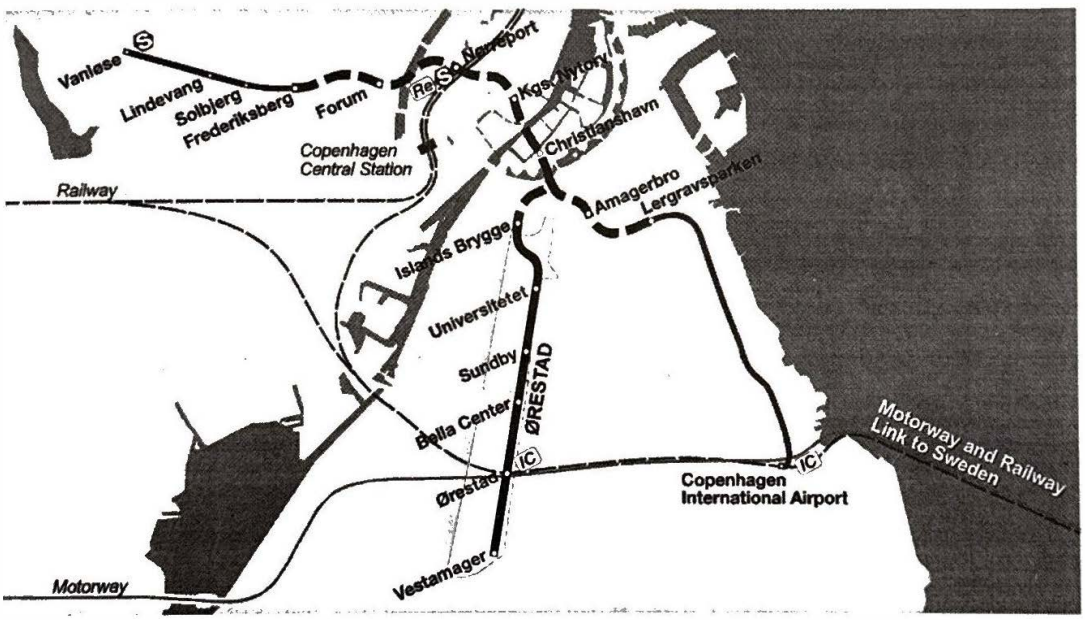
© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

METROPROJEKTET I KØBENHAVN

Anders Odgård, COWI Rådgivende Ingeniører AS

Indledning

Metroprojektet i København er opdelt i tre faser. Første fase, der omfatter 14 km spor og 13 stationer, er under udførelse siden kontrakterne blev underskrevet i oktober 1996. Anden fase på 3 km med 3 stationer er besluttet og under projektering. Tredje fase på 4 km med 6 stationer er ikke besluttet, men forundersøgelser er igangsat. På figur 1 er vist projektets placering og faseopdeling.



Figur 1. Metro linieføring

Den centrale del af metroen, ialt 9 km, bygges i tunnel, mens den resterende del bygges over jorden. På nær en 1 km lang cut & cover tunnel er alt tunnelarbejdet en del af første fase.

Ørestadsselskabet I/S varetager bygherrefunktionen for ejerne, den danske stat, Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Hvis tredje fase besluttes, vil Københavns Amt indgå i ejerkredsen.

Bygherren har indgået aftale med en række rådgivende firmaer om forskellige ydelser, herunder med COWI om projekterings- og byggeledelse.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Kontrakten for anlægsarbejderne er tildelt COMET (Copenhagen Metro Construction Group), bestående af Tarmac (GB), SAE (F), Bachy Soletanche (GB), Ilbau (A), NCC Rasmussen & Schiøtz (DK) og Astaldi (I) med Maunsell (GB) som rådgiver.

En separat kontrakt om bygning af Frederiksberg Station er tildelt Skanska Jensen.

Kontrakten for transportsystemet inkl. rullende materiel, kontrol- og vedligeholdelsescentret samt 5 års drift er indgået med det italienske firma Ansaldo Trasporti.

I denne artikel beskrives, hvordan undergrundsarbejderne i første fase bliver udført samt de miljømæssige aspekter af dette arbejde.

Jordbundsforhold

Undergrunden under København består øverst af fyld og moræneaflejringer til ca. kote -8m. Nedenunder er der københavnerkalk til kote -35m til -50m.

