© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SYDNEY HARBOUR TUNNEL - ETT ÖSTERLEDSPROJEKT I SYDNEY.

Hans Hamrin, Atlas Copco Tunnelling and Mining AB, S-10523, Stockholm.

Seventh Australian Tunnelling Conference.

I september 1990 avhölls i Sydney the VII AUSTRALIAN TUNNELLING CONFERENCE. Konferensen arrangerades av The Institution of Engineers, Australia, med en agenda som har uppenbara paralleller med dagens ämnen.

Sydney Harbour Tunnel var en av huvudpunkterna och behandlades i nio diskussionsinlägg. I samband med konferensen gjordes studiebesök på arbetsplatsen.

Denna presentation baseras på intryck under konferensen, den dokumentation som delades ut till deltagarna samt en veckas vistelse i Sydney. Figurer har hämtats ur denna dokumentation och facktidskrifter.

Sydney Harbour Tunnel är ett i flera avseenden imponerande projekt. Framför allt att bygga en genomfartsled med motorvägskapacitet rakt genom kärnan av en storstad utan att normal trafik och runtomboende störes. Projektet i sin helhet är naturligtvis mycket mera komplicerat än vad som här förtäljes. Förhoppningsvis kan någon lärdom härifrån komma till nytta när planer för en Österled realiseras.

Sydney, 3.5 millioner innevånare.

Staden Sydney (pop 3.5 milj) har vuxit upp längs stränderna av en naturskön havsvik som samtidigt bildar en naturlig djuphamn, Sydney Harbour. Idag är marken runt vattnet hårt exploaterad och tätt bebyggd med bostäder och industrier till ett avstånd av 20 km från Sydneys centrala stadsdelar.

Hjärtat i Sydney är Sydney Harbour, omgivet av begivenheter för shopping, kultur, nöjen och kommunikationer.

Här finns Sydney Opera House, Circular Quay,(som dock har rektangulär form) med otaliga färjeförbindelser, Botanic Garden, Sydney Aquarium, flera museer och ett flertal historiskt intressanta byggnader. Alldeles intill ligger det moderna Sydney City där man lämpligen tar sig runt med det Monorail-tåg som cirklar runt i centrum.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Sydney Harbour Bridge - The "Coathanger".

Tvärs havsviken spänner sig en imponerade konstruktion i nitad stålbalk, Sydney Harbour Bridge. Med ett spann på 503 m nämnes Sydney Harbour Bridge i Guinness Book of Records som världens längsta bågbro. Och, efter en första blick är det lätt att förstå varför bron av Sydneyborna döpts till the "Coathanger".

Byggandet av Sydney Harbour Bridge påbörjades år 1923, då det i den begynnande bilismens år blev obekvämt att färja sig över hamnen. Sydney Harbour Bridge öppnades för trafik år 1932.

Fig 1. Sydney Harbour Bridge, "Klädhängaren".

Ett växande problem.

Bron är nästan 49 m bred och har åtta körfiler, två tågspår, gång- och cykelbanor. Den trafikeras dagligen av tusentals Sydneybor på väg till och från arbetet. I början var det ingen trängsel. Men idag är det fler trafikanter som tar sig över hamnen på en timme än under ett helt dygn då bron öppnades.

Med dagens trafik blir varje broöverfart en utdragen plåga. Bilköerna växer längs tillfarterna, trafiken i City stoppas upp av bilister som försöker hitta genvägar. Om ingenting görs, säger prognoser, kommer den dagliga köbildningsperioden år 2000 att h_a utsträckts till över 13 timmar.

En känslig miljö.

Miljön runt Sydney Harbour är mycket attraktiv och vacker. Solen glittrar i hamnens vågor, Harbour Bridge reser sig mot horisonten, längs kajen ligger Operahuset med sitt musselskalstak.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Harbour Bridge ligger mitt i Sydney, där havsviken är som smalast. Befintligt vägnät är uppbyggt på denna centrala överfart. Att bygga en ny bro skulle öka kapaciteten men medföra drastiska ingrepp i stadsbilden. Att sätta igång ett sådant jätteprojekt i stadens mest känsliga kvarter var otänkbart. Behovet av nya tillfarter skulle kräva omfattade rivning av existerande byggnader, med mycket höga kostnader som följd.

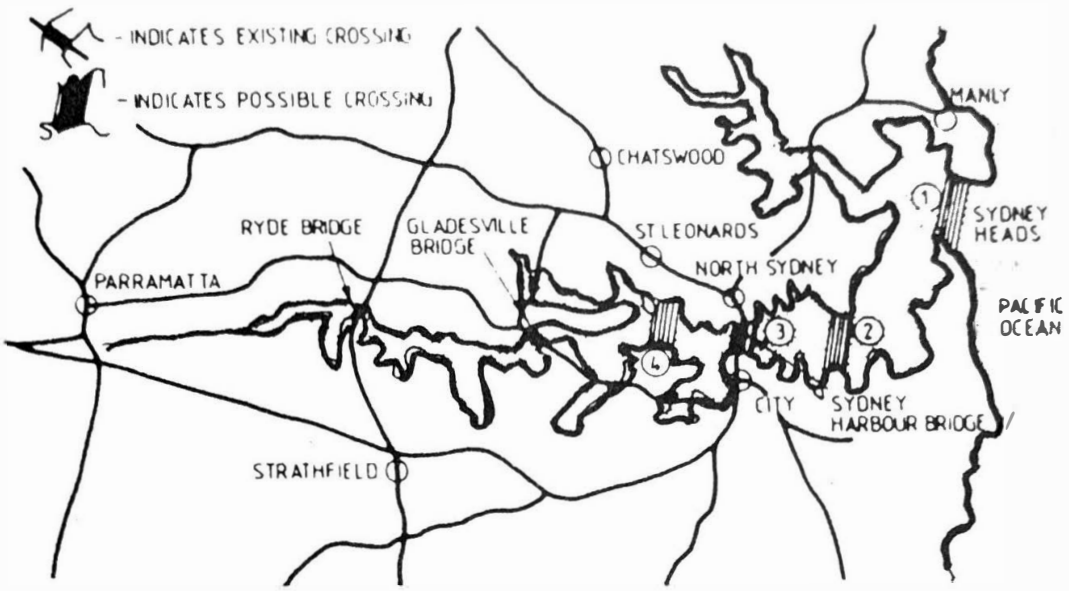


Fig 2. Befintliga och tänkbara överfarter.

Flera alternativ till överfartsrutter studerades. Alla sund, där ett brobygge är tänkbart ligger långt från Sydneys centrum. En bro eller tunnel skulle kräva en fullständig omdirigering av vägnätet.

THE SYDNEY HARBOUR TUNNEL

The Sydney Harbour Tunnel
A Transfield–Kumagai Joint Venture

Mars 1986 presenterade Transfield Kumagai Joint Venture, en förtagsgrupp med inslag från Australien och Japan, ett förslag till förbättring av hamnöverfarten där två innovativa komponenter inkluderats. För det första att att lägga överfarten i en tunnel under hamnen, som, via tillfarter i tunnlar, anslutes till befintliga vägar på båda sidor av bron. Det andra var ett paket med privat finansiering, där Transfield Kumagai tog på sig ansvar för konstruktion och utförande, till ett fast pris för färdigt projekt.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

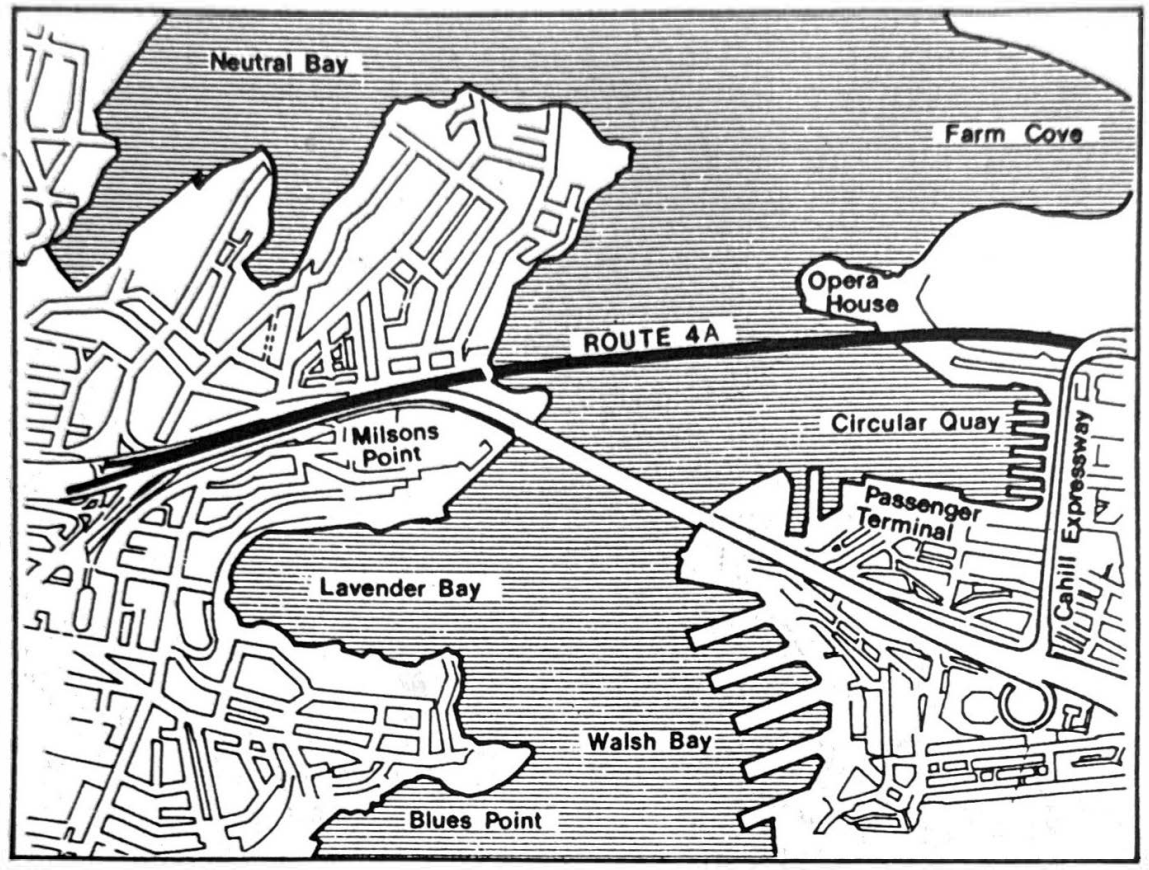


Fig 4. Sydney City med slutlig sträckning av hamntunneln.

Sydney Harbour Tunnel.

I december 1986 presenterades en feasability study samt en detaljerad rapport om projektets inverkan på miljön. Förslaget godkändes 1987, och, efter en intensiv period med konstruktion och analyser påbörjas tunnelbygget i januari 1988.

Transfield Kumagai bygger tunneln till fast pris, och tar ansvaret för tids- och kostnadsöverdrag. Kontraktet backas med en garanti på 40 M AUD(200 MSEK) och ett lån på samma belopp.

Broavgift betalar.

Totala kostnader beräknas till 406 MAUD i 1986 års prisläge, eller 554 MAUD över byggtiden, motsvarande ca 2000 MSEK respektive 2600 MSEK. Finansiering sker med Privata lån som återbetalas genom broavgifter.

