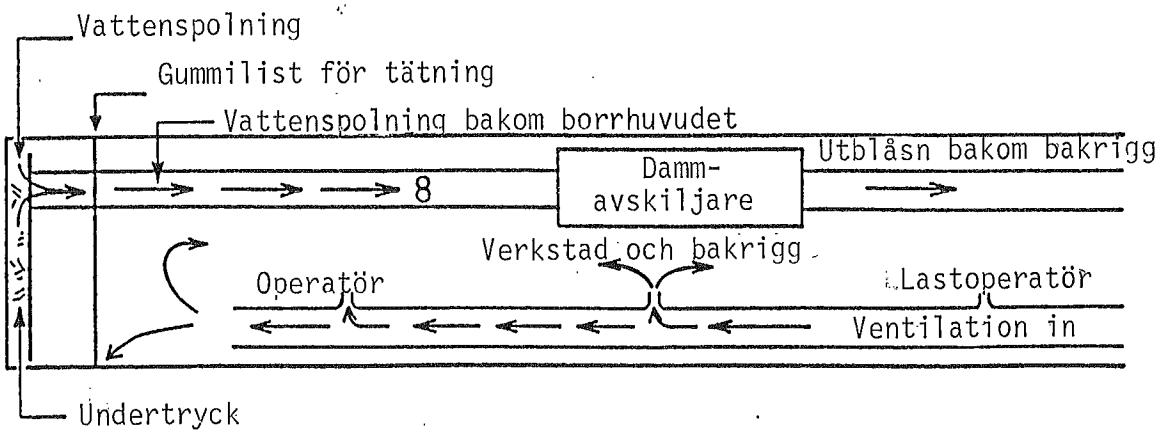

Bild 2 Principskiss av ventilationssystem.

Vid Saltsjötunneln används en fläkt typ Secoroc AB AMF och med två 37 kW-motorer. Det ger ett teoretiskt luftflöde av 55 000 m^3/h. Luften förs i en ventilationstub med diameter 1 000 mm ned till sektionen där den maskinborrade delen börjar, varefter den förminskas till diameter 800 mm längs hela den borrade tunneln.

Dammavskiljaren är av torrfiltertyp, s k turbofilter, där dammet samlas i mer eller mindre torrt tillstånd på ett antal vertikala filter. Dessa renas med jämna mellanrum med luftstötar som får dammet att ramla ned och föras bort på en utmatningsanordning.

Riktigt fungerande kan en sådan anläggning rena luften med en effekt av 99,9 %, varför det inte skall innebära något problem att blåsa ut luften i tunneln efter reningen. För att klara att få in tillräckligt med ventilationsluft när tunneln kommit långt in har man installerat en hjälpfläkt vid sektion 1100 m med en effekt av 37 kW.

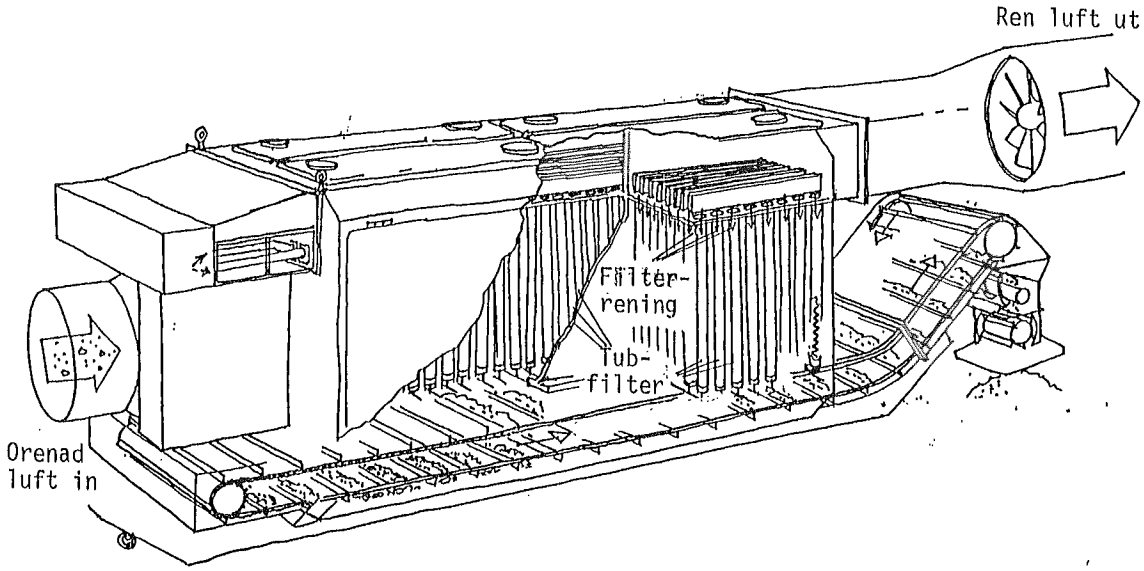

Bild 3 Principskiss av "scrubber".

Pålastningen av uttransportvagnarna övervakas och styrs av en man som sitter vid sidan av bakriggens slutände. Operatören kan också kontrollera överlastningen med hjälp av en TV-skärm. Det finns också en signal för stopp av bandet om det skulle behöva stoppas snabbt.

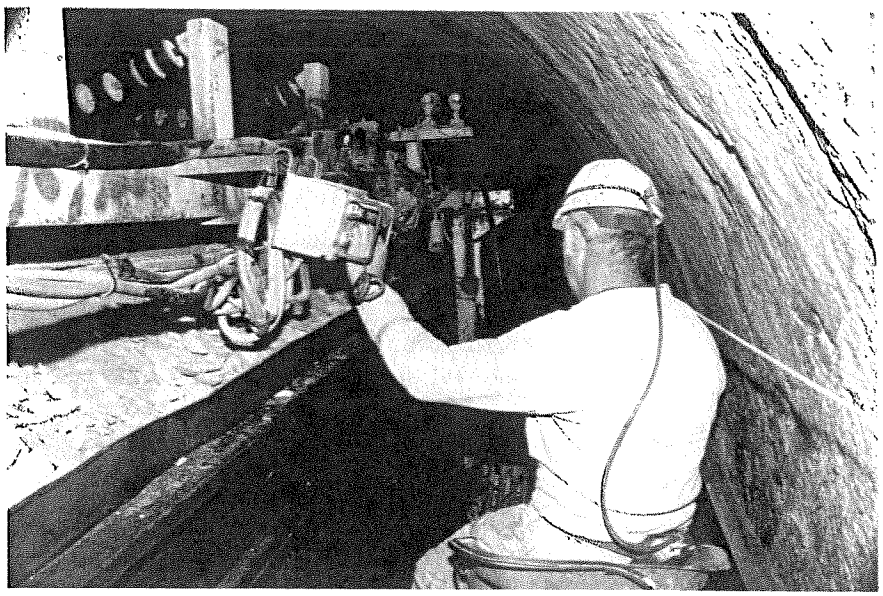

Bild 4 Pålastning av vagnar.

