

Grondwaterproblematiek voor de bouw van een spoorwegtunnel te Halle
Hilde Dupont , TUC RAIL NV
Jan Maertens, TUC RAIL NV

Samenvatting

Voor de bouw van de spoorwegtunnel te Halle diende het grondwaterpeil plaatselijk verlaagd te worden. De onderkant van de bodemplaat bevindt zich ongeveer ter hoogte van de top van de Primaire sokkel of op een beperkte diepte in de verweerde sokkel.

De ondergrond ter plaatse bestaat uit Kwartaire afzettingen met daaronder de Primaire sokkel. Voor de bepaling van de hydraulische parameters van de verschillende geologische lagen werden er voor de aanvang der werken vijf pompproeven uitgevoerd. Om een duidelijk beeld te krijgen betreffende de grondwaterstand in het betrokken gebied werden in totaal een tachtigtal peilbuizen geplaatst, deels tijdens de studiefase, deels tijdens de uitvoering van de tunnel.

Op basis van de beschikbare gegevens werd een hydrologisch model opgesteld. Met behulp van het mathematisch model werd getracht de noodzakelijke bemalingsinstallatie voor de uitgravingen te dimensioneren. Om het mathematisch model te kunnen ijken werd er gestart met een proefpomp. Deze proefpomp toonde aan dat het zeer moeilijk was om de werkelijke situatie te simuleren met een mathematisch model. De bemalingsinstallatie werd dan ook verder stapsgewijs opgebouwd.

Abstract

The construction of a railway tunnel needed a lowering of the groundwater level. The excavations had to be performed as far as the top of the bedrock and locally even to some depth into the bedrock.

The subsoil is composed of Quaternary sediments overlying the early Paleozoic basement. The hydraulic characteristics of these geological units have been determined by using pumping tests, executed before the construction started. Eighty open standpipes were installed for measuring the groundwater level.

Based on the obtained geological and hydrological data, a hydrological model of the area was made. A limited groundwater lowering system was installed to evaluate the mathematical model. It showed a large difference between the calculated and the measured values. Therefore it was decided to install the pumping system step by step.

1. Inleiding

Bij de aanleg van de HSL in België, meer specifiek de lijn Parijs-Lille-Brussel, werd de doorgang te Halle als tunnel uitgevoerd. Naast de HSL worden ook de bestaande lijnen voor het binnenlands treinverkeer ondergronds aangelegd.

De werken omvatten de realisatie van een HSL koker met een lengte van 500m en de kokers voor de lijnen 94 en 96 met een lengte van 310m. De uitvoering bestond uit het achtereenvolgens realiseren van de wanden met secansboorpalen, het maken van de dakplaten, het uitgraven in stross van grond- en gesteentelagen en het verwezenlijken van de bodemplaten. Daarnaast was ook de bouw van een pompput en syphon voorzien, beide gelegen onder de bodemplaat.

Voor het uitgraven en het maken van de bodemplaat enerzijds en voor het maken van de syphon en pompkamer anderzijds diende het grondwaterpeil plaatselijk verlaagd te worden. De onderkant van de bodemplaat bevindt zich ongeveer op de top van de sokkel of een beperkte diepte in de verweerde sokkel. Voor de bouw van de pompput en de syphon diende er in de al dan niet verweerde sokkel uitgegraven te worden.

Om de noodzakelijke bemaling te dimensioneren is een grondige geologische en hydrogeologische kennis van de ondergrond vereist. In het betrokken gebied werd dan ook een uitgebreid geotechnisch-geologisch onderzoek uitgevoerd en werden er een tachtigtal peilbuizen geplaatst om het grondwaterpeil continu te volgen. Ter plaatse van de tunnel bedroeg het oorspronkelijk grondwaterpeil in rust ongeveer + 33 à +35. Voor de bouw van de syphon en de pompkelder diende het grondwaterpeil tijdelijk te worden verlaagd tot +25.

2. Geologische opbouw van de ondergrond

De ondergrond van het gebied bestaat uit (van jong naar oud) :

- Kwartair
- Ieperiaan¹
- Primaire sokkel

¹ benaming volgens de geologische kaart 1/40 000

Een schematische doorsnede van de ondergrond ter plaatse van de tunnel is weergegeven in figuur 1. De Kwartaire afzettingen bestaan voornamelijk uit zandhoudende klei, leem, kleihoudend fijn zand met verspreide silexkeien en plaatselijk grindlaagjes. De klei- en leemlagen worden steeds in het bovenste gedeelte aangetroffen. De totale dikte van het Kwartair varieert tussen 7 en 15m. In een aantal boringen werd er tussen het Kwartair basisgrind en de top van de al dan niet verweerde sokkel groen fijn glauconiethoudend zand aangetroffen dat mogelijk tot het Landeniaan behoort. Direct onder het Kwartair of onder het Landeniaanzand wordt de Primaire sokkel aangetroffen.

De Primaire sokkel behoort tot het Massief van Brabant, de oudste geologische structuur van de Belgische ondergrond. Het Massief heeft een anticlinale structuur waarbij de belangrijkste as wegduikt naar het west-noordwesten. De kern wordt gevormd door gesteente van Laat-Precambrische tot Vroeg-Cambrische ouderdom, bekend als Tubize groep. De gesteente aangeboord in de tunnelzone te Halle behoren tot deze Tubize groep en werden ongeveer 550 miljoen jaar geleden afgezet. Het sokkelgesteente bestaat uit een afwisseling van grijsgroene zandsteen, siltsteen en fyllade. De gesteenten worden gekenmerkt door een steile gelaagdheid en een overwegende noordwest-zuidoost strekking, zodat de lagen loodrecht staan op de lengterichting van de tunnel. Daardoor wordt de grootste variatie in lithologie aangetroffen volgens die lengterichting van de tunnel. Het sokkelgesteente vertoont grote verschillen in verweringsgraad zodat de diepte waarop de top van de niet verweerde sokkel wordt aangetroffen op korte afstand sterk varieert. Plaatselijk is de Primaire sokkel tot op grote diepte verweerd. Zoals ter hoogte van de syphon waar een boring van 30m diepte, tot op +8, werd uitgevoerd zonder de top van het niet verweerd gesteente te bereiken (cfr. De Schrijver, e.a., 1994).

3. Hydrogeologie

De tunnel is gelegen tussen enerzijds het kanaal Brussel-Charleroi en anderzijds de dicht bebouwde St. Rochuswijk gelegen op een helling. Op deze helling komt de Ieperiaanklei en het Landeniaanzand nog voor tussen de Kwartaire deklaag en de Primaire sokkel (zie figuur 2). Ter plaatse van B1, B2 en B3 werden er telkens 3 open waterstandspijpen geplaatst respectievelijk in het Kwartair (a), Landeniaan (b) en de Primaire sokkel (c). Uit de opmetingen kan worden afgeleid dat er 2 watertafels zijn namelijk een vrije watertafel in het Kwartair en een gespannen watertafel in het Landeniaan en de Primaire sokkel. De Ieperiaanklei fungeert als scheiding tussen deze twee watertafels. Ter plaatse van de tunnel is er maar één watervoerende laag, gevormd door het Kwartair en de Primaire sokkel aangezien de Ieperiaanklei er niet meer voorkomt.

Vijf pompproeven werden uitgevoerd ter bepaling van de hydraulische parameters van het Kwartair, het verweringsmateriaal en de bovenste zone van de Primaire sokkel. Uit de resultaten van de pompproeven werd een doorlatendheidscoëfficiënt van 10^{-5} m/s tot plaatselijk 10^{-4} m/s afgeleid. Ook Lugeonproeven werden uitgevoerd ter bepaling van de doorlatendheid van de sokkel. Zij gaven een doorlatendheid die varieerde tussen 10^{-5} m/s in de verweerde rots tot 10^{-8} m/s in het onverweerd gesteente. Deze grote variatie in permeabiliteit is te verklaren door de vlugge opeenvolging van de sterk hellende Paleozoïsche lagen met verschillende lithologie en verweringsgraad. Ook dient er rekening te worden gehouden met de macropermeabiliteit, welke aanwezig is in sterk gespleten zone's.

4. Modelling van de evenwichtstoestand

In eerste instantie werd getracht om de evenwichtstoestand voor de start der werken te simuleren met behulp van het programma AQUA.

Het programma AQUA is ontwikkeld voor het oplossen van problemen met betrekking tot grondwaterstromingen en transport van pollutanten in een poreus medium. Het programma maakt gebruik van de eindige-element methode gebaseerd op het algoritme van Galerkin.