Målsättningen är att hålla tunnelavgiften på ett kostnadsläge motsvarande 1.00 AUD (5.00 SEK), i 1986 års penningvärde. Efter 30 år i privat regi skall Sydney Harbour Tunnel, helt skuldfri, överlämnas till the Gowernement of New South Wales, dvs staden Sydney.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

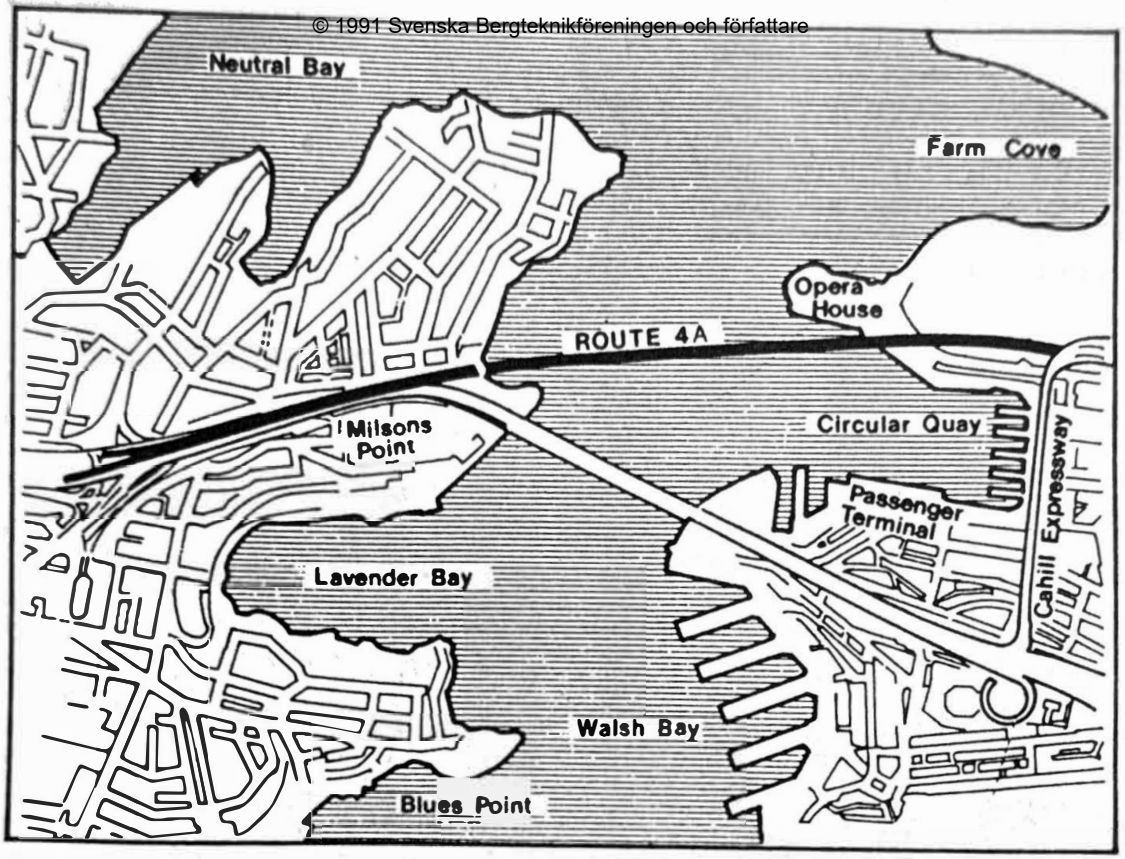


Fig 4. Sydney City med slutlig sträckning av hamntunneln.

Sydney Harbour Tunnel.

I december 1986 presenterades en feasability study samt en detaljerad rapport om projektets inverkan på miljön. Förslaget godkändes 1987, och, efter en intensiv period med konstruktion och analyser påbörjas tunnelbygget i januari 1988.

Transfield Kumagai bygger tunneln till fast pris, och tar ansvaret för tids- och kostnadsöverdrag. Kontraktet backas med en garanti på 40 M AUD(200 MSEK) och ett lån på samma belopp.

Broavgift betalar.

Totala kostnader beräknas till 406 MAUD i 1986 års prisläge, eller 554 MAUD över byggtiden, motsvarande ca 2000 MSEK respektive 2600 MSEK. Finansiering sker med Privata lån som återbetalas genom broavgifter.

Målsättningen är att hålla tunnelavgiften på ett kostnadsläge motsvarande 1.00 AUD (5.00 SEK), i 1986 års penningvärde. Efter 30 år i privat regi skall Sydney Harbour Tunnel, helt skuldfri, överlämnas till the Gowernement of New South Wales, dvs staden Sydney.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

En effektiv lösning.

Skälen varför Sydney Harbour Tunnel accepterades av NSW Gowernement medan tidigare förslag avslagits, var att detta tillfredsställde att antal tekniska och icke-tekniska krav, vilka kombinerats i kontraktet.

1. En effektiv lösning av trafikproblemet.

2. Minimal påverkan av miljön, både under bygget och i drift.

3. Bygget kunde utföras med minimala ingrepp i befintlig stadsmiljö. Detta pga anslutningen av tillfarter till befintligt vägnät.

4. Ekonomiskt lönsamt.

5. Ett fast pris, där Joint Venturet tog alla risker.

   (Staden hade historiskt haft dåliga erfarenheter från projekt på öppen räkning.)

6. Privat finansiering, utan ingrepp i stadens kassa.

Det var fullständigheten i detta förslag, med alla dess komponenter, som övertygade NSW Governement.