Rälsläggningen sker med förtillverkade rälselement av 10-11 m längd som körs in i tunneln från den underjordiska verkstaden, där de byggs ihop och transporteras in på en speciell tillverkad vagn. De läggs i området vid "bryggan" mellan maskin och bakrigg direkt på tunnelbotten på stålsyllar som anpassats till den runda tunnelformen.

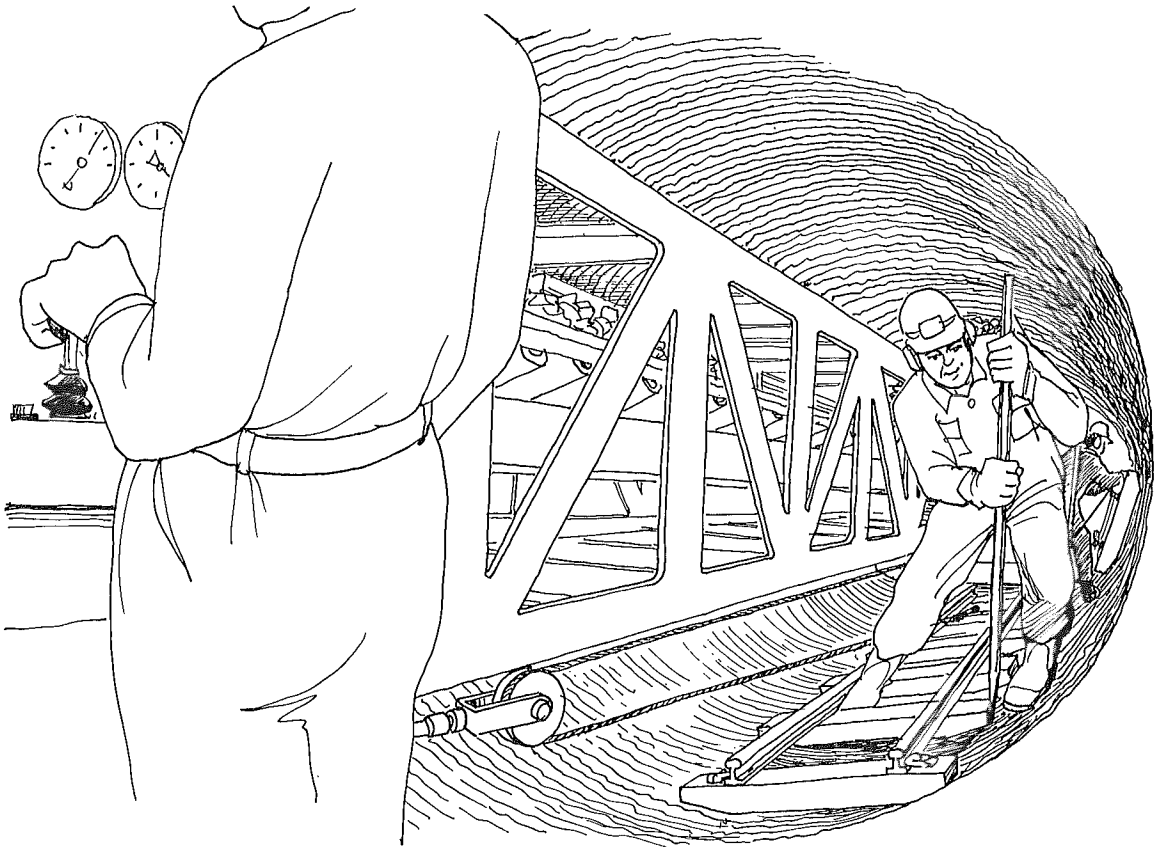

Bild 5 Rälsläggning.

Borrhuvudet är bestyckat med 27 st ståldiskförsedda skärverktyg (cutters). De har en diskdiameter av 16 1/4" och väger 127 kg per styck. I centrum används två dubbla diskcutters 15 1/2" som väger 200 kg vardera.

Skärrullarna byts då diskarna slitits till en viss grad (ca 50 %) eller då de av någon annan anledning inte fungerar, t ex vid lagerhaveri. I slutet av varje skift kontrolleras om något skär måste bytas. Man byter i genomsnitt ca 1 skär per 7-10 m tunnel (10 % av totaltiden).

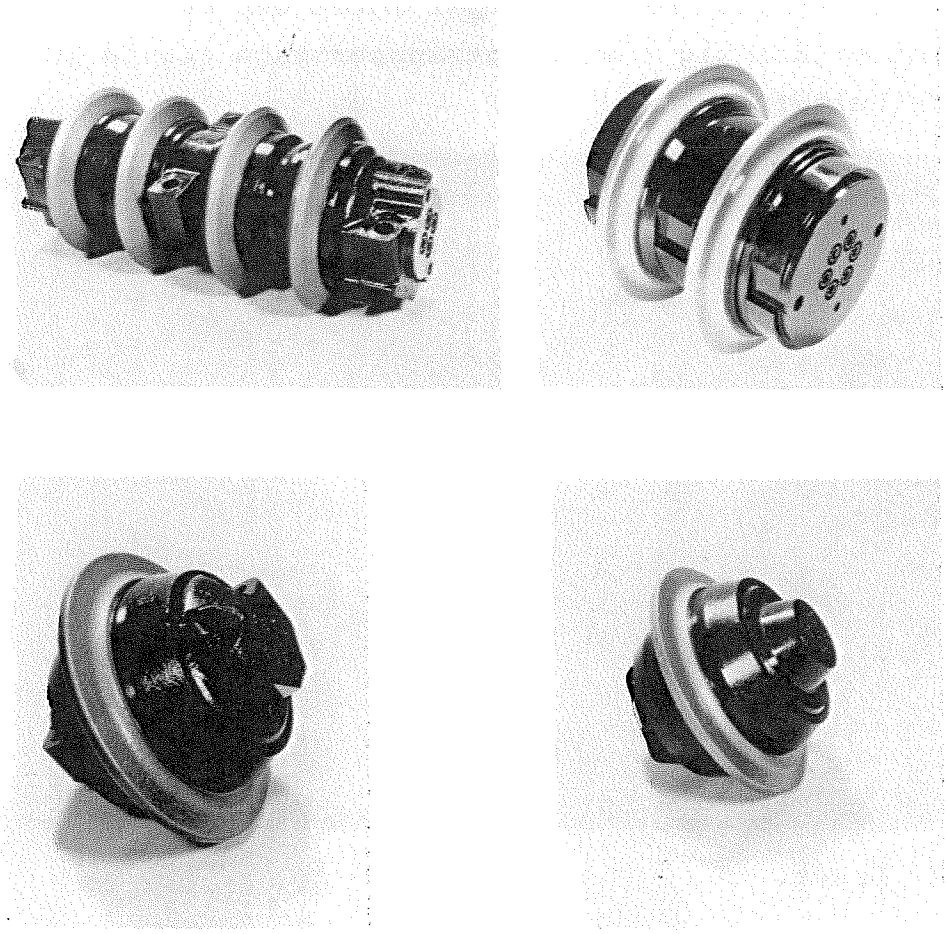

Bild 6 Skärrullar (cutters).

