© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

THE RICHMOND TRANSORT PROJECT, SAN FRANCISCO
Tunneldrivning i dåligt berg och jord under tätbebyggelse

Lars-Olof Dahlström, Tekn. Dr, NCC Teknik, Göteborg

1. INTRODUKTION

Avsikten med detta föredrag är att kortfattat beskriva drivnings- och förstärkningstekniken i samband med drivningen av ett utjämningsmagasin för avlopps/dagvatten under den nord-västra delan av San Francisco, Californien. Projeket började att byggas under våren 1994 och en mer utförlig beskrivning kommer att redovisas vid Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC), 1995.

Krav på att dagvatten skall renas innan det släpps ut i vattendrag/hav har föranlett att underjordiska utjämningsmagasin har konstruerats. I samband med stora nederbördsmängder skall avlopps/dagvatten kunna lagras tills det kan transporteras och hanteras vid reningsverk.

Ett exempel på ett sådant bräddavloppsmagasin är "Ormen", tunneln som ringlar under stadsdelarna Vasastaden och Östermalm i Stockholm. Detta magasin är tänkt att minska risken för översvämningar som periodvis uppstår vid större nederbördsmängder, samt att förbättra vattenkvalitén i centrala Stockholm, Sundin och Karlsson (1992).

Ett liknande projekt som "Ormen" erfodrades för att hantera stora nederbördsmängder i San Francisco. För att minska frekvensen av utsläpp till Stilla Havet till en acceptabel nivå krävdes ett underjordiskt bräddavloppsmagasin. Acceptabel nivå var att begränsa antalet utsläpp vid China och Baker beach från i medeltal 40 till 8 stycken per år. Richmond Tansport Project (RTP) bedömdes att kunna uppfylla detta krav.

Vid en jämförelse mellan Ormen-projektet och RTP kan man konstatera många likheter vad gäller projektens storlek.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

	Ormen	RTP
Magasinsvolym	41000 m^3	38000 m^3
Längd	2735 m	3400 m
Diameter	3.3 m	4.5 m

Tabell 1 En jämförelse mellan Ormen och RTP

Bägge tunnlarna drevs under ett tätbebyggt område med TBM. Emellertid slutar likheterna i och med detta. Ormen-tunneln drevs genom hårda kristallina bergarter (gnejs, granit) medans RTP drevs/drivs genom en mycket varierande geologisk formation, från bra till mycket dåligt berg och genom sand. Dessutom förekommer "mixed face" under en sträcka av cirka 70 m.

2. GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

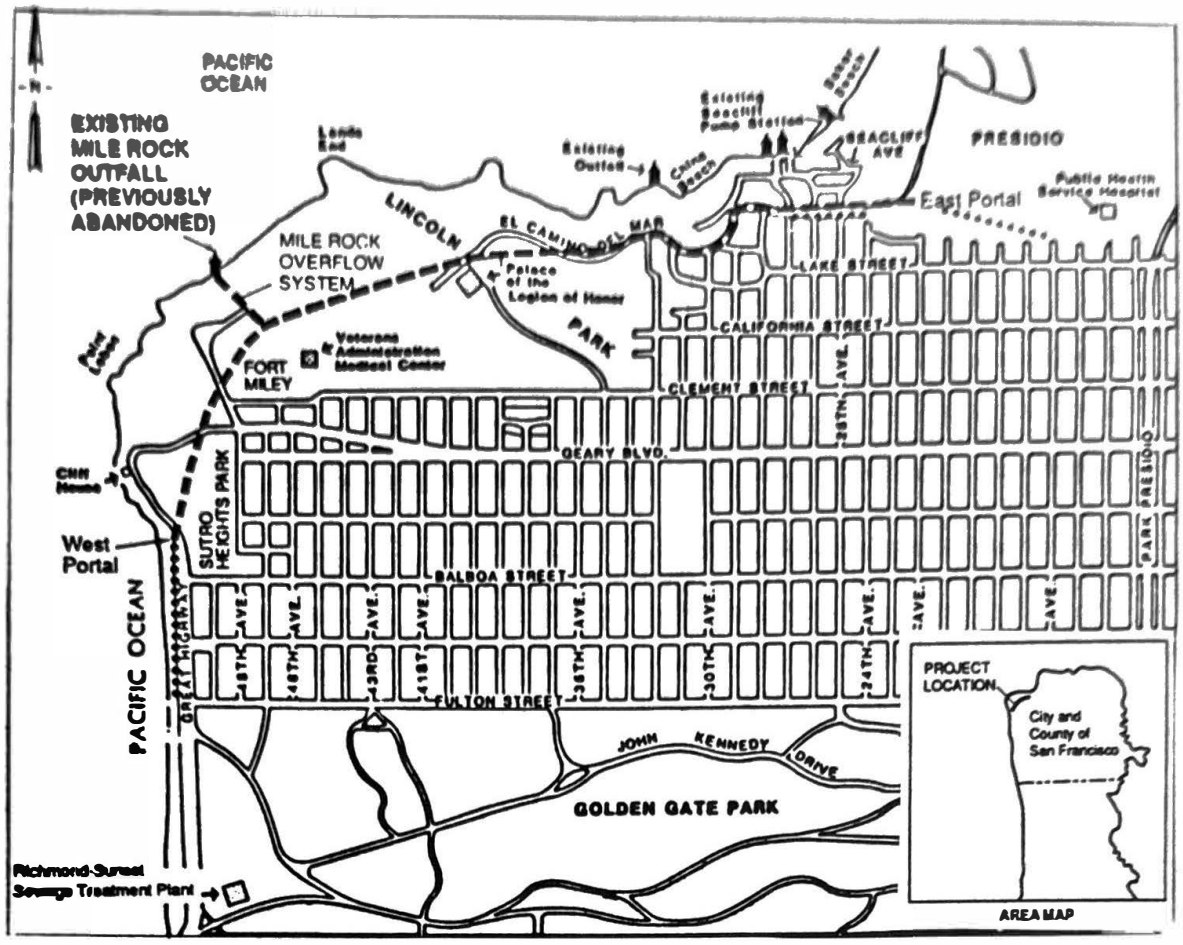
Richmond Transport Project (RTP) är lokaliserat till den Nord-Västra delen av San Francisco halvön, se Figur 1.

