



Beheersing grondwater Metrostation CS, Rotterdam

Het nieuwe Metrostation Rotterdam CS

Als onderdeel van het RandstadRailproject wordt het Metrostation CS in Rotterdam verbouwd om te kunnen voldoen aan het toekomstige reizigersaanbod. Onlangs is het nieuwe metrostation gedeeltelijk in gebruik genomen. Voor de verbouwing van Metrostation CS zijn (spannings-) bemalingen noodzakelijk. Tijdens het bouwproces bleek grondwater een belangrijke factor, waarbij specifieke engineering nodig was voor tal van grondwatervraagstukken.

Bij de geohydrologische adviezen is gebruik gemaakt van een numeriek model, opgezet met het eindige-elementenprogramma MicroFem. Het model beslaat een oppervlakte van circa 47 km² en omvat de bodemlagen vanaf maaiveld tot de geohydrologische basis op een diepte van meer dan 100 m.

De grootte van de geohydrologische parameters is bepaald aan de hand van de gegevens uit het Rotterdams Bodemarchief (RoBIS) en het grondwaterinformatiesysteem van TNO Bouw en Ondergrond (REGIS). Ter plaatse van het metrostation en de directe omgeving zijn de geohydrologische parameters geoptimