



Handling of water pressures up to 8 bar in unstable soils
Reduction of pore water pressure by pumping from wells drilled in the sea bottom

Travaux en sol instable sous des pressions d'eau atteignant 8 bars
Réduction de la pression d'eau dans les porosités par pompage à partir de puits forés dans le fond marin

Longueur totale: 2 x 8 km (7,5 km percés, 0,5 km en tranchée ouverte)
Diamètre: 8,5 m (ext.)
Section: 57 m²
Coût du gros œuvre: 922 millions \$US (prix en 1995)
Durée des travaux: 8 ans
Date de mise en service: 1er juin 1997

Le tunnel Est du Great Belt abrite la ligne ferroviaire dans deux tubes percés reliant Zealand, l'île principale du Danemark, à Sprogø, une petite île au milieu du Storebælt (le Great Belt). D'une longueur de 8 km, le tunnel Est est le deuxième tunnel sous-marin en Europe après le tunnel sous la manche.

Après un tunnel percé et une soumission pour deux tunnels immergés, un contrat pour un tunnel percé a été obtenu dont le projet prenait principalement en compte des considérations environnementales telles la contrainte de ne constituer aucune gêne pour les mouvements des eaux entre la Mer du Nord et la Mer Baltique.

La profondeur de l'eau le long du tracé atteignant 55 m, le tunnel a dû être creusé à une profondeur de 80 m. Les sections principales ont été percées par TBM opérant à pression de terre et pouvant travailler aussi bien en mode fermé qu'en mode ouvert.

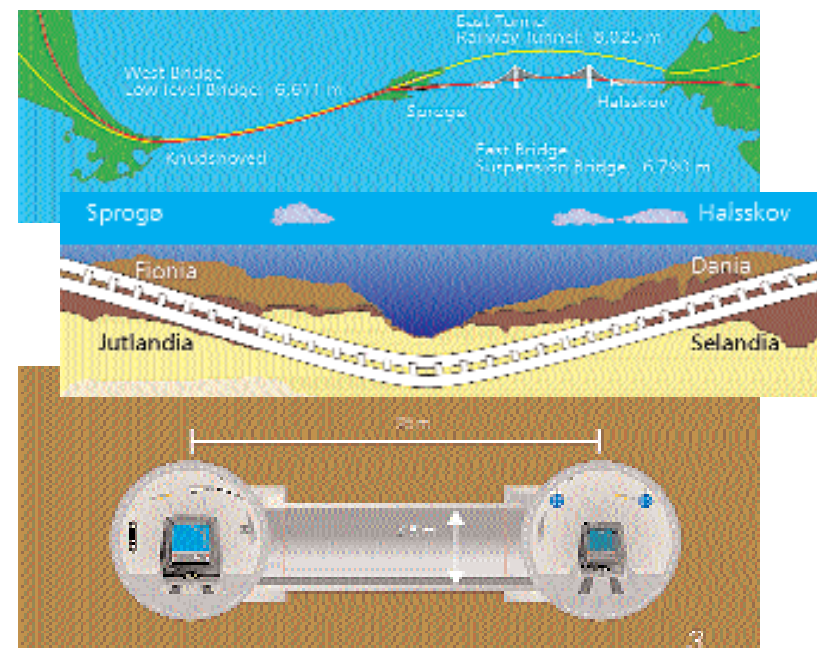
Le long du tracé, le sol est essentiellement hétérogène :

des tills glaciaires recouvrant des formations du paléocène, et des marnes fissurées. Une progression satisfaisante a pu être réalisée dans les marnes (50 % de la longueur) en mode essentiellement clos.

Les tills ont cependant posé de sérieux problèmes :

- effondrement du sol au-dessus et à l'avant du front de taille
- instabilité du front de taille lors des interventions humaines
- dommages considérables par abrasion du fait de la forte teneur en matériau quartzeux des sables, graviers et blocs.