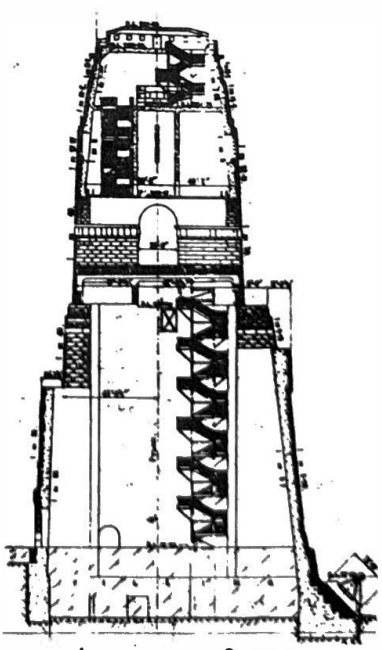
Tunneln ger fördelar för alla.

Tunneln ökar kapaciteten på hamnpassagen med 50 %. För Brotrafikanterna förkortas restiden med i genomsnitt 90 minuter per vecka. Bensinförbrukningen minskar med 13 millioner liter per år, och avgasutsläppen därefter.

När Sydney Harbour Tunnel är färdig kommer den inte att synas. På ytan finns endast ett luftintag för ventilation, som maskeras av ett galler i en brant bergvägg.

Luften i staden skyddas genom att bilavgaserna från tunneln blåses ut på 90 m höjd. En av Harbour Bridges massiva stöttepelare har invändigt konverterats till skorsten.

I en park nära den södra tunnelportalen fridlystes ett stort, vackert fikonträd. Trädet bevarades genom att portalen flyttades något bakåt så att täckningen ökade. Det tunna valvet över tunneln förstärktes med en skärm av rör.



LONGITUDINAL SECTION.

Sydney Harbour Bridge Pylon

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Arbetsobjekt Sydney Harbour Tunnel.

Projektet Sydney Harbour Tunnel består av två paralla tunnlar med dubbla körbanor med längden 2.3 km. Tunnlarna länkas till existerande expressvägar på hamnens nord - och sydsida.

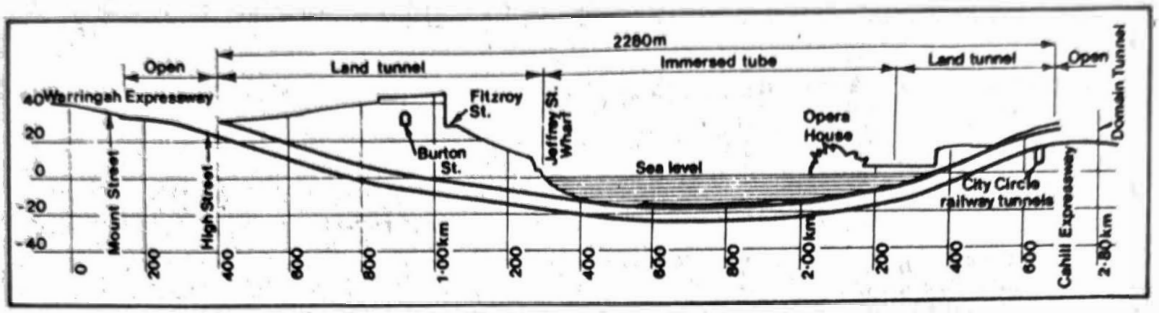


Fig 6. Längdsektion av Sydney Harbour Tunnel.

I tunnelsträckan ingår tre skilda sektioner.

På nordsidan två 900 m landtunnlar.

Under hamnen en 960 m lång undervattenstunnel.

I söder två 400 m landtunnlar.

Dessutom finns på båda sidor om hamnen en övergångssektion där bergtunneln passas ihop med undervattenstunnelns betongkasuner.

Projektet har fördelas på ett antal underentreprenörer med speciell kompetens att hantera varierande arbetsuppgifter.

Landtunnlar med borrning - sprängning.

Drivningen av de norra landtunnlarna sköts av ett Joint Venture Thiess Thyssen, två företag med tyskt påbrå.

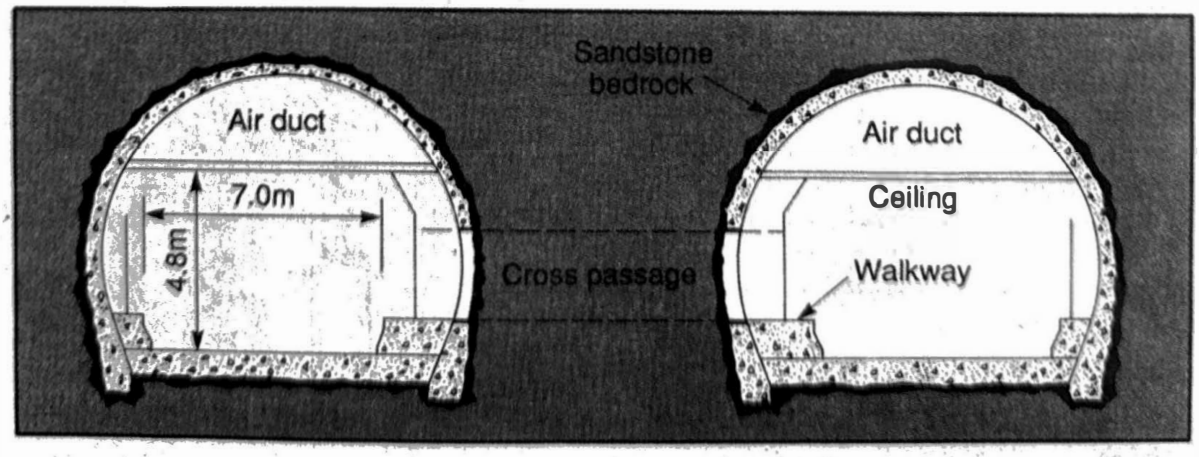


Fig 7. Sektion genom landtunnlarna.

