

Moderne technieken bij de bouw van tunnels

Het onderhavige vormt een reeks indrukken van de jaarvergadering, die van 27-30 oktober van het vorig jaar werd georganiseerd door de Duitse Stuva, dat is de studievereniging die zich bezighoudt met ondergrondse verkeersvoorzieningen. Circa 1000 deelnemers woonden de congresdagen bij, die gehouden werden in het congresgebouw Gürzenich nabij Keulen. Zij kwamen uit 11 landen, waaronder Nederland. Het is duidelijk dat de onderwerpen betrekking hadden op de betekenis van de tunnelbouw in het geheel van de infrastructuur en over recent ontwikkelde bouwmethodes en hulptechnieken.

Kostenaspecten

Een indruk van de kosten die een rol spelen bij de bouw van verkeersvoorzieningen werd gegeven door Karl Kurz, Ministerialrat bij het Bondsministerie voor Verkeer in Bonn. In de jaren 1967-1974 werd voor de bouw en uitbreiding van het wegennet voor openbaar vervoer een bedrag van circa DM 9,8 miljard uitgegeven. Hieraan werd voor DM 4,9 miljard bijgedragen door de Bondsregering. In het tijdsbestek 1975-1979 bedragen de uitgaven voor openbare vervoersvoorzieningen niet minder dan DM 30 miljard, waarin de centrale overheid deelneemt voor een bedrag van niet minder dan DM 16 miljard. Hierbij zijn dan 784 projecten betrokken, die niet alleen bestaan uit de bouw van snel- en stadswegen, tunnels e.d., maar ook uit de aanleg van busstations, bedrijfsgebouwen en parkeergarages, ofschoon in geringe mate. In totaal 229 projecten omvatten in kosten meer dan DM 5 mil-

joen elk en maken samen 95% van het gehele pakket uit.

Wat uit het oogpunt van kosten de betekenis is van de tunnelbouw werd niet vermeld. Men mag echter aannemen dat deze niet gering is, gezien onder meer de huidige tendens om het openbare vervoer binnen steden zo mogelijk ondergronds te doen verlopen. Een indruk van de verscheidenheid aan tunnels gaf prof. Girnaue, directeur van de Stuva. Niet alleen is er een verscheidenheid in tunnelgrootte, door de ontwikkeling van nieuwe verkeerssystemen, maar ook in bouwwijze. Het laatste vanwege de wisselende omstandigheden van situatie en bodemgesteldheid. Zoals uit het verslag van het Symposium Openbare Vervoerssystemen al naar voren kwam*, houdt men voor de toekomst rekening met vervoerssystemen voor kleinere mensentallen. Voegt men dit bij de verschillende systemen die men in Duitsland reeds kent (zoals metro, stadsspoorbanen, vervoerslijnen binnen agglomeraties) dan ligt het voor de hand dat men thans met het oog op de toekomstige ontwikkelingen onderzoeken heeft verricht naar de kosten van deze verschillende systemen. Figuur 1 illustreert dat. Zo bestaan er ook kostenindrukken bij gebruik van de verschillende bouwmethodes, ofschoon de specifieke omstandigheden van de toepassing hierin niet zijn verwerkt.

Volgens een opmerking van een deskundige van het ministerie van Verkeer vormen bij railgebonden systemen de exploitatiekosten een steeds groter probleem en bedragen deze

in het jaar 1985 onder de ongunstigste omstandigheden maar liefst 10% van de aanlegkosten voor het railsysteem.