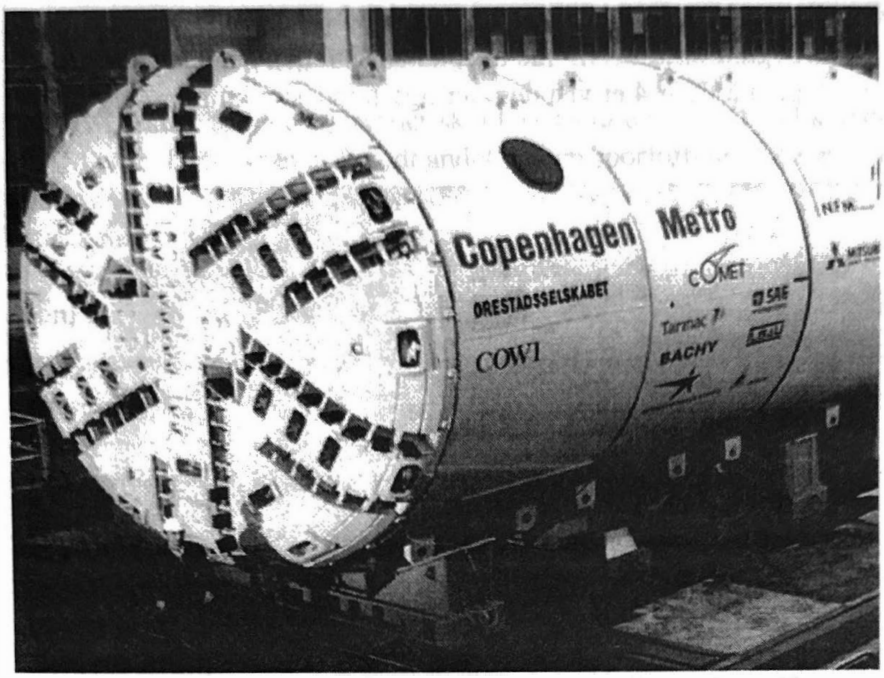
Undergrundsarbejderne udføres hovedsageligt i københavnerkalk. Kun ved overgangene til cut & cover tunnellerne ved tunnellernes ender udføres tunnel i moræneler. Københavnerkalk har indlejrede vandrette lag af flint op til 1 m tykkelse. Kalken er de fleste steder ret tæt, men sprækker kan give en del vandføring. Overgangszonen mellem moræne og kalk er normalt vandførende.

TBM tunneller

Af den samlede tunnelstrækning på 9 km udføres 8 km som dobbelte borede tunneller med 2 stk EPB (Earth Pressure Balance) maskiner.

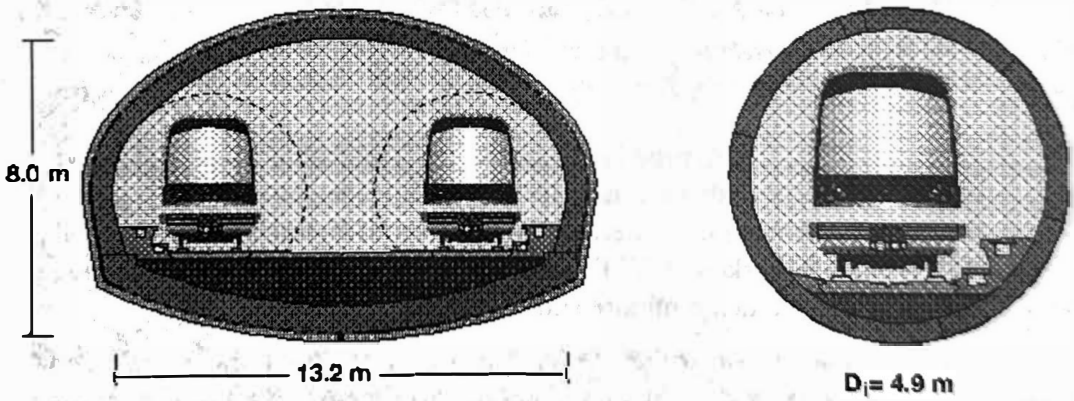
Maskinerne er bygget til entreprenøren af NFM på Mitsubishi licens. Maskinerne er planlagt til at operere i både "open mode" og "closed mode" afhængig af jordbunds- og grundvandsforhold. På figur 2 ses skærehovedet med skrabere og skæreskiver samt skjoldet, der er hængslet, så maskinen kan levere krumningsradier ned til 180 m. De to maskiner er døbt LIVA og BETTY efter to velkendte nu afdøde skuespillerinder i København, Liva Weel og Betty Nansen.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2. TBM skærehoved