Tunnelprofilen är hästskoformad med en höjd av 8.1 m och bredden 10.8 m. Mellan de två tunnlarna lämnas en 7.0 m pelare i fast berg.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Berggrunden i Sydney består av en s.k. Hawkesbury Sandstone. Denna sandsten kan betraktas som ett nära nog idealiskt material för tunneldrivning. Kompetent och lättarbetad, tät, utan vattenflöden. Den kan bearbetas med roadheaders likväl som TBM:ar eller borras och sprängas på konventionellt sätt.

Längs den ena tunneln har en undersökningstunnel med 2.8 m diameter borrats med en TBM. Berget befanns därvid vara så bra att en planerad tunnel parallelltunneln slopades.

Den inledande tunnelsträckan med begränsad täckning drevs med cut-and-cover teknik. I starten prövades en roadheader för att undvika sprängning. Resultatet kan sägas vara hyggligt men kapaciteten låg.

Huvuddelen av landtunnlarna drevs med konventionell borrning och sprängning. Entreprenören använde därvid två borraggregat av typ Boomer H135, utrustade med hydraulborrmaskin COP 1238 ME.

Hårda krav på borrning och sprängning.

Av intresse är de hårda restriktioner gällande sprängning i tunneln.

Tillstånd till sprängning gives endast från kl 8:00 till 18:00 veckodagar, lördagar 9:00 till 15:00.

Luftstöten från salvan maximeras till 120 dB, 115 dB i 5 % av salvorna.

Markvibrationer får ej överstiga 10 mm/sek, max 5 mm/sek i 5 % av salvorna.

Mätpunkt vid närmaste bostadsbyggnad. Efter inledande mätningar modererades definitionen av byggnad till hotell, avseende markvibrationer.

Patronerade sprängämnen.

I kontraktet tilläts ej användning av ANFO. Orsaken var:

1. Man befarade att laddningstätheten inte kunde kontrolleras med tillfredsställande noggrannhet.

2. Risk för kontamination av grundvattnet genom spill vid laddning.

Endast patronerade sprängämnen kunde således användas.

Entreprenören bevisade senare att dessa farhågor var obefogade, och ANFO-förbudet upphävdes. I slutstadiet av tunneldrivningen användes en blandning av 50 % ANFO och 50 % polystyren för laddning av spränghål i tunneln på både nord- och sydsidan. ANFO-laddningen medförde bl a betydande tidsvinster inom laddningsarbetet.)

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tändplaner.

För sprängningen användes patronerat POWERGEL, 25 mm och 32 mm. Konturhålen laddades med en 25 mm patron och SHEARCORD 70 g/m detonerande stubin. Hålen i nästa ring med 25 mm och övriga hål med 32 mm patroner.

Tändningen sker med MS PRIMADET non-elektriska spräng-kapslar och ett tändsystem liknande NONEL.

För att klara gränsvärdena för luftstöt och markvibra-tioner beräknades en maximal samverkande laddning till 800 g/hål. Borrplanen fick 66 hål, se figur 8.

Håldjupet var i de inledande salvorna begränsat till 1.1 m. Man räknade med en effektiv indrift av .95 m. I prak-tiken gick salvorna botten och indriften blev 1.1 m.

Ett problem uppstod då alla 66 hålen måste tändas indi-viduellt, och MS PRIMADET-serien bara innehöll 31 för-dröjningsnummer. Med tillägg av sekundintervall kunde antalet ökas till 37.

Problemet löstes genom att salvan delades i två spegel-vända halvor. Varje halva anslutes till en separat slinga av detonerande stubin, sinsemellan kopplade via ett fördröjningselement. Med ett totalt antal av 74 in-tervall kunde även vissa lägre nummer hoppas över för att ge berget mera tid att röra sig och minska markvi-brationerna.

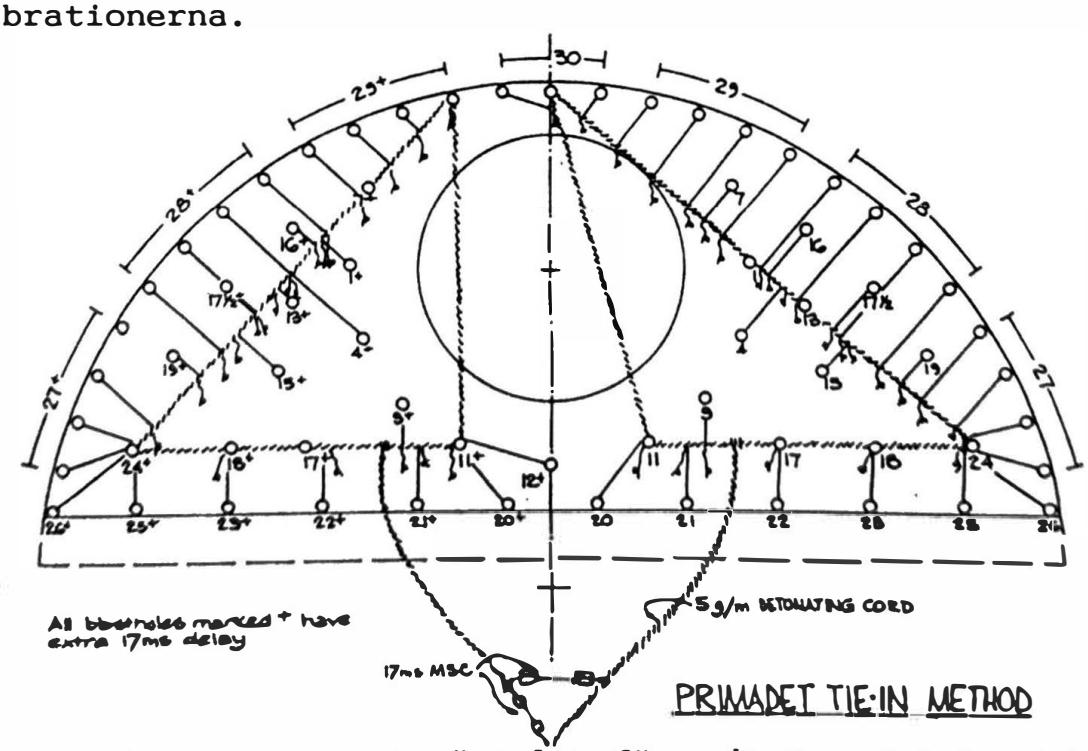


Fig 8. Borr- och sprängplan för takort med 1.1 m hål.