Geavanceerde bouwpraktijk

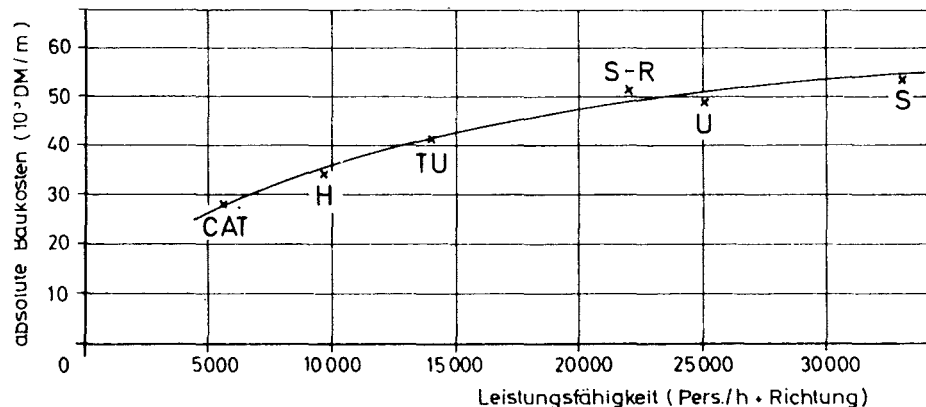
Ofschoon men in Nederland nog geen kennis heeft gemaakt met de praktijk van de schildmethode, is deze bij veel Nederlanders toch wel bekend omdat het in verschillende ons omringende landen met geschikte ondergrond een beproefd systeem geworden is. Steden als München, Boedapest, Leningrad en Rome tonen evenzovele voorbeelden en niet alleen daarvan maar ook van het boren van de stations en trappehuizen vanuit de beginschacht. Wat evenwel beproefd is komt nog altijd voor verdere ontwikkelingen in aanmerking om zodoende het toepassingsgebied te vergroten. Zo ook hier.

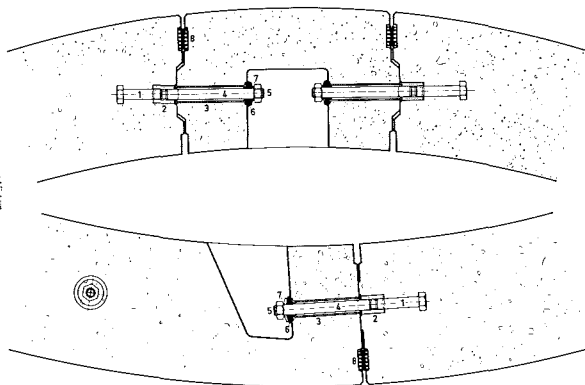
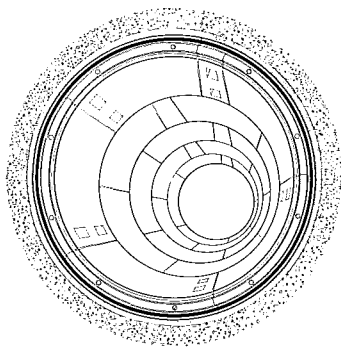
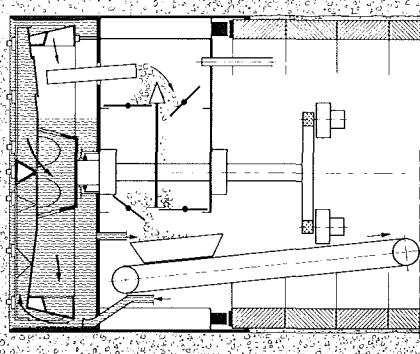
Bentonietschild als hulptechniek

Er doen zich namelijk situaties voor dat men een tunnel beneden de grondwaterspiegel wenst, waarbij de ondergrond praktisch geen innerlijke wrijving bezit. Ervaringen met dergelijke omstandigheden heeft men bij voorbeeld opgedaan bij de bouw van de metro in Neurenberg. De bodemgesteldheid veroorzaakte grote zettingen die men reeds had waargenomen bij de utiliteitsbouw, waar fundamenteen enkele centimeters waren verzakt.

* Cement XXVII (1975) nr. 12, blz. 569-570.