Projektet består av en 3400 m lång tunnel. Från väster drivs tunneln genom berg (2970 m) berg, "mixed face" (70 m) och från öster genom en sandformation (360 m). Tunnelns diamter vid drivningen är 6 m, och efter installering av permanentförstärkning 4.6 m.

Bergformationen tillhör den s.k. Franciscan Complex som består av sandsten/gråvacka, ler- och siltbergarter, breccia och melange. Melange i detta fall består av block av gråvacka, grönsten, serpentenit i en matrix bestående av en krafigt av skjuvning uppsprucken lerbergart.

Tryckhållfastheten längs tunneln varierar mellan 0.7-140 MPa och täckningen mellan 10-110 m.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 1 Läget för "the Richmond Transport Project"

Flera potentiella stabilitets problem bedömdes:

- strukturella brott
- "slaking"
- "Squeezing ground"

Därtill kommer problemet med drivning genom den melange som finns. Blocken i denna formation v rierar i storlek och kan vara större än tunneldiametern och ha en tryckhållfasthet av 140 MPa i en bergart (matrix) som för övrigt har mycket låg tryckhållfasthet.

Från den östra sidan drivs tunneln genom en sandformation som till största delen består av dunsand. Täckningen över tunnelavsnittet varierar mellan 10-30 m. Grundvattenytan ligger normalt strax under markytan.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Potentiella stabilitets problem:

- "running ground"
- "flowing ground"

För att minimera skaderisken orsakade av eventuella sättningar på ovanliggande bebyggelse, valdes att driva tunneln längs den krokiga gatan El Camino Del Mar.

3. STABILISERING- OCH DRIVNINGSTEKNIK

Som beskrivits tidigare sträcker tunneln i extremt varierande formationer och på grund av omgivningen tilläts inte konventionell teknik med borrning-sprängning. Kravet var att bergtunneln skulle drivas med en TBM. Maskinen skulle kunna hantera radier på 115 m under El Camino Del Mar och för att kunna driva den östra delen av tunneln krävdes en öppen sköldmaskin, alternativt en Earth Pressure Balance (EPB) maskin.

För att minimera potentiella skador på ovanliggande byggnader, under drivningen i sandformationen under EL Camino Del Mar, erfodrades av entreprenören att kontrollera att marksättningar var mindre än 25 mm och hävning mindre än 6.5 mm. Sättning och hävning av fastigheter var begränsade till 6.5 mm respektive 3 mm.

För att kunna uppfylla dessa krav erfodrades stabiliseringsåtgärder:

- Grundvattensänkning
- Keminjektering, (konsolideringsinjektering)
- Kompaktions-/kompensationsinjektering

Innan drivningen startade sänktes grundvattnet till en nivå under tunnelns sula, genom pumpning i 13, längs El Camino Del Mar, borrade brunnar. Jorden konverterades från "flowing ground" til -1 l "running ground."