Den från början fastställda borrplanen behölls i stora drag under driving av tunnlarna. En enhetlig plan ansågs viktigt för att förenkla borrningen och bibehålla noggrannheten i hålsättningen.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Med ökande avstånd från byggnader blev det möjligt att öka höjden i takorten till 6.0 m och salvdjupet till 4.0 m.

Den större takköjden kompenserades med att en ny rad av hål passades in mellan bottenhålen och raden ovan. Borrhålsdiametern minskades till 38 mm för att ge en bättre fördelning av sprängämnet, och bibehålla sprängämnesförbrukningen vid ca 1.0 kg/m3.

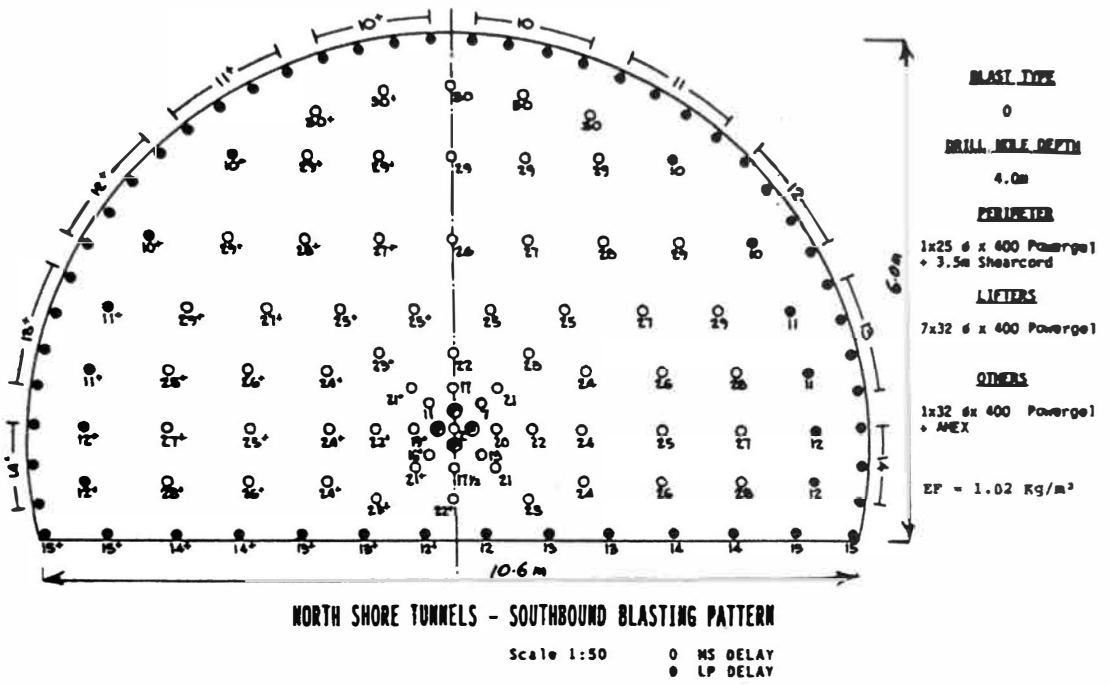


Fig 9. Borr- och sprängplan för takort, håldjup 4.0 m.

Framdriften låg med 4.0 m salvdjup på ca 32 m/vecka, vilket med hänsyn till alla begränsningar ansågs fullt acceptabelt. Slätsprängningen gav i de flesta fall bra resultat, med utfall av överberg noterades i berg med utpräglad horisontell skiktning. Odetonerade längder av SHEARCORD-stubin hittades ibland i berghögen.

Vid kontroll av markvibrationer visade sig dessa ligga inom tillåtna gränsvärden. Tryckstöten låg däremot farligt nära gränsen, och två 3 ton tunga skyddsdörrar installerades i tunnelportalen. Denna reducerade tryckstöten effektivt med 6 - 8 dB.

Inom ramen för dessa unikt stränga föreskrifter fortskred tunneldrivingen som planerat. Arbetet gav intressanta erfarenheter i samband med den dubbla kretskopplingen av tändarna och slätspränging med SHEARCORD detonerande stubin.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tunnelbygge på hamnens botten.

Tunnelbygge under vatten var en specialitet för partnern Kumagai i Harbour Tunnel Joint Venture och hade erfarenheter från undervattensprojekt i Japan och Hongkong.

Tunnelsträckan på totalt 960 m, har delats upp i åtta betongkasuner, vardera med en längd av 120 m. Kasunerna sänks ned på plats på hamnens botten, och sammafogas successivt till en biltunnel med dubbla körbanor i båda riktningarna.

Tunnelrör i betongkasuner.

Betongkasunerna är mastodontenheter med längden 120 m, bredd 26 m och höjd 7.5 m, och vikten 23000 ton. Profilen är platt rektangulär, med två dubbla vägbanor och ventilationskanaler sida vid sida.