På figur 3 ses et typisk tværsnit i tunnelen med en indre diameter på 4,9 m. Tykkelsen af foringen er 275 mm. Injiceringen bag foringen foregår gennem skjoldet med cementfattig mørtel.

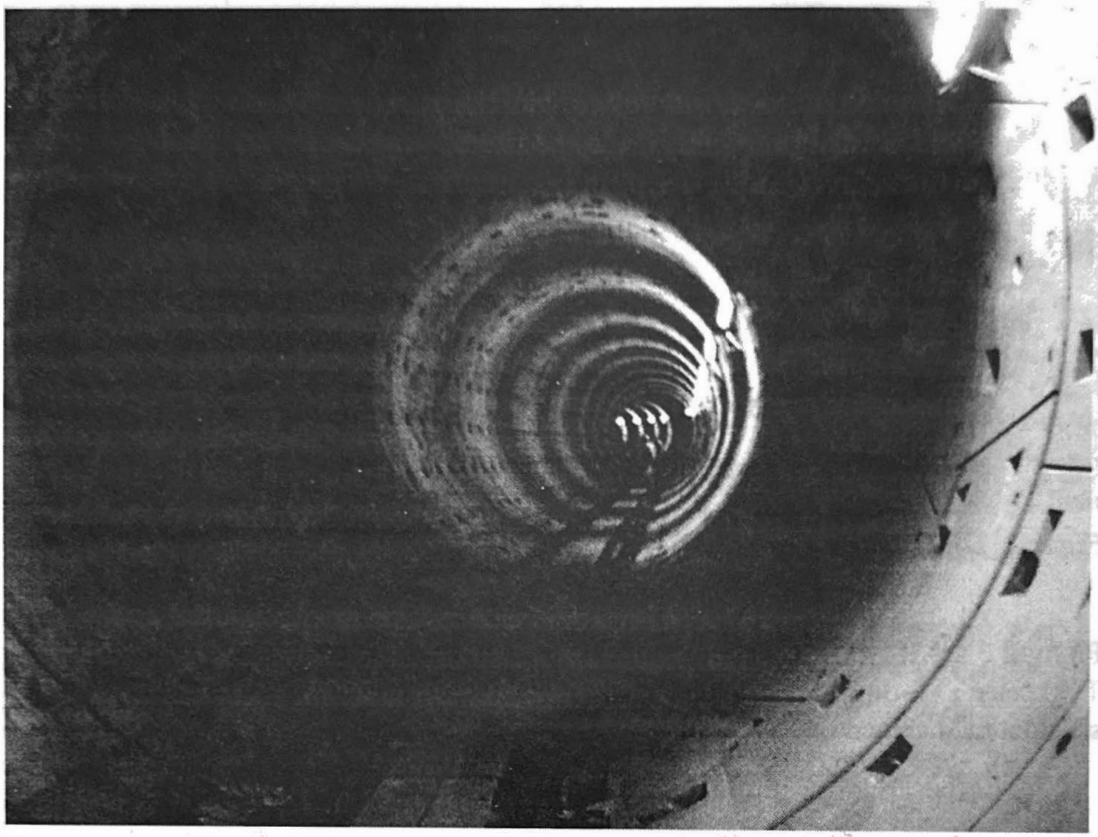


Figur 3. NATM tværsnit ved sporforbindelse og typisk tværsnit

Den første strækning på 550 m fra Islands Brygge startkammer til en modtageskakt ved forgreningen er boret. De første ca. 80 m havde "mixed face" d.v.s. i både moræne og kalk samt en snæver kurve. Dette voldte en del problemer med styring og behov for store kræfter til fremdrift. Da maskinerne nåede helt ned i kalken, viste de, at de er i stand til at arbejde i kalken. Fremdriften var i gennemsnit 44 m/uge

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

målt over de sidste 10 uger før ankomst til modtageskakten. Maksimum fremdrift var 92 m/uge og 25 m/døgn. For at overholde tidsplanen skal den gennemsnitlige fremdrift op på 75 m/uge. På figur 4 er vist den færdige første strækning.