Uttransport av berg sker med spårbundna vagnar som dras av ett diesellok typ Schöna CFL-180 DCL. Spårvidden är 750 mm. Varje vagn, av sidtippande Mühlhausertyp (CERN), rymmer 8,7 m^3. Ett fullt tågsätt innehåller 10 vagnar. För att öka utnyttjningstiden för borrningen kör man ut och tömmer ett antal vagnar medan de kvarvarande fylls för att slutligen få ihop till ett helt sätt att köra ut. Ett slag om 1,5 m fyller i regel 3 vagnar.

Dieselloket har så stor plats i förarhytten att det även kan användas för viss persontransport. All personal måste åka in och ut med tåget, då det skulle vara livsfarligt att gå i tunneln och möta ett tågsätt.

För persontransport vid skiftbyten har tillverkats en speciell vagn liknande den typ som finns i kolgruvor. Den används emellertid sällan. Man utnyttjar loket och om det inte räcker till sätter man sig i en bergtransportvagn som då inte lastats helt full.

Bild 7 Loket.

Bild 8 Män i bergvagn.

4. *ARBETSORGANISATION*

Att montera ett helt system för fullborrning av en tunnel kräver mycket förberedelsearbete och en särskild monteringshall för att få ihop alla olika komponenter. Detta medför att man vill driva en så lång tunnel som möjligt från ett påslag.

Saltsjötunnelns längd, 7 500 m, är ganska optimal. Vid den längden klarar man fortfarande uttransporten av berget med enkelspår och ventilationen är kontrollerbar.

Genom att klara sig med endast ett påslag kunde man spara in två påslag med uttransport av berg som hade blivit nödvändiga om man valt att borra och spränga. En på Kungsholmen och en på Kastellholmen. Eftersom tunneln går på stort djup (~60 m) hade det dessutom blivit långa tillfartsorter.

Tunnelborrningen innebär alltså väsentlig förbättring när det gäller miljön för dem som bor i dessa områden. De hade annars haft att räkna med betydande störningar under lång tid.

Investeringskostnaden för ett TBM-system är hög och man vill därför utnyttja det så lång tid som möjligt av dygnets timmar. I Saltsjö-projektet har man valt att använda två långa skift per dygn och ha ett tredje skiftlag som kan vara ledigt en helt vecka. Det här systemet, som började användas på oljeborrplattformarna och därför ibland kallas Nordsjöorganisation, har på senare år använts på praktiskt taget alla TBM-projekt i Norge och Mellaneuropa.

En fördel med systemet är att den personal som inte bor på orten kan få en lång sammanhängande ledighet ganska ofta för att åka hem till familjen eller, som en arbetare berättade, åka till Spanien en vecka för att bada och vila upp sig.

I Mellaneuropa kör man dygnet runt med två 12-timmars skift. I Saltsjötunneln har man fått dispens att använda 10-timmars pass. Första skiftet 06.00-16.00, andra skiftet 16.00-02.00. De 4 timmar som "blir över" av dygnet kan ofta behöva användas för olika service- och reparationsarbeten.

Ett skiftlag består som regel av
1 operatör
1 elektriker, hjälpare
1 vagnslastare
1 lokförare
2 rälsläggare sonderingsborrning
1 injekterare
Dvs totalt ca 7 personer

För att undvika monotoni och ensidig belastning förekommer rotation inom arbetslaget så att man kan hoppa in och hjälpa till där det behövs. Naturligtvis specialiserar man sig på vissa uppgifter. Injekteringsarbetet t ex utförs av en specialist från en underleverantör.

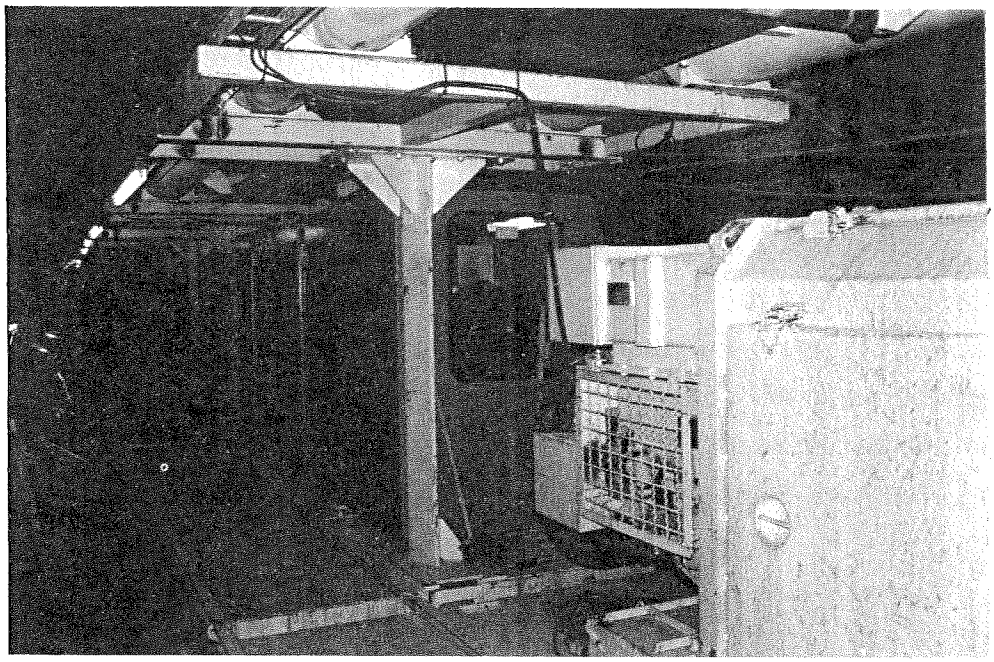

Bild 9 Foto rastkoja (exteriör).

För att hjälpa till med service och underhåll, framför allt av hydraulisk utrustning finns på varje skift också en serviceman från leverantören.

Bild 10 Foto rastkoja (interiör).

Man åker inte ut ur tunneln för rast. På borrmaskinens bakrigg finns en "rastkoja" där man kan hålla mat varm och koka kaffe.

Här finns också en telefon som är ansluten till det normala telefonnätet så att man snabbt och lätt kan få kontakt med yttervärlden. En viktig faktor för säkerheten och det psykiska välbefinnandet när man arbetar på en arbetsplats långt inne i berget och med endast en utgång.