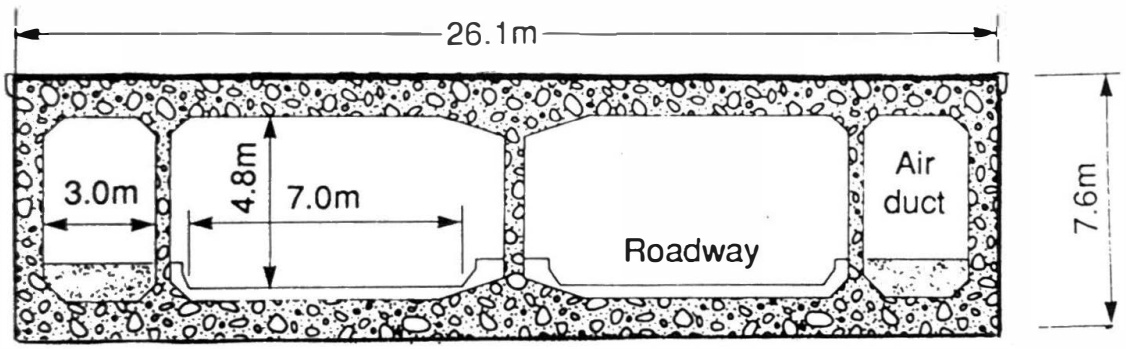


Fig 10. Sektion av betongkasunen med vägbanor och ventilationskanaler.

Kasunerna tillverkas i två batcher om fyra i en specialgrävd bassäng belägen i Port Kembla, ca 80 km söder om Sydney. Valet av Port Kembla medför en 100 km bogsering, till stor del över öppen sjö. Lämplig plats för tillverkningen på närmare avstånd hade undersökt men ej kunnat identifieras.

När betongen hårdnat i formarna förseglas kasunens båda ändarna med plåt som vattentäta skott (bulkheads). Bassängen fylles med vatten, kasunen flyter och är färdig för bogsering. Under sjötransporten går kasunen med ett fribord av ca 15 cm.

Förberedelser - muddring och sandfyll.

Hamnens botten var från början täckt av lera och alluviala avlagringar. Dessutom förekom vid strandlinjen partier med fast sandsten vilka måste avlägsnas för att ge plats för tunneln.

Av hänsyn till att tunneln passerade strax invid Sydneys berömda Opera House ville man, om möjligt, klara sig utan att borra och spränga.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Muddringen av diket för betongkasuner och efterföljande igenfyllning, togs på underentreprenad av firman WestHam Dredgers, ett australiensiskt dotterföretag till holländaren Bos Kalis. Ett villkor var att muddringen skedde med minsta möjliga grumling av vattnet i hamen.

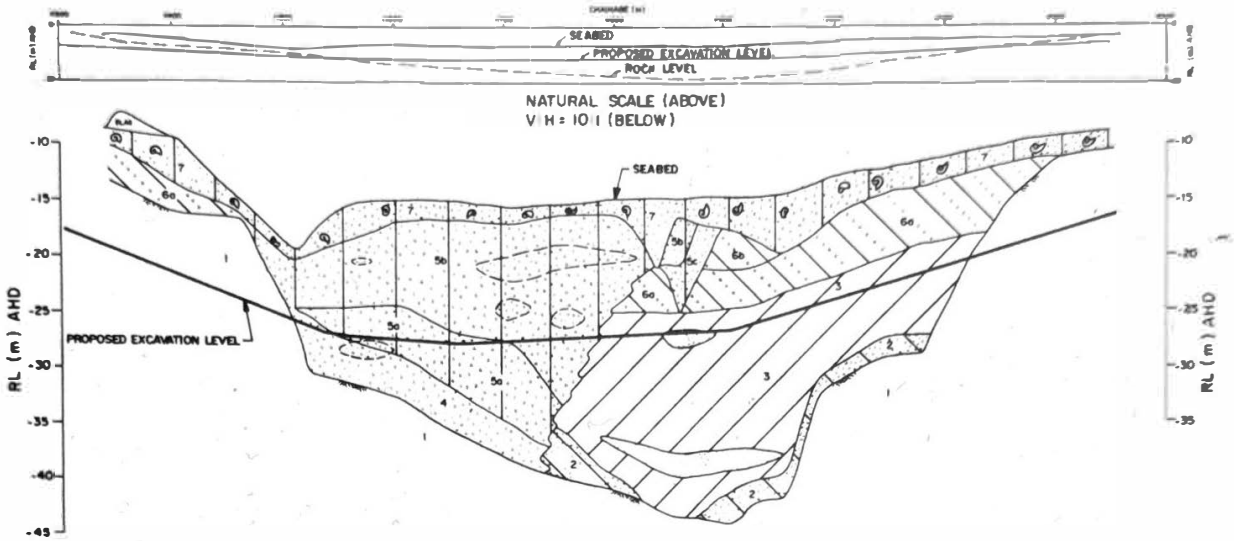


Fig 11. Tunnellinje genom bottenavlagringar.

Olika typer av mudderverk utvärderades. Valet föll på en "Grab Dredger" där materialet lyftes i en gripskopa, som ger en mindre exponering för vatten och turbulens under muddringarbetet, med mindre grumlande effekt andra metoder. För arbete i hårdare material valdes en dredger av "Cutter-Suction" typ.

Fig. 12, I förgrunden skymtar en kofferdam. Under denna döljs anslutningen mellan land och sjö-tunnel.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Vid kajen i närheten av Operahuset och på motsatt sida av hamnen befanns 30.000 m3 av fast Hawkesbury Sandstone som måste avlägsnas. Mudderverket Kunara pressades till sitt yttersta, och fick användning av alla sina 10.000 hästkrafter. Kapaciteten rapporteras som mycket låg och slitaget högt. Målsättnigen att inte spränga i närheten av det känsliga Operahuset uppfylldes dock.

Massorna lastas i självgående, bottentömmande prånar och transporteras 23 km för deponering på djupt vatten. I hamnen kontrolleras sikten i ytvattenskiktet kontinuerligt. Vid överlastningen till prånar är bräddavlopp av spillvatten ej tillåtet.