Un élément majeur dans la résolution de ces problèmes était la réduction de la pression d'eau dans les sols entourant le front de taille par pompage à partir de puits forés dans le fond marin. 43 puits assuraient un débit de 3.400 m³/h permettant de ramener la pression d'eau à une valeur inférieure à 3 bars, ce qui a permis de faciliter grandement tous les percements par TBM, y com-



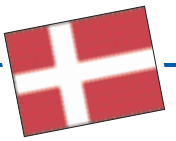
pris les interventions humaines.

30 transversales ont été creusées à la main en utilisant des méthodes de stabilisation variées telles que l'assèchement sous vide, la congélation, l'injection et l'électro-osmose. Ces travaux ont été moins problématiques que prévu, probablement du fait que le percement des sections principales a été l'occasion de développer toute l'attention requise pour faire face aux sols difficiles.

Outre les difficultés liées au sol, les travaux ont été entravés par deux événements accidentels majeurs :

- lors de la maintenance d'un TBM, une porte étanche a été laissée ouverte et est restée sans surveillance pendant tout un week-end. Un entonnoir s'étant formé dans les tills jusqu'au niveau du fond marin, de l'eau de mer a inondé deux TBM et noyé des parties du chantier de Sprogø;
- une inflammation d'huiles hydrauliques a sérieusement endommagé le chemisage de béton qui a dû être réparé dans des conditions extrêmement difficiles.

Ces accidents ont retardé la construction de près de 2 ans.



Name of Project/Nom du projet
Great Belt East Tunnel

Location/Région
Denmark, Entrance Strait to the Baltic Sea

Tunnel Use/Destination du tunnel
Dual Track Railway

Client/Maitre d'ouvrage
The Great Belt AS

Consulting Engineer/Planification et direction des travaux
Cowi-Mott JV

Contractor/Exécution
MT Group (Monberg & Thorsen A/S, Campenon Bernard, Dyckerhoff & Widmann AG, Kiewit Construction Company, Sogea)

Total Length: 2 x 8 km (7,5 km bored; 0,5 km cut & cover)

Diameter: 8,5 m (O.D.)

Cross-Section: 57 m²

Roughwork Costs: US\$ 922 million (1995-prices)

Construction Time: 8 years

Opened: June 1, 1997



The East Tunnel of the Great Belt Link carries the railway line in twin bored tubes between Denmark's main island Zealand and Sprogø, a small island in the middle of Storebælt (Great Belt). With 8 km, the East Tunnel is the second longest underwater

tunnel in Europe after the Channel Tunnel.

After having considered a bored tunnel and two types of immersed tunnels at the tendering stage, a bored tunnel was contracted mainly based on environmental considerations including no acceptance

of hindrances to water movements in and out of the Baltic Sea.

As the water depth in the alignment reaches 55 m, the lowest point of the tunnel was set at 80 m. The main tunnels were bored by 4 TBMs of EPB-type, capable of working in closed as well as open mode.

The main soil profile is inhomogeneous, glacial tills covering paleocene, fissured marls. A satisfactory rate of advance was reached when mining in the marl (i.e. 50 % of the length), handling the water by extensive use of the closed mode.

But serious problems were encountered in the tills, e.g.:

- collapsing ground above and ahead of the TBM-front
- unstable face conditions during manned interventions
- very damaging abrasion caused by the high content of quartzitic material in sand, gravel and boulders.

A major element in solving these problems was the concept of reducing the water pressure in the soil around the front by pumping from wells bored down from the seabed. 43 wells yielding up to

3,400 m³/h brought down the water pressure to under 3 bar, easing all TBM-operations including manned interventions.

30 cross passages were mined by hand using a wide variety of methods to stabilise the ground such as vacuum dewatering, freezing, grouting and electro osmosis. This work caused fewer problems than anticipated, probably because respect for the tricky soil conditions emerged during excavation of the main bores.

In addition to the soil related difficulties the construction work was hampered by two major accidental events:

- during the maintenance of a TBM, a bulkhead door was left open without surveillance over a weekend. As a funnel developed in the tills up to the sea bottom, seawater entered two TBM's and flooded part of Sprogø work site.
- a fire involving hydraulic oil caused serious damage to the concrete lining, which resulted in extremely difficult repair work.

These accidental events caused a delay in the construction work of almost 2 years.