4.1 Begrenzing van het model

Het betrokken gebied maakt deel uit van het hydrografisch bekken van de Zenne. De Zenne loopt ook door het modelgebied van zuidwest naar noordoost. Op basis hiervan werden de grensvoorwaarde als volgt bepaald :

- zuidwest en noordoost grens : no flow
- noordwest en zuidoost grens : opgelegd waterpeil
- Zenne : opgelegde waterpeilen

4.2 Hydraulische parameters

Het model bestaat uit 2 lagen gescheiden door een semi-permeabele laag (= Ieperiaanklei). Voor de simulatie van de evenwichtstoestand in rust werden in het model de volgende parameters gebruikt :

- voor laag 1, die in grote lijnen overeenkomt met het Kwartair :
 - ° permeabiliteit k : $k_x = k_y = k_z = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s
 - ° bergingscoëfficiënt $S = 1\%$
 - ° infiltratie = 180 mm/jaar
 - ° geen anisotropie

- voor laag 2 (sokkel) :
 - ° permeabiliteit k : $k_x = k_z = 8 \cdot 10^{-5}$ m/s
 $k_y = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s
 - ° bergingscoëfficiënt $S = 10^{-3}$ voor het deel dat freatisch is en 10^{-5} voor het deel dat captief is
 - ° anisotropie : hoofdrichting k_x loodrecht op de tunnel en k_y evenwijdig met de as van de tunnel en loodrecht op de strekking

- voor de semi-permeabele laag, gelegen tussen laag 1 en 2 :
 - ° permeabiliteit $k = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s
 - ° De dikte van de laag wordt bepaald door de basis van laag 1 en top van laag 2. In de zone waar de klei afwezig is valt de basis van laag 1 samen met de top van laag 2.

5. Dimensioneren van de bemalingsinstallatie voor de syphon

In het model 'evenwichtstoestand' werden de reeds gerealiseerde secanswanden ingebracht door middel van een weinig doorlatende zone. Aangenomen werd dat de wand gans het Kwartair en een beperkt deel van de sokkel afschermt. Aangezien dat de sokkel in het model één laag vormt werd de palenwand in deze laag gesimuleerd door middel van wijziging van de permeabiliteit. Figuur 3 toont voor een aantal peilputten een vergelijking tussen de

berekende grondwaterpeilen van het model HAL 5 'evenwichtstoestand in rust met palenwand' en de opgemeten waterpeilen.

Ter controle van het mathematisch model werd er gestart met een proefpomp, met 5 pompputten ter plaatse van de te bouwen syphon. Gedurende twee weken draaide de proefbemaling waarbij de debieten van de pompputten en het grondwaterpeil in de omgeving dagelijks werden opgemeten. Het totale opgepompte debiet bedroeg $12 \text{ m}^3/\text{u}$. Met het model HAL 5s werd deze toestand gesimuleerd. De vergelijking van de berekende waarden met de opgemeten waarden voor een aantal peilputten gelegen in de omgeving van de syphon worden weergegeven in figuur 4. Hieruit blijkt dat de berekende verlagingen kleiner zijn dan de opgemeten verlagingen zowel voor de Kwartaire laag als voor de sokkel. Door het verlagen van de doorlatendheid en het invoeren van spletenzone's werd getracht om de werkelijke toestand beter te simuleren maar dit gaf ook geen bevredigende resultaten.

Ook in opdracht van de aannemer werd er door Smet Boring een mathematisch model opgesteld. Bij vergelijking van de resultaten van de proefpomp met de door hun berekende resultaten bleek dat :

- de werkelijk opgepompte debieten een factor 2 kleiner waren dan de berekende debieten,
- de berekende verlagingen waren ook kleiner dan de opgetreden verlagingen en
- de invloed van de bemaling op het grondwaterpeil in de omgeving was groter dan de berekende invloed, m.a.w. de invloed van de secanspalenwand werd door het model overschat.

Deze proefpomp toonde aan dat het zeer moeilijk was om de werkelijke situatie te simuleren met een mathematisch model. Uit de proefpomp was ook gebleken dat de pompputten voldoende diep in de rots moesten geboord worden en dat het debiet van een pomput niet voorspelbaar. Het opgepompte debiet varieerde per pomput tussen 0.8 en $2.8 \text{ m}^3/\text{u}$.