1
Absolute bouwkosten per strekkende meter, uitgezet tegen de capaciteit van de verschillende vervoerssystemen; S = snelspoor, U = ondergronds spoor, CAT = cabinetaxi, H = hooggelegen baan, TU = transurban-systeem, S-R = vrije trambaan
Building costs of the several transport systems per meter run, related to their capacity; S = rapid railway transport, U = underground railway, CAT = cabin urban transport system, H = railway on elevated track, TU = transurban system, S-R = free tracks in towns for tramway cars





2
Toepassing van steunvloeistof (Bentoniet) bij tunnelbouw
Applying Bentonite in tunneling

3
Details van een tunnelbouwsysteem met enkelschalige gewapend-betonringen; links een dwarsdoorsnede, rechts voegen in de schachtring; de verbindingen komen met ankerbouten tot stand
Details of a tunneling system applying single-shell reinforced concrete circular joists; at the left a cross section, at the right joints in the tubing; connections are made with ragbolts



4
Binnenkant afvoerleiding met binnendiameter van 3,70 m, gemaakt volgens het schild-systeem; voorbeeld van enkelschalige tunnelwand
Interior outlet with inner diameter of 3.70 m, constructed according to the drum-digging shield method; example of a single-shell tunnel wall

Bij de uitvoering volgens de schildmethode heeft men het voorbeeld gevolgd van de leiding voor afvalwater in Hamburg-Wilhelmsburg. Toen werd voor de eerste maal in Duitsland gebruik gemaakt van het zgn. Bentoniet-schild (fig. 2).

In gevallen als deze, dus weinig samenhangende grond en beneden de grondwaterspiegel, dient men te vermijden dat de uitgegraven grondvlakken met lucht in contact komen, omdat men dan het risico loopt van verstoring van de bodemstructuur, afkalving e.d. Deze grondvlakken moeten na de uitgraving ook volledig worden gesteund. Beide problemen kunnen worden ondervangen door toepassing van een onder druk staande steunvloeistof (Bentoniet-suspensies e.d.). De combinatie schildmethode-bentoniet is niet nieuw; de Engelsen en Japanners hebben hiermee reeds eerder ervaringen opgedaan. Nieuw in Duitsland is de regeling van de vloeistofdruk via een tussengeschakeld luchtkussen. Bij deze bouwmethode wordt de tunnel met behulp van roterende messen uitgegraven, terwijl éénmaal per dag de grond te zamen met de steunvloeistof wordt afgevoerd. Door middel van zeven en ontwateren wordt het bentoniet teruggenomen en opnieuw gebruikt.

Het hoofdriool in Hamburg Wilhelmsburg met een lengte van 4,6 km en met een inwendige doorsnede van 3,7 m ontstaat op deze wijze. De rioolbodem bevindt zich 16 m onder de waterspiegel en 21 m beneden het maaiveld. De bodemstructuur bestaat hier uit zand- en grindafzettingen uit de ijstperiode. Tot dusver is een lengte van 1,8 km gerealiseerd bij een voortgang van maximaal 12 m per dag en 197 m per maand. De tunnel wordt opgebouwd uit enkelschalige ringen (fig. 3), wat een reducerend effect op de bouwkosten tot gevolg heeft. Overigens is over het onderhavige onderwerp een uitvoeriger artikel opgenomen in *Cement* nr. 7/1975 (blz. 282-283), naar aanleiding van de Duitse *Betondag* 1975 (fig. 4).

Spuitbeton

Dat de zgn. schildmethode tegenwoordig verschillende varianten kent, blijkt onder meer ook uit de combinatie met de spuitbetontechniek. Deze combinatie leent zich uitstekend bij het uitgraven van tunnels door dichte bodemlagen, ook wanneer hierin slappere lagen en rotsgesteente voorkomen. Nadat de hierbij gebruikte snijranden vooruit gedrukt zijn door

middel van hydraulische vijzels vanuit het ondersteuningsframe volgen het laatstgenoemde en de zgn. egaliseerring. Daarbij komt de uitgegraven tunnelomtrek enkele centimeters vrij en kan dan met spuitbeton worden gestabiliseerd (fig. 5). Tevoren zijn onder bescherming van de egaliseerring stalen spanten gemonteerd en is een wapeningsnet aangebracht. De snijrand wordt gestuurd door het afzetten van het voortbewegingsmechanisme op de omringende grondslag. Correcties in de richting kunnen worden verkregen door de snijrand in de gewenste richting enigszins te kantelen ten opzichte van de langsas. De maximale kanteling bedraagt 6 mm. Op deze wijze kan bij een diameter van de snijrand van 6,60 m een straal van 300 m worden verkregen. Deze bouwmethodiek werd toegepast in vak 20 van de metro in Frankfurt/Main: twee tunnelbuizen van elk 6,60 m diameter werden hier met behulp van de schildmethode uitgegraven bij een voortgangssnelheid van 9,5 m per dag (fig. 5). De verkregen zettingen bleven onder de toelaatbare waarde.