5. *MILJÖN PÅ ARBETSPLATSEN (I TUNNELN)*

5.1 ARBETSSKADOR

5.1.1 Fallande sten

Under projektets gång har mycket få skador inträffat. Genom att berget fragmenteras på ett skonsamt sätt och det mycket sällan krävs någon egentlig skrotning av taket är risken för fallande sten betydligt mindre än i sprängda tunnlar. Man befinner sig också ganska ofta skyddad under någon form av takkonstruktion, vilket minskar risken ytterligare.

I andra bergförhållanden än stockholmsk gnejs/granit kan det däremot vara befogat med större uppmärksamhet på fallande sten så att man inte invaggas i en falsk säkerhetskänsla. Det gäller framför allt när man går framför maskinens borrhuvud, där det kan vara risk för stenfall från tunnelgaveln.

5.1.2 Klämskador

Risk för klämskador finns alltid, speciellt när man måste arbeta med tunga saker i trånga och svåra lägen, exempelvis vid skärbyte, rälsläggning eller reparation.

Det har emellertid inte inträffat många tillbud eller skador som föranlett anmälan. Den svåraste är en klämd hand vid rivning av en av mätdammarna som byggts för kontroll av vatteninläckningen i tunneln, vilket ej TBM-metoden kan lastas för.

5.1.3 Halkrisk

Genom att tunneln är rund blir det besvärligt att ta sig fram så snart man måste lämna de gångbanor som finns på maskin och bakrigg. Risken att halka eller snubbla måste alltså bedömas som ganska stor eftersom även gångbanorna kan vara hala av

olja och fett. Även här har man emellertid varit förskonad från skador.

5.1.4 Trafik

Transporten av berg och material sker spårbunden och om alla iakttar förbudet att inte gå i tunneln minskar risken för fordonsolyckor.

Den stora risken är vad som kan hända vid urspårningar. Tunnelriktningen har inte alltid kunnat hållas, inte heller i vertikalled och tåget måste därför ibland passera ganska långa sträckor där vattnet går över rälsen. Det är svårt att hålla efter sådana "insjöar" och det ökar risken för urspårning.

Att få upp urspårade vagnar eller lok på rälsen är ett riskfyllt arbete, vid vilket man också måste arbeta i besvärliga arbetsställningar.

Ett trafikolycksfall som inträffat bedömdes som ganska lindrigt men resulterade i en mycket lång sjukskrivning. Vid hopkoppling av vagnar vid uttransportanordningen råkade lokföraren missa avståndet och fick en kraftig stöt som gav en reaktion på nackpartiet.

5.1.5 Brand, explosion

I ett TBM-system finns ganska mycket brännbart material i form av gummiband, elkablar, oljor osv. Det är därför viktigt att man har förberett med eldsläckningsmaterial och instruerat hur man skall reagera när något fattat eld.

I Saltsjötunnelprojektet behövde man inte räkna med den explosionsrisk som förekommer i kolgruvor där en ganska liten explosion av utströmmande metangas kan starta en brand som helt ödelägger en TBM.

Något tillbud eller någon olycka av detta slag har inte rapporterats i Saltsjötunneln.

5.1.6 El-olycksfall

På ett TBM-system finns omfattande elektrisk utrustning, vilket medför risker för olycksfall. Bästa sättet att undvika olycksfall är att endast tillåta väl utbildad personal att utföra arbeten i det elektriska systemet.

5.2 ARBETSHYGIENISKA FAKTORER (HÄLSORISKER)

5.2.1 Gaser

Den stora förbättringen i förhållande till borrning och sprängning är att man helt eliminerat spränggaserna.

Vid de mätningar som gjordes av Bygghälsans ingenjörer i början av drivningen visades att man hade svårt att komma under gränsvärdena för både kolmonoxid och spränggaser (NO och NO_2) i den sprängda tunneldelen.

Med TBM-metoden har man helt eliminerat spränggaserna. Halten av fordonsgaser kan hållas inom gränsvärdena p g a de höga ventilationskrav som man har för att klara dammet och klimatet (värmen) framme vid arbetsplatsen. Man har också mätt mängden radongas i luften. Den ligger klart under det hygieniska gränsvärdet.

5.2.2 Damm

Damm uppstår först och främst framme vid ortgaveln då berget fragmenteras av skärrullarna, men också vid den vidare transporten och överföringen av berget på banden och till transportvagnarna.

Man försöker att minska dammalstringen genom att spruta vatten framför skärhuvudet och vid kritiska punkter, framför allt vid överlastningsställen. Det går emellertid inte att använda för mycket vatten då detta ger problem med att det ganska finkrossade berget klibbar fast i reningsfilter, på transportbandens omlänkrullar och i transportvagnarnas botten. Den rätta vattendoseringen blir därför en svår avvägning.

Om man lyckas hålla dammavskiljarens turbofilter i gott skick och är noga med tillsynen av de olika dammkällorna, kan man ventilera bort det damm som trots allt finns kvar. I vissa lägen då den inblåsande ventilationstuben ligger långt bak innan den skarvas kan det dock vara svårt att klara dammet.

Berget i Saltsjötunneln innehåller ganska mycket kvarts och även om man kan begränsa den totala dammängden till rimliga värden kan man få för hög halt respirabelt kvartsdamm. Dr.ing Tom Myran (7) vid Norges Tekniska Högskola i Trondheim har illustrerat detta i ett diagram.

Berget, gnejs/granit, innehåller ca 40 % kvarts och som synes av diagrammet Bild 11 är det inte mycket damm som kan tillåtas förrän man överskrider gränsvärdena.

De mätningar som utförts av Bygghälsan på uppdrag av SIAB har också bekräftat att problemet är svårt att lösa helt tillfredsställande. Mätresultaten har vid samtliga mätningstillfällen visat att någon arbetare i skiftlaget har värden som ligger över gränsvärdet (Bilaga 2).