Omdat het niet mogelijk bleek om met behulp van een mathematisch model de te verwachten debieten en de te verwachten afmaling met een voldoende nauwkeurigheid te voorspellen werden er geen verdere berekeningen uitgevoerd. Omdat ook de opbrengst van de pompputten zeer sterk varieerde diende de bemalingsputten stapsgewijs te worden bijgeplaatst tot de gewenste verlaging werd verkregen. In totaal werden er 14 pompputten geplaatst.

Nabij de tunnelinrit kant Lembeek waar er tot in de niet verweerde primaire sokkel diende te worden gegraven, werd plaatselijk een open bemaling toegepast. Het toestromend water werd er via een ingegraven drain afgevoerd.

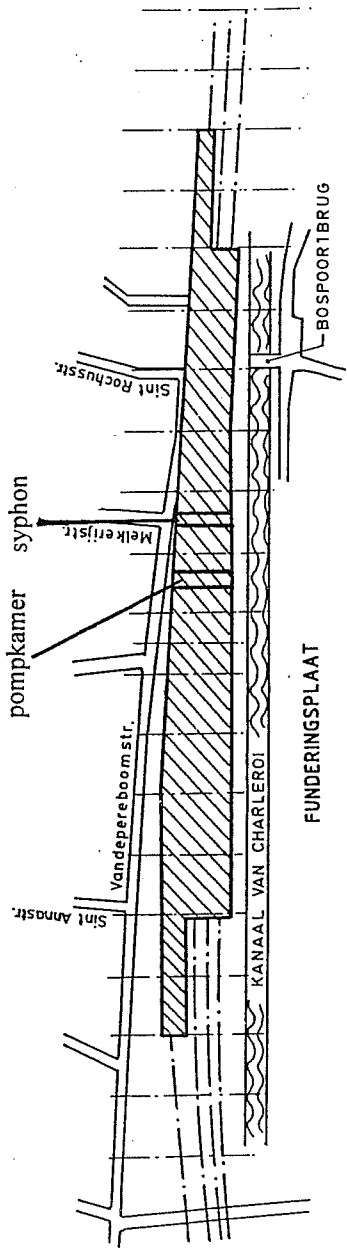
6. Besluit

De ervaring opgedaan bij de bouw van de spoorwegtunnel te Halle toont aan dat het bij zeer complexe geologische en hydrogeologische situaties niet altijd mogelijk is om met behulp van een mathematisch model betrouwbare voorspellingen te maken van de op te pompen debieten en van de te verwachten invloed van een bemaling. Ook na het uitvoeren van meerdere pompproeven en doorlatendheidsproeven kon er geen duidelijk beeld verkregen worden betreffende de globale doorlatendheid van de ondergrond.

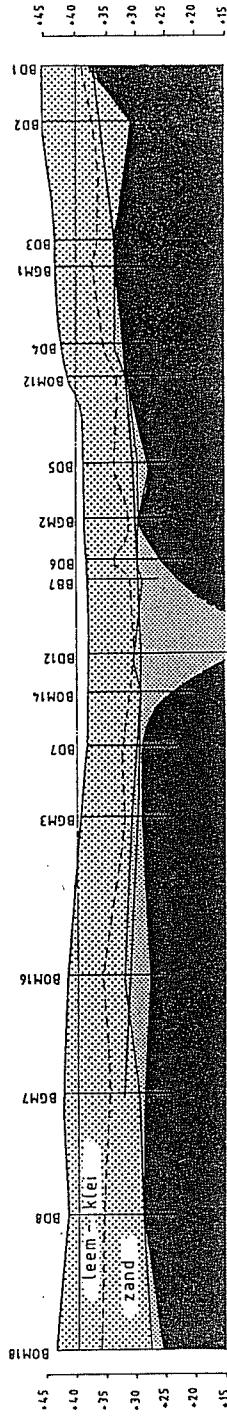
Zoals de praktijk uiteindelijk heeft aangetoond bestaat de aangewezen methode er in dergelijke gevallen uit om de bemalingsinstallatie stapsgewijs op te bouwen tot de gewenste verlaging wordt verkregen. In de eindfase was het opgepompte debiet duidelijk kleiner dan hetgeen aanvankelijk werd verwacht.