Sanden framför fronten injekterades med keminjektering baserad på vattenglas. Injekteringen utfördes fram till ca 20 m framför fronten och när ca 7 m av injekterad sand återstod stoppades drivningen för att upprepa injekteringen till 20 m nivån.

För att kompensera för sättningar utfördes kompensations injektering i kombination med ett utarbetat mätprogram. Injekteringen utfördes från markytan i förborrade hål. Dessa hål borrades, med c/c 2.5 m längs

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

tunnelsträckningens centrumlinje, till en nivå strax ovanför tunnelns hjässa.

Alla sättningar under drivningen var inom kraven. Emellertid uppstod tre "sink holes." Det första uppstod strax innan tunneln drevs in under El Camino Del Mar. De andra två skedde i samband med ras, i en mindre tvärtunnel som drevs för hand med spiling- och stålbågeteknik. Orsaken torde vara dåligt utförd keminjektering.

Ett av hålen, ca 7 m^3, uppstod under ovanliggande gata. Trots detta kunde gatan hållas öppen för trafik under tiden åtgärder vidtogs.

Utformningen av den primära förstärkningen låg på entreprenörens ansvar. De rekommenderade berg- och jordtrycken för design av förstärkningen baserades på Terzaghi's system för berg- och jord klassificerings.

Entreprenören valde att förstärka både berg- och jordtunneln med en primärförstärkning bestående av fyra pre-fabricerade betongelement, 200 mm tjocka och 1200 mm långa. Dessa element monterades inom skölden och expanderades med hydrauliska domkrafter när skölden passerat. Efter tunneln drivits färdigt kompletteras driftförstärkningen med en glidformsgjuten lining 300 mm tjock, för att uppfylla kravet på permanentförstärkningen.

Jordtunneln drevs med en öppen sköldmaskin, 6 m i diameter och 4 m lång, utrustad med två horisontella bord anpassade efter sandens friktionvinkel. Den korta skölden valdes för att kunna hantera de kurvor som dikterades av El Camino Del Mar. Skölden trycktes fram med 24 domkrafter installerade runt sköldens periferi. Domkrafterna utnyttjade den installerade liningen som mothåll. Utlastningen av sanden utfördes med en grävarm som drog ut sanden till ett transportband som transporterade sanden till spårbundna vagnar.

Drivningen startade från ett 15 m djupt schakt strax söder om El Camino Del Mar, tidig vår 1994 och avslutades under sommaren 1994. Drivningshastigheten var ca 10m/dag. Drivningen utfördes under dagen och keminjekteringen under natten.

Drivningen genom bergformationen utfördes med TBM med sköld. Avverkningen skedde med vanliga "disc cutters." Maskinen p-1 konstruerades för att kunna hantera den varierande bergkvalitèn, från mjukt till hårt berg och

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

delvis "mixed face". Maskinens rotationshastighet var 2-3 varv/minut, vilket skall jämföras med en modern maskin för hårt berg, 8-9 varv/minut. Istället för "grippers" trycktes maskinen fram med 12 av de 24 domkrafter som utnyttjats av den öppna sköld maskinen. Som mothåll användes de installerade betong elementen. För stabilisering och styrning var maskinen utrustad med "grip shoes." På grund av den potentiella risken för "squeezing" valdes en kort sköld, 4 m. Drivningen startade p-1 mot berg i dagen, från ett tidigare utsprängt schakt.

Vid den tidpunkt mitt deltagande i projektet avslutades hade maskinen avverkat cirka 50 m.

Drivningen från öster genom sandformationen hade fallit ut väl. Förutom de begränsade hålen som utvecklades i samband med ras i tunneln, var sättningarna inom de ställda kraven. Man kunde konstatera p-1 att keminjekteringen hade haft en funktion. Kompensationsinjektering behövde endast utnyttjas de första 100-150 metrarna.

Lite forskning är utförd för att kvantifiera keminjekteringens (konsolideringsinjektering) sättningsbegränsande effekt i samband med tunneldrivning i jord. En jämförelse mellan RTP och Lake Merced tunneln visar dock en sättningsbegränsande inverkan. Lake Merced tunneln, där den maximala sättningen var 100 mm, drevs utan konsoliderings-injektering men med för övrigt samma teknik, diameter och geologiska förutsättningar som RTP.