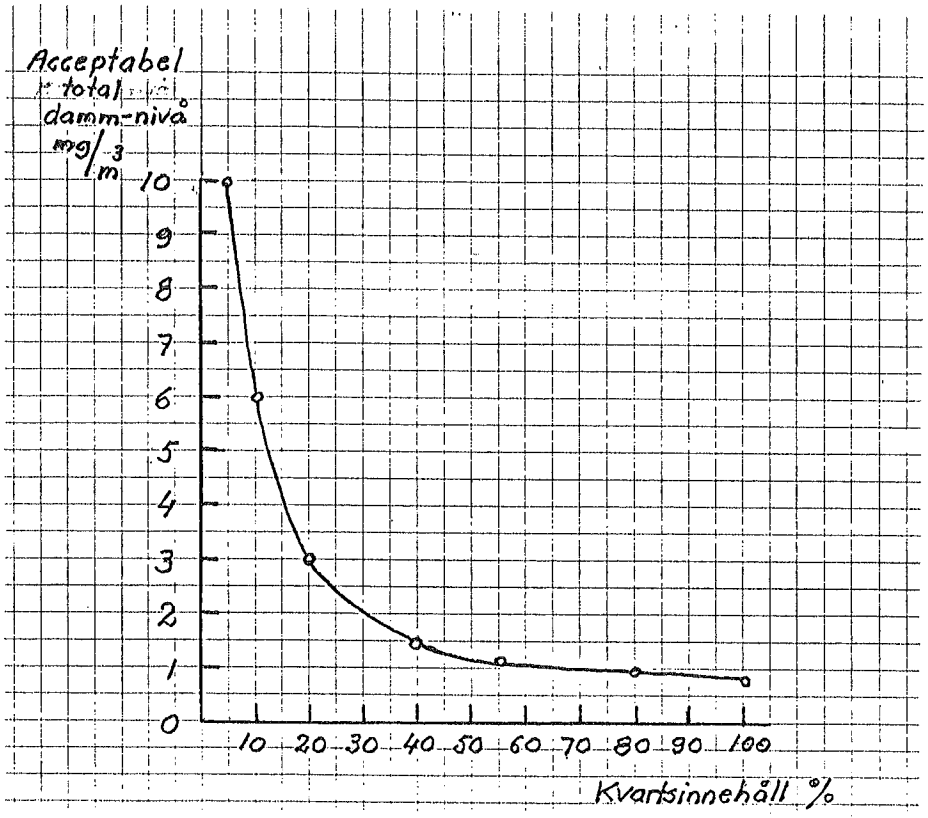

Bild 11 Gränsvärdet enligt norska bestämmelser för acceptabel dammnivå (totalt damm) vid olika kvartsinnehåll. I Norge överskrids ofta gränsvärdet för damm vid TBM tunneldrivningar enligt Tom Myran (7). Hur mycket kvarts som finns i berget är som synes av diagrammet helt avgörande för hur mycket damm som kan tolereras. I gnejs/granit är kvartsinnehållet ofta ca 40-50%, vilket innebär att gränsvärdet ligger omkring eller under 1 mg/m^3.

Ref.nr	Datum	Totalt damm 10 mg gräns	Resp. damm 5 mg gräns	Kvarts 0,10 mg gräns	Anm.
1	3.4.86	2,5- 8,1	-	0,06-0,09	Sprängn.
2	10.10.86	2,2-19,5	1,6-6,5	0,11-0,40	"
2	17.2.87	4,0-13,0	0,3-1,5	0,04-0,27	TBM
2	2.3.87	0,8-1,6	0,1-0,9	0,02-0,13	"
3	10.7.87	-	-	0,07-0,21	"
4	9.12.87	-	-	0,06-0,26	"
5	8.6.88	-	-	0,12-1,04	"

5.2.3 Buller

Man skulle kunna tro att bullernivån på en TBM är betydligt lägre än vid borrning för sprängning. Det finns emellertid många källor till buller. I första hand ger bergfragmenteringen ett buller när berget bryts loss av skärrullarna. Ju hårdare berg, desto högre blir bullret. Det är främst detta ljud som vidarebefordras i berget till omgivningen och bebyggelsen ovan jord.

Berget i Saltsjötunneln är betydligt hårdare än vad som är vanligt i Mellaneuropa och det kan förklara varför man fått lite större reaktion från boende ovanför Saltsjötunneln än vad som är vanligt förekommande. Mer om detta under rubriken "Extern miljö".

På maskinen finns också andra bullerkällor, främst hydraulaggregatets pumpar.

I Saltsjö-tunneln görs systematisk sonderingsborrning med hammarborrmaskiner och därifrån får man räkna med ungefär samma bullerpåverkan som från spränghålsborrning.

Den jämförande miljöstudien av Brännström och Quant (2) visar i det närmaste samma bullerförhållanden vid TBM-borrning som vid sprängning, naturligtvis främst för dem som håller på med sonderingsborrningar. Se utdrag ur deras rapport. I manöverhytten på TBM var bullernivån 90 dB(A), vilket fortfarande är något för mycket eftersom en nivå över 85 dB(A) medför risk för hörselskada under längre tids exponering.

5.2.4 Vibrationer

Det största problemet med vibrationer på tunnelborrningsmaskinen har man kunnat eliminera genom att manöverhytten är placerad på bakriggen. På system där man placerat den på själva maskinen kan man få vibrationer som kan bli mycket

besvärande för operatören om han tvingas sitta stilla länge på samma arbetsplats.

Arbetsorganisationen i det här projektet hjälper också till att minska sådana eventuella problem.

5.2.5 Oljedimma

Med de hydrauliska hammarborrmaskinernas införande har problemet med oljedimma i stort sett upphört vid sprängborrning.

Vid TBM hade man kanske förväntat sig ännu mindre risk för oljedimma men den enda mätning som finns registrerad (2) visade att halten oljedimma var något högre än vid sprängning. Halterna låg dock under gränsvärdet för båda metoderna.

5.2.6 Klimat

Problem med varm och fuktig luft vid TBM-borrning är känt från utlandet, där man antingen arbetar med hög övertäckning (Alperna) eller på stora djup (kolgruvor). I svenska förhållanden är problemen därför mycket mindre.

Den första klimatmätning som gjordes i Saltsjötunneln i oktober 1986 vid sprängning visade att temperaturen var ungefär lika inne i tunneln och utanför ca +12°C (2).

Vid TBM-borrning gjordes mätningen i februari 1987 och i början av mars och då uppmättes +20°C i rastkojan trots att utomhustemperaturen inte var högre än -3°C (2).

En ny mätning utfördes under sommarförhållanden i juni 1988. Tunneln hade då nått 5 200 m. (Mätresultaten framgår av Bilaga 3 och 4.)

Man hade då som väntat betydligt högre temperaturer på arbetsplatsen. Ingen uppgift finns om utetemperaturen.

På de arbetsplatser där arbetaren sitter stilla, i manöverhytt och vid påfyllning av vagnar, var förhållandena ganska behagliga, ca 20°C torr resp. 18°C våt temperatur. Luftfuktigheten var något hög, 70 resp. 89 %.

Den lägre temperaturen vid påfyllningen av vagnar beror på att den renade luften från dammavskiljningen blåser ut bakåt. Visst problem har rapporterats att draget upplevs som lite obehagligt. En lägre temperatur där vore därför inte lämplig.

Den högsta temperatur vid vilken man är tvungen att utföra arbete (ett tungt sådant dessutom) är framför skärhuvudet vid byte av skärrullar (cutters). Måste man byta direkt efter avslutad borrning är lufttemperaturen där mycket hög (inget mätvärde tillgängligt) och rullarna så heta att man inte kan ta på dem med bar hand.

Bild 12 Män framför borrhuvudet.

5.3 ARBETSBELASTNING (ERGONOMI)

5.3.1 Operatörens arbetsplats

Det är en ganska liten diameter på tunneln (3,5 m) och hytten har utformats så att man sitter på tvären och övervakar instrumenten samtidigt som man skall hålla uppsikt framåt mot framför allt TV-monitorn, som anger drivningsriktningen.