Bevriezen van bodemlagen

De vriestechiek werd in het verleden al meer toegepast bij de uitvoering van civieltechnische werken, zoals onder meer bij de metrobouw in Amsterdam ten behoeve van het koppelen van de via de pneumatische caissonmethode tot stand gebrachte tunnelgedeelten.

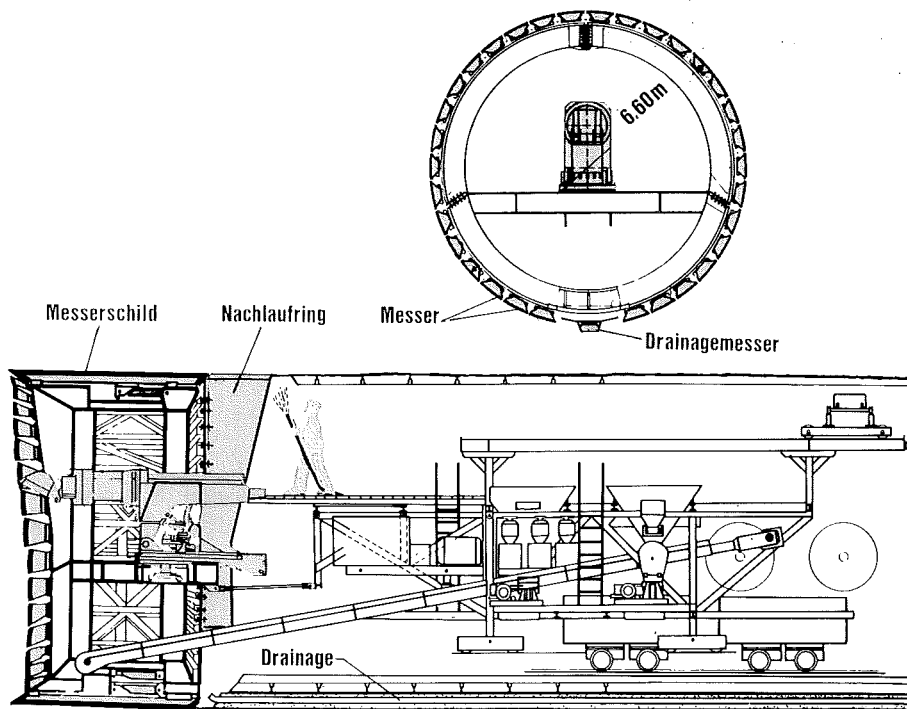
Bij de uitvoering van een gedeelte van de 'S-Bahn' in Stuttgart heeft de vriestechiek ook goede diensten bewezen, hier echter weer voor andere doeleinden. Bij een station met wisselsporen moesten de aansluitende tunnelkokers deels gesitueerd worden in uitgehoogd kalkgesteente dat uiteraard een nogal verweerde structuur bezit. Bij de voorbereiding van dit gedeelte besloot men de bodem ter plaatse te bevriezen vanuit een mijngang die 12 m boven het tracé van de tunnelbuis moest worden geboord. De aannemer voorzag nogal wat moeilijkheden om een dergelijk omvangrijk grondpakket te bevriezen en stelde voor de leiding voor de toevoer van het koelmiddel in de kruin van de aan te brengen tunnelkoker te boren. Met speciale boorschablonen kon de vereiste nauwkeurigheid worden verkregen.