Figur 4. Første tunnelstrækning med arbejdsspor

Da den første maskine, LIVA, brød igennem ved modtageskakten, viste det sig, at der var en del slidskader på den centrale del af skærehovedet, hvor det udgravede materiale tilsyneladende har haft svært ved at finde vej til åbningerne ind til blandekammeret. Den anden maskine, BETTY, der var startet senere og havde haft færre startproblemer, viste betydeligt mindre slid.

LIVA startede igen medio december 1998 på sin anden strækning fra en skakt ved havnen syd for Kongens Nytorv Station til cut & cover tunnellen øst for Lergravsparken station. BETTY er p.t. ved at blive forberedt til sin anden strækning.

Tredie tunnelstrækning går fra skakten ved havnen mod nord og vest til Frederiksberg Station.

Andre tunnelarbejder

To andre tunnelteknikker bliver anvendt i projektet.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ved tunnelenderne bliver udført cut & cover tunneller, som ikke vil blive nærmere omtalt her.

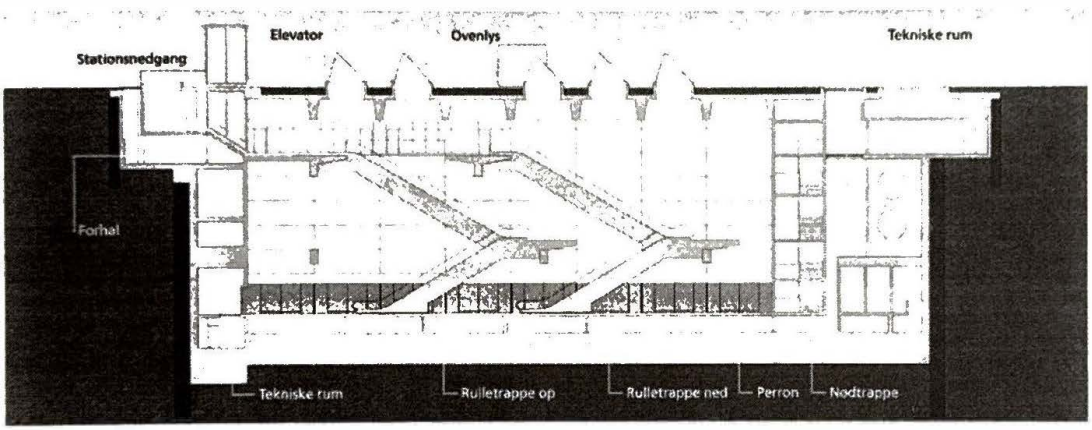
NATM teknik anvendes, når der skal laves andre tværsnit end konstrueret af TBM'erne. Dette kræves blandt andet ved en sporforbindelse mellem de to tunnelrør på strækningen mellem Nørreport Station og Kongens Nytorv Station, samt TBM startkammer ved Havnegade skakten og ved forgreningen syd for Christianshavn Station. Desuden anvendes teknikken ved en række skakte og forbindelsestunneller, som ikke omtales nærmere.

Københavnerkalken er velegnet til denne teknik. En maskine med en hydraulisk fræser borer kalken og flinten ud. Udgravningen sikres midlertidigt med stålgitterbuer og sprøjtebeton. Herefter støbes den permanente foring. Figur 3 viser et tværsnit ved sporforbindelsen.
Denne tunnelleringsmetode kræver omhyggelig grundvandskontrol. Dette er beskrevet nedenfor i afsnittet om miljømæssige forhold.

Dybe stationer

Der anlægges ialt 8 tunnelstationer på metroen, hvoraf de 6 er dybe, som omtales nedenfor. De 2 er højtliggende og placeret i cut & cover tunnelstrækninger.

De dybe stationer er i princippet et firkantet rum udgravet i jorden cirka 20 m dybt, 60 m langt og 20 m bredt. Perronen ligger i 18 m dybde. På figur 5 ses et længdesnit i en dyb station.