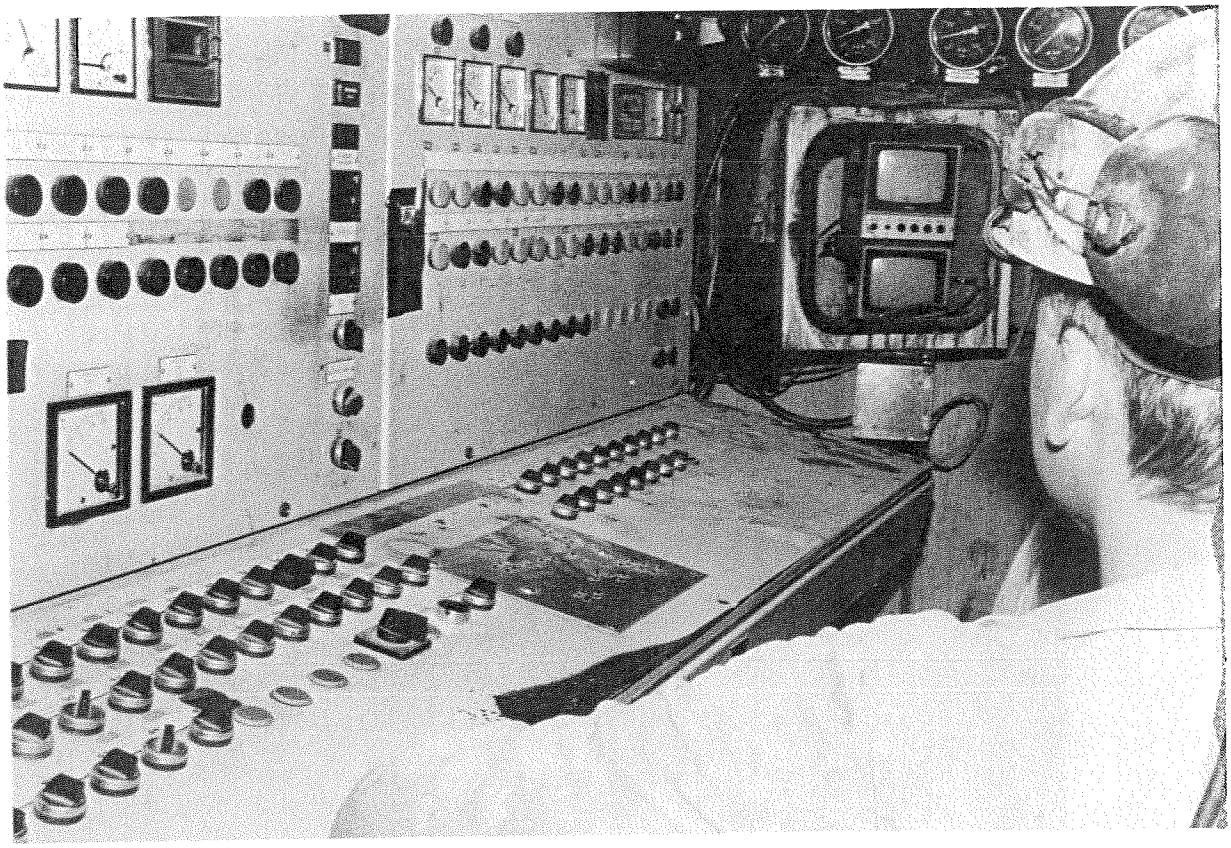

Bild 13 Operatörens arbetsplats.

I det första utförandet satt man dessutom på en hög bänk där man inte ens nådde ned att stödja fötterna.

Under arbetets gång har man gjort förbättringar. Det finns nu en ordentlig sits av den typ som normalt finns på arbetsmaskiner (grävskopa, lastare osv). Operatören kan svänga stolen vid observation i olika riktningar. Man har dämpat

belysningen genom att helt enkelt måla lite färg på de lysrör som sitter ovanför manöverpanelen. Det är då lättare att läsa av instrumenten.

I operatörens uppgift ingår att reglera matningskraften så optimalt som möjligt i förhållande till de varierande berg-förhållandena. Det kräver en ständig passning.

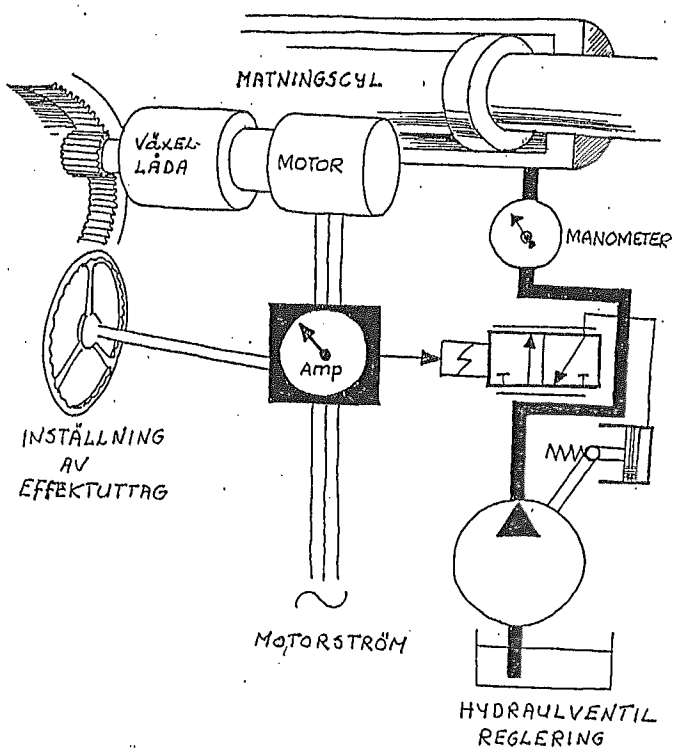

Bild 14 Principskiss av den automatiska matningskontrollen.

Man har därför infört en automatisk matningskraftkontroll. Utrustningen består av en mikrodatorbaserad effektregulator som ställer in matningstrycket så att man tar ut en viss effekt på motorerna för borrhuvudet. Operatören kan sätta in ett visst effektuttag (t ex 90 % av märkström) och matnings-trycket regleras helt automatiskt.

Detta komplement ger mer tid över för kontroll av övriga instrument och reglage t ex att övervaka drivningsriktningen på TV-monitorns skärm, vilket är en av de viktigaste uppgifterna. Ett fel i riktningen måste nämligen korrigeras så snabbt som möjligt och med små regleringar. Väntar man för länge kan det ta många tunnelmeter innan man kommer rätt igen.

Att styra en TBM liknar i mångt och mycket styrningen av ett stort och klumpigt flygplan. Man måste styra i alla riktningar, alltså även vertikalt, och risken är att man kan få en överstyrning. Den typ av TBM som används i Saltsjötunneln är mycket kort och kan styras både i framdel och bakdel. Den är därför mycket lättstyrd och känslig för avvikelser.

Tyvärr tillåter inte utrymmet runt tunnelmaskinen att man avläser lasertavlorna direkt. Det krävs två TV-kameror som överför träffbilden till monitorer i hytten. De är ofta ur funktion eftersom de inte stoppar för den svåra miljön. Styrningen måste då ske genom att någon utanför hytten observerar lasertavlorna och instruerar operatören per kommunikationsradio.

Det ganska komplicerade arrangemanget beror till stor del på att man har mycket begränsat utrymme. Maskinen fyller en stor del av arean och PDH-aggregatet sitter i vägen för laserstrålen.

På en maskin av liknande konstruktion i Norge är diametern större (4,5 m mot 3,5 m). Eftersom man där inte heller har något PDH-aggregat har det varit möjligt att utforma förarhytten och laseravläsningen på ett från ergonomisk och driftsteknisk synpunkt betydligt bättre sätt. Där har också tunneln kunnat drivas med mindre avvikelser.

5.3.2 Sonderingsborrning

För sonderingsborrningen har det i Saltsjötunneln ordnats så bra man kan i det utrymme man har till förfogande. Arbetet utförs av två man, varvid en hjälper till att skarva borrstängerna och en sköter manöverorganen.

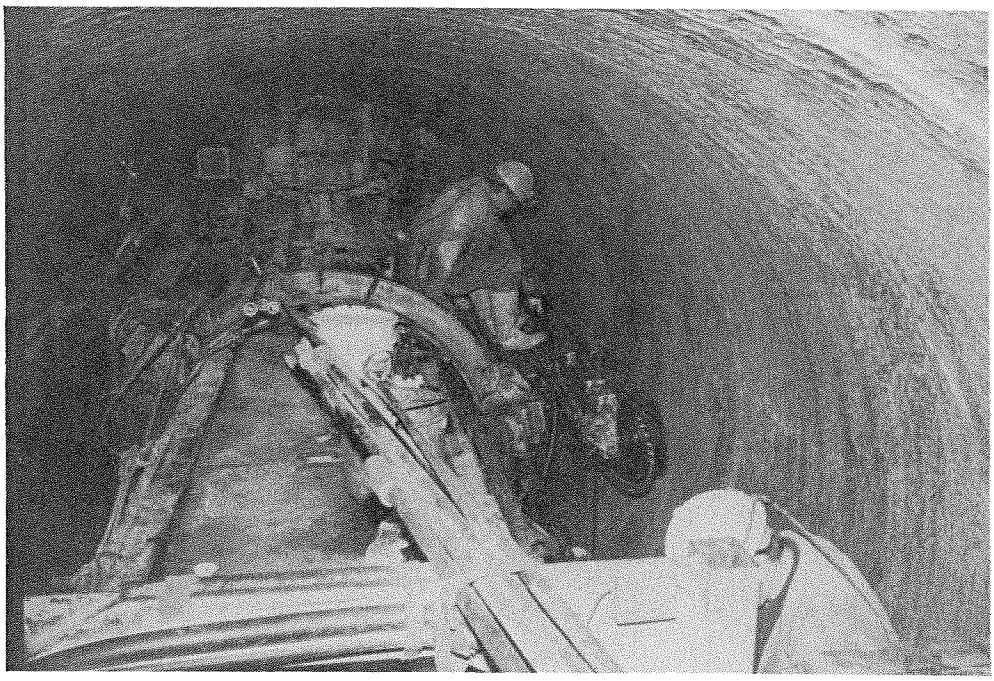

Bild 15 Foto Sonderingsborrning (jfr Bild 1).

5.3.3 Rälsläggning

Framtransporten av rälselementen underlättas av en monorailbana på vänster sida av maskinen (se även sid. 9). Med den har man god hjälp vid framtransport av dessa tunga enheter (och andra tunga saker som cutters, komponenter som byts vid reparation osv).

Rensningen av tunnelbotten och utläggningen av rälselementen kan inte utföras stående. Även här kommer fackverksbalken mellan TBM och bakriggen i vägen. Höjden är endast ca 1 m och det innebär att man måste arbeta i en hukande och tröttsam arbetsställning.

Bild 16 Två män tar igen sig efter skärbytet.

5.3.5 Belysning

På bakriggen och fram till bakdelen av borrmaskinen har man kunnat ordna tillräckligt god belysning, vilket minskar risken för olycksfall och belastningsskador.

I tunneln finns ingen belysning, vilket inte heller har ansetts nödvändigt då all trafik sker med spårbundet tåg. Loket har starka strålkastare både framåt och bakåt.

5.4 PSYKOSOCIALA SYNPUNKTER

Hur uppfattar nu arbetarna situationen vid tunnelborrning i jämförelse med borrade och sprängda tunnlar?

För att få åtminstone en viss uppfattning om detta gjordes en enkel intervju med arbetarna från två arbetslag vid skiftbytet. En blankett ställdes upp att följa vid samtalen så att man var säker på att ungefär liknande frågor ställdes till samtliga (se sid. 32-33).

Svaren på frågorna kan sammanfattas enligt följande:

5.4.1 Arbetarnas bakgrund

De arbetare som tillfrågades har mycket skiftande bakgrund. De flesta har inte någon tidigare erfarenhet av TBM-borrning men några har arbetat på tunnelborrningsprojektet med TBM i Kymmentunneln i Värmland, som avslutades i lämplig tid för att en del skulle kunna fortsätta i Stockholm.

En man hade erfarenhet från TBM-arbete i Panama och Peru. Det fanns också några som aldrig arbetat i bergarbeten under jord.

De flesta har ingen högre skolutbildning men en har gymnasieutbildning och examen från bergskolan i Filipstad.

Den genomsnittliga åldern på dem som deltagit i samtalen är 42 år (32 till 56 år), och antal år i yrket är i genomsnitt 17 år (3-37 år). I Saltsjö-projektet hade de tillfrågade i genomsnitt arbetat 19 månader (14-26 mån.).

Endast en av de tillfrågade hade haft ett olycksfall i arbetet. Han klämde och krossade ett finger vid rivning av en mätdamm (som byggs för att kontrollera vatteninläckningen).

5.4.2 Uppfattning av risker

Ett försök gjordes att utröna den egna uppfattningen av de risker som finns vid sprängning resp. TBM. Man fick ange risken i en skala från 0-10.

FRAGOR OM TBM KONTRA SPRÄNGNING Datum:

Bakgrund

Namn:

Ålder: År i yrket:

Utbildning: grundskola
gymnasie
yrkesskola
företagsutb.

Erfarenhet av TBM :
sprängning:

Tid vid Saltsjö-tunneln :

Huvudsaklig uppgift :

Yrkesskada

Har Du råkat ut för något olycksfall här?

I så fall vad?

Sjukskriven hur länge?

Egen uppfattning om risker (0-10)

Olycksfall	Sprängning	TBM
Ras, fallande sten		
Snubbel, klämning		
Elektriskt		
Hydrauliskt		
"Trafik"-olycka		
Hälsorisk		
Damm		
Buller		
Vibration		
Värme		
Drag		
Belysning		
Diesel-avgaser		
Spränggaser		
Annat		
Ergonomisk belastning		
Enformighet (monotomi)		
Trångt		
Olämplig arbetsställning		
Arbetstyngd		

Prioritering av miljöproblem

Vad anser Du som de största problemen vid

	sprängning	TBM
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

Vad upplever Du som positivt vid ?

	sprängning	TBM
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		

Har Du synpunkter på organisationen ?

Ex.vis arbetslagens storlek och - fördelning
arbetstider; skiftslängd och skiftcykel

1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.

Vad anser Du skulle behöva förbättras på TBM-metod ?

1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.

Skulle Du föredra TBM framför sprängning i forts ?

Det måste poängteras att ett sådant här samtal inte kan tas som en exakt vetenskaplig undersökning. Det är mer att betrakta som ett "systematiskt" samtal där man får fram de spontana reaktionerna på problemen. Samtalen skedde också i ganska pressade former eftersom de ägde rum vid skiftbytet då man är angelägen att få komma hem så fort som möjligt.

Bedömningen av den egna uppfattningen i siffror har sammanställts i en tabell. Samtliga siffror har tagits med för att också ge en uppfattning om hur bedömningen varierar.

Tabell Egen uppfattning om risker 0-10

	Sprängning Bedömning	S:a	TBM Bedömning	S:a
Olycksfall				
Ras.fallande sten	5 9 5 6 9 8 7 10 7	69	1 1 1 1 1 1 1 1 1	9
Snubbla, klämning	3 5 3 4 2 5 4 5 2	33	5 3 7 7 5 8 6 7 4	52
Elektriskt	1 4 1 3 4 4 4 5 3	29	1 3 1 5 7 9 4 7 5	42
Hydrauliskt	3 1 1 3 1 5 1 1 1	17	3 1 1 3 3 8 1 1 1	22
"Trafik"-olycka	5 4 1 3 1 7 4 3 1	29	5 2 1 3 1 4 2 1 1	20
Hälsorisk				
Damm	1 2 5 7 6 5 5 5 6	42	5 4 7 5 8 7 7 5 3	51
Buller	10 3 5 5 7 8 3 7 5	53	10 3 7 4 5 8 2 2 7	47
Vibration	1 2 1 1 5 5 2 5 2	24	1 2 1 1 2 7 1 1 2	18
Värme	1 3 2 1 4 4 1 1 1	18	5 8 2 7 4 6 1 5 5	43
Drag	3 1 1 3 4 4 1 7 1	25	8 1 1 8 4 4 3 1 1	31
Belysning	8 1 1 1 1 5 1 1 1	20	3 1 1 1 1 3 1 1 1	13
Dieselavgaser	5 6 5 8 7 8 7 5 3	54	1 2 0 2 2 1 3 1 1	13
Spränggaser	8 6 5 8 9 8 5 5 5	59	0 0 0 0 1 0 0 0 0	1
Ergon.belastn.				
Enformighet	1 1 3 1 2 3 1 2 2	16	1 1 5 7 2 2 1 2 8	29
Trångt	2 1 1 1 3 4 1 2 1	16	8 6 8 7 7 8 1 8 4	57
Olämplig arb.st.	5 1 1 1 3 3 1 3 1	19	8 6 8 5 8 7 1 8 9	60
Arbetstyngd	5 2 5 1 3 4 4 3 3	30	5 2 2 5 3 5 2 5 10	39

Av intervjuresultaten kan man utläsa vssa tendenser, nämligen att olycksfall och hälsorisker i regel har bedömts vara lägre vid TBM-borrning, medan de ergonomiska förhållandena har bedömts vara sämre.

Man har påpekat att de dåliga ergonomiska förhållandena vid TBM gäller relativt korta perioder av obekvämlighet och arbetstyngd. Det gäller vid vissa arbetsmoment som t ex cutterbyte, rälsläggning, reparation osv. Vid själva tunnelborrningen är förhållandena oftast bättre än vid borrning och sprängning. Det förhållandet har inte kunnat vägas in i en sådan här enkel och spontan intervju.

5.4.3 Prioritering av miljöproblem

Svaren, då man skall beskriva de största miljöproblemen för de olika metoderna, har ställts upp i den ordning de förekommit mest. Här har tagits med svar från arbetare som aldrig arbetat med borrning och sprängning, vilket kanske ger en överrepresentation av synpunkter för TBM.

Svar på "Prioritering av miljöproblem"

Sprängning	Antal	TBM	Antal
Spränggaser	5	Damm	6
Dieselgaser	5	Trångt	3
Damm	2	Obekv. vid in- och utfart	2
Rasrisk	1	Dragigt vid in- och utfart	2
Stressigt	1	Läckande hydr.olja	2
Vatten på el.utr.	1	Cutterbyte	1
		Buller	1
		PDH-utrustningen	1
		Injektering	1
		Långa skift	1
		Värme	1

5.4.4 Vad är positivt vid de olika metoderna?

Vid svaren på vad man upplever som positivt blir det ganska naturligt helt enkelt motsatsen till vad man tyckte var problem. De kan ändå ge en ytterligare nyansering.

Sprängning	Antal	TBM	Antal
Att man lätt kan byta ut delar och komponenter vid reparation.	1	Slippa spränggaser	4
		Slippa dieselgaser	4
		Mindre risk stenfall	4
		Mindre stressigt	3
Man kan själv påverka ackordet	1	Inte så slitsamt	1
		Varierande arbetsuppgifter	1
		Maskinen bestämmer farten	1
		Kontinuerlig drift	1
		Kontakt inom laget	1
		Intressant ny teknik	1

5.4.5 Synpunkter på organisationen vid TBM-drivning

- Bra med varierande arbetsuppgifter ("job-rotation") 9
- Skiftindelning med en vecka fri är bra 9
- Det långa skiftet (10 h) är besvärligt. Man tappar något av de sociala kontakterna när man bor på orten. Långledigheten är mer värdefull för "utomboende". 1
- Lagjobbet är bra. 1

5.4.6 Vad skulle Du förbättra på TBM-metoden?

- Mer plats = större diameter 6
- Mindre trångt vid vissa arbeten (men man vänjer sig) 5
- Dammbekämpningen (avskilj. servas oftare) 3
- Cutterhantering och behov av byte 2
- Försöka få bort PDH-utrustningen i mitten av maskinen 1
- Manöverhytt som kan stängas (buller, damm) 1
- Transportbanden, trångt vid vändrullarna 1
- Styrning av maskin 1
- Bättre ventilation 1
- Hålla ordning och rent i "matkuren" 1