Op deze wijze ontstond een bevroren grondlaag van slechts 2 m waaronder de tunnelbuis kon worden uitgegraven. Ook hier werd de

5

Snijkop met ondersteuningsframe voor tunnelbouw in dichte ondergrond, ook toepasbaar bij een bodemgesteldheid waarin sterk wisselende lagen voorkomen; tegelijk wordt de tunnelwand versterkt met spuitbeton

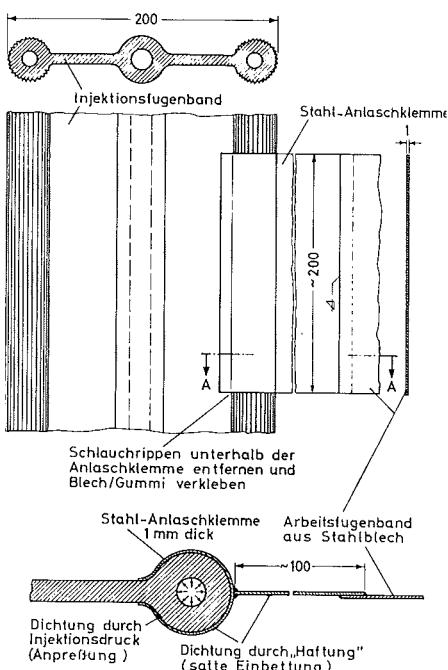
Cutting head with the supporting frame by tunneling in hard subsoil, this method can also be applied in a soil built up from different layers; in the meantime the tunnelwall is reinforced by means of gunite



6

Details van het nieuw ontwikkelde voegenband

Some details of the new developed water-stop



ringvormige doorsnede direct versterkt door het aanbrengen van een spuitbetonlaag waarvan de dikte bovenaan 25 cm bedraagt. De bevroren tunnelwand leverde geen problemen op voor de verharding van het spuitbeton, daar de indringsnelheid van de vorst voor deze verharding voldoende tijd toestond.

Vezelversterkt beton

Interessant was ook een voordracht over het gebruik van staalvezelbeton bij de bouw van ondergrondse constructies. Het staalvezelbeton wordt hier als spuitbeton in het werk gebracht. Daarbij maakt men gebruik van de voor spuitbeton gebruikelijke apparatuur. Gebleken is dat men het beste staalvezels van 25 mm lengte ($\varnothing 0,4$ mm) kan gebruiken die in een hoeveelheid van 3-5 gewichts-% gedoseerd worden. Deze mengsels bewerkstelligen een verhoging van de druk- en slijtsterkte van circa 30%, ofschoon de ervaringen tot dusver een vrij grote spreiding in de sterktecijfers te zien geven.

Een belangrijk voordeel van het gebruik van staalvezelbeton bij ondergrondse constructies is het aanzienlijk grotere vervormingsvermogen. Bij overbelasting zullen deze vezels in het geheel niet scheuren maar worden zij bij toenemende vervormingskrachten langzaam uit het beton getrokken. Tijdens het vervormingsproces kunnen zij dan ook aanzienlijke krachten opnemen. Het vervormingsvermogen van staalvezelbeton bedraagt in de breuktoestand 5 tot 10 maal de waarde van normaal beton.

De prijs van dit produkt is circa DM 200 per m^3 meer dan voor het gebruikelijke spuitbeton. De toepassing is daarom alleen verantwoord wanneer de dikte van de betonring aanzienlijk gereduceerd kan worden.

Nieuwe voegconstructie

Een nieuwe ontwikkeling binnen de Stuva is een speciaal soort voegenband waarmee een aantal nadelen van het gebruikelijk voegenband worden ondervangen (fig. 6). Het ziet er in grote trekken hetzelfde uit als het bekende halterband van rubber. Ofschoon het traditionele band grote voordelen biedt bij het aanbrengen ervan in een constructie, wordt dikwijls geen volledige afdichting verkregen. Daarom zijn de verdikkingen waarmee het voegenband verankerend wordt van een profilering voorzien, wat tegelijkertijd inhoudt dat na het instorten van een dergelijk afdichtingsmiddel met behulp van een kunstharmsmortel moet worden geïnjecteerd.

Verdere voordelen betroffen de materiaalbesparing. De bandbreedte bedraagt slechts 200 mm, terwijl een steviger soort rubber is gebruikt zodat het inbouwen ervan efficiënter verloopt.