Figur 5. Længesnit af dyb station

De dybe stationer anlægges oppefra og ned. Først etableres den ydre væg bestående af sekantpæle, hvoraf hveranden er armerede Ø1,2 m pæle, de andre Ø0,8 m uarmerede pæle. Taget støbes og afstiver væggene, når der graves til halv dybde, hvor der støbes afstivningsbjælker og videre ned til bunden, hvor der støbes bund-

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

plade. Herefter kan TBM'erne modtages gennem den ene endevæg, trækkes gennem stationen og starte boringen igen gennem den anden endevæg.

Miljømæssige forhold

Øresundsselskabet, rådgivere og entreprenører arbejder under et miljøledelsessystem efter Britisk Standard 7750 for såvel projektering, anlægsarbejde som drift. Systemet omfatter både det eksterne miljø og arbejdsmiljø. Det er i Danmark ikke muligt at gennemføre et stort anlægsprojekt uden sådan milljøledelse. Nedenfor er beskrevet nogle aspekter, som har betydning for undergrundsarbejderne.

Grundvandskontrol

Entreprenøren har behov for at gennemføre en meget præcis kontrol af grundvandet for alle arbejder under grundvandsspejlet.

For hver lokalitet skal arbejdsmetodernes indvirkning på grundvandet beregnes. Det er oftest nødvendigt med en iterationsproces, hvor flere metoder og midlertidige tiltag undersøges, før der findes en løsning, der er acceptabel for alle parter.

Kravene til grundvandskontrol er typisk

- tørholdelse af udgravningen
- beskyttelse af drikkevandsreservoir
- undgå flytning af forureninger
- undgå yderligere forurening
- undgå bygningsskader, fx. ved udtørring af gamle træpæle eller konsolidering af jorden.

For hver lokalitet (dyb station, cut & cover tunnel, skakt, NATM tunnel) skal der pumpes grundvand op for at holde udgravningen tør. Mængden søges holdt lavt ved at vælge tætte konstruktioner og injicering af permeable zoner. Ofte er man nødt til at foretage reinjicering af vand for at holde grundvandsspejlet højt under følsomme byg-ninger.

Forurening

Det er indlysende, at jord og grundvand ikke må forurenes. Der har været en del fokus på de skumstoffer, der tilsættes i TBM'erne for at give det udgravede materiale en passende konsistens. Endvidere er der skrappe krav til de injiceringsmaterialer, der anvendes i jorden. Tilsvarende problemer som de, der har været i både Sverige og Norge med Rhoca-Gil, skal selvfølgelig undgås.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Støj og vibrationer

Fra myndighedernes side er der stillet krav til støjbelastning i anlægsperioden på 70 dB på hverdage kl. 7-18 og på 40 dB på øvrige tidspunkter. Dette gør det yderst vanskeligt at arbejde på de øvrige tidspunkter. Det har dog vist sig muligt ved information og inddragelse af naboer i planlægningen at opnå accept til lejlighedsvise overskridelser. Der bliver truffet specielle foranstaltninger i nogle tilfælde, fx. ved arbejde ved siden af Danmarks Radios optagestudier. Et lignende regelsæt for mærkbare vibrationer eksisterer.

Grænsen for bygningsskadelige vibrationer har kun i enkelte tilfælde været overskredet ved mejsling ved udgravning af sekantpæle.

Transport gennem byen

Transport af jord og byggematerialer gennem byen skal holdes på lavt niveau. Derfor er 80% af TBM tunnelleringsarbejdet planlagt udført fra skakten ved havnen, således at udgravet materiale og segmenter kan transporteres ad søvejen.

Arbejdsmiljø

Lovgivningen og kontrakten stiller stærke krav til planlægning og gennemførelse af et godt og sikkert arbejdsmiljø. Som eksempel kan nævnes, at hver arbejdsoperation skal vurderes m.h.t. sikkerhed, og der skal udarbejdes en plan for sikkerhed og sundhed for hver arbejdsplads.

Resultatet af sikkerhedsarbejdet for anlægskontrakten er indtil nu, at ulykkesfrekvensen ligger et stykke under bygge- og anlægsbranchen i Danmark som helhed. For at få forbedret situationen gennemføres en arbejdsmiljøkampagne i et samarbejde mellem myndigheden (Arbejdstilsynet), bygherren og entreprenørerne.