REFERENTIES

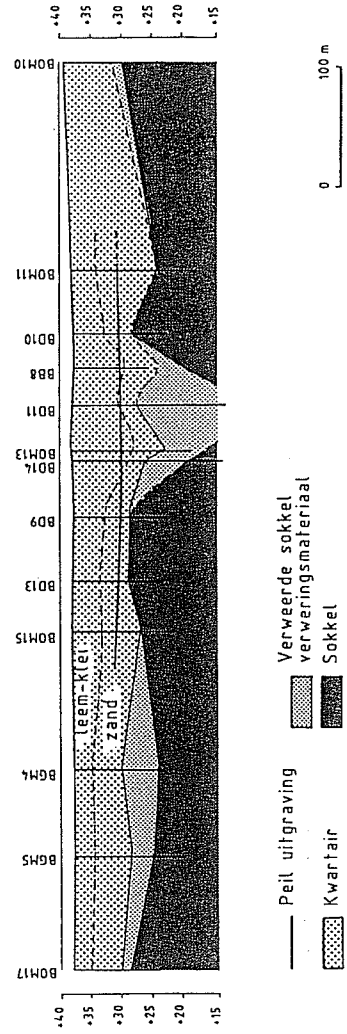
- (1) Geotechnisch en geologisch onderzoek bij de bouw van de NMBS - Tunnel te Halle-
P. De Schrijver, G. De Geyter e.a. - Colloquium BCIG - 1994.



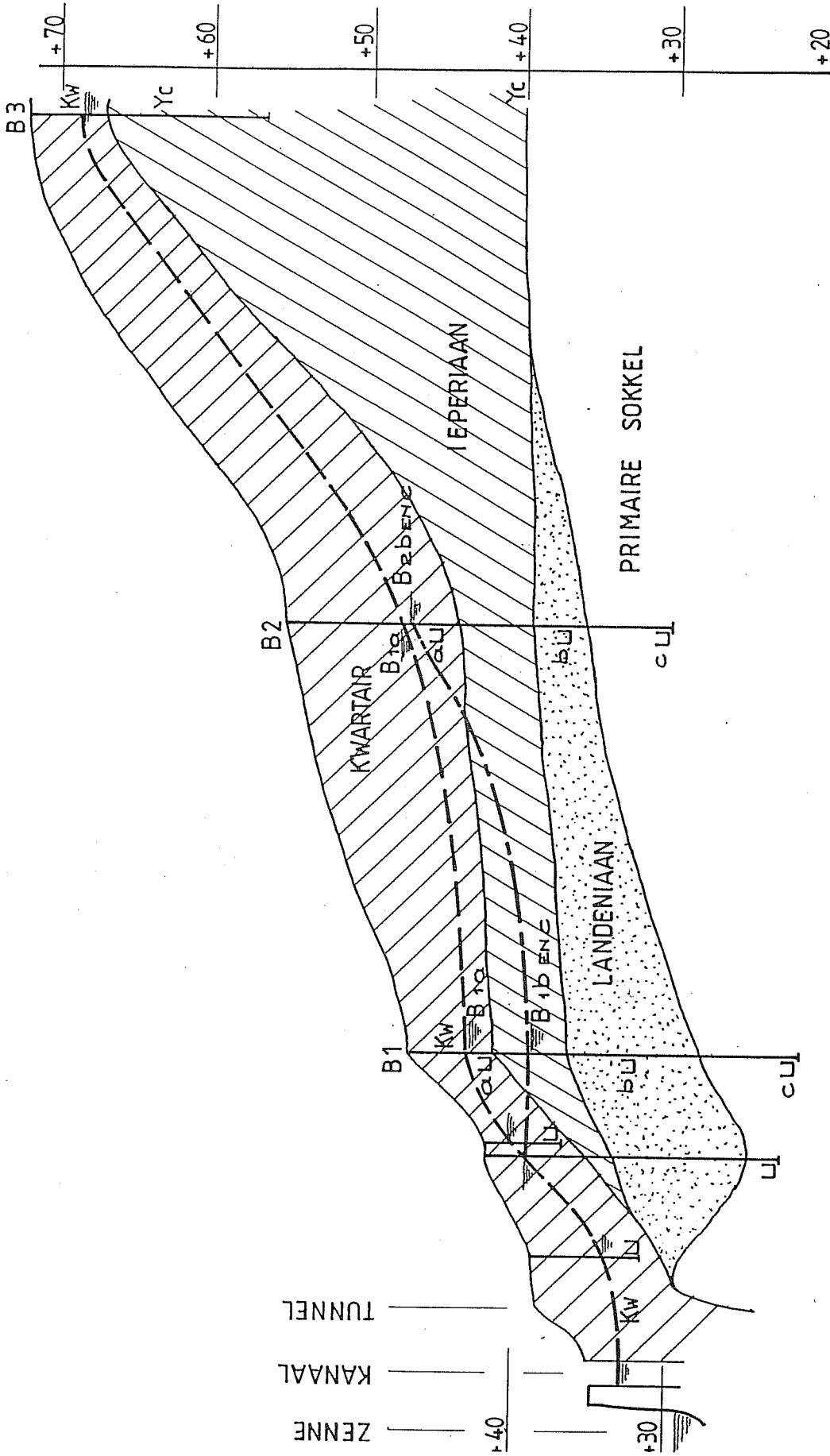
Lengteprofiel kant helling St. Rochusstraat



Lengteprofiel kant kanaal



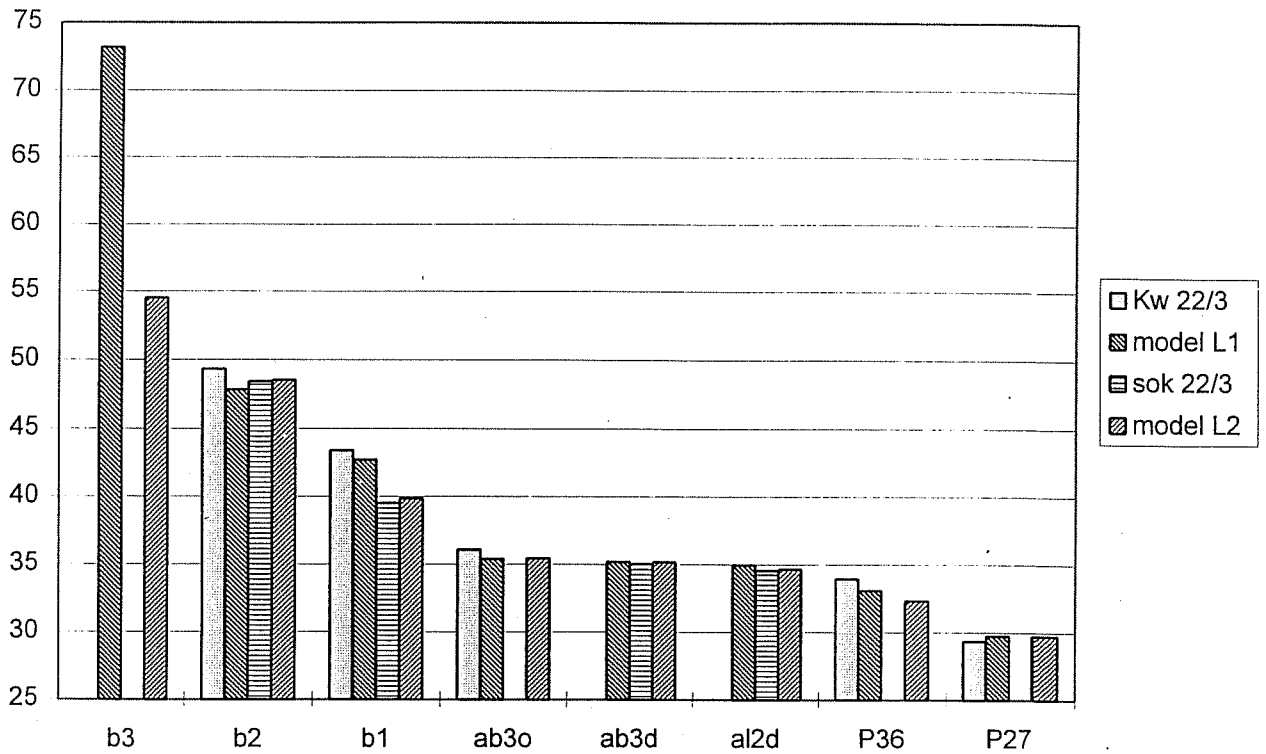
Figuur 1 : Planzicht en geologisch lengteprofiel (cfr. De Schrijver e.a., 1994)



Figuur 2 : Hydrogeologische situatieschets

legende : vrije watertafel : — — —
gespannen watertafel : - - - - -

Figuur 3 : Vergelijking model HAL 5 met opgemeten waterstanden



Figuur 4 : Vergelijking model HAL 5s (debiet : 12m³/u) met opgemeten waterstanden