När diket muddrats till fullt djup, ca 30 m i den djupaste delen mitt under hamnen, fylles detta i bottnen med en 2.0 m bädd av fin sand. Denna skall bilda underlag för betongkasunerna.

Nedsänkning och förankring.

I hamnen bogseras kasunen i läge och riktas in på plats med hjälp winchförsedda prånar. Den förses med spröt att tjäna som markeringspunkter vid undervattenläge. Vatten fylles i inbyggda temporära ballasttankar så att kasunen nätt och jämnt flyter. Läget kontrolleras, mera vatten fylles, kasunen får sjunka till botten medan den hålls i läge av den winchförsedda prånarna.

Anslutningen mellan land- och undervattenstunnel är preparerad med en profil som passar mot betongkasunens ände. Kasunen drages mot land och skarven pressas ihop med domkrafter som hanteras av dykare. Kasunens sjöände vilar samtidigt på ett betongfundament som gjutits med hjälp av dykare.

I skarven finns på ena sidan en s.k. Gina-tätning. Denna matchas mot en plåtskoning på motsatt sida. I fogen bildas ett slutet, vattentät mellan rum. Vattnet i mellanrummet pumpas ut, det hydrostatiska trycket mot kasunens motsatta ände ger nu 5000 ton till hjälp att pressa ihop fogen.

Nu kan skotten tas bort och tillträde ges till kasunens inre. Skarven säkras med bult och tätas med en s.k. Omega Seal.

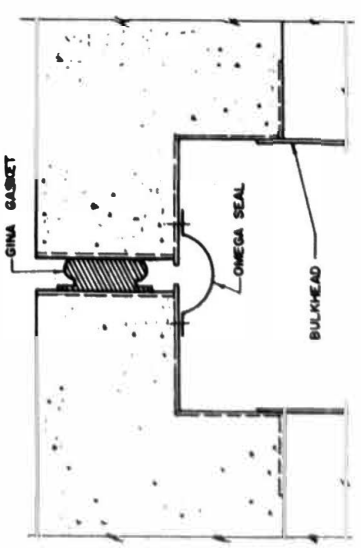


Fig 13. Gina Gasket och Omega Seal.

Slutligen fylles ett lager ballastbetong på körbanor och i bottnen av ventilationskanalerna. Detta upphäver kasunens flytkraft och säkrar dess läge på hamnens botten.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Sand pumpas in under kasunen och diket runtom efterfylles. Kasunens tak skyddas med ett 2 m tjockt lager av sprängsten. I flankerna förstärkes skyddet med större stenblock som skall motstå åverkan av ett draggande skeppsankare. Generellt skall täckningen motstå ett slag av ett fallande ankare eller stöten av ett fartyg som sjunker med stäven före.

Proceduren upprepas när nästa kasun sänkes ner och förenas med den föregående.

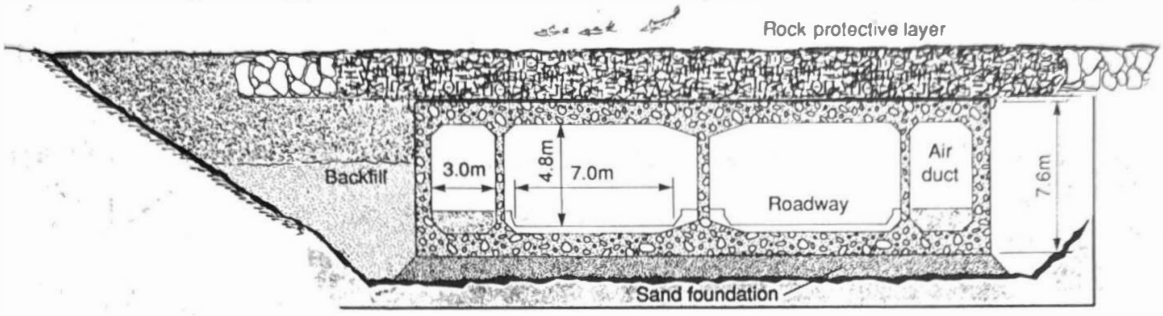


Fig 14. Tunneln i läge på hamnens botten.

I första etappen har fyra sektioner av undervattenstunneln sänkts ned, två på vardera sidan av hamnen. Detta skedde i början av 1990. Återstående fyra kasuner planeras anlända Sydney Harbour i slutet av 1990 och läggas på plats under januari-februari 1991.

Då undervattensbygget startar från båda sidor och fortskrider ut mot hamnens mitt, lämnas ett mellanrum på 2.5 m i den sista skarven. Skarven kompletteras på plats med betong innanför ett skyddande hölje.

Fig 15. Sydney City från Operahuset. Tunneln passerar under parken och den betongbelagda förgården.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Referenser:

Preprint of Papers, VII Australian Tunnelling Conference, Sydney 11 -13 September 1990."The Underground Domain".

Published by The Institution of Engineers, Australia. 11 National Circuit, Barton, A.C.T.
National Conference Publication No 90/8.

The Sydney Harbour Tunnel - Why? A.M. Nielson.

The Sydney Harbour Tunnel, Environmental Planning and Control, D.F. Cunneen.

Sydney Harbour Tunnel, Structure of the Immersed Tunnel Section, L. Gomes.

Sydney Harbour Tunnel, Transition Structure, D.A. Baxter, R.A. Chappel, J.A. Hilton.

Sydney Harbour Tunnel Project, Construction to date, P.J. Lukins.

Blasting in the North Shore Driven Tunnels, R.H. Novotny, P. Kohout.

Övriga:

Dredging for Sydney Harbour Tunnel, World Tunnelling October 90.

Sydney fords the Harbour by Driving under Water, Tunnels and Tunnelling, October 90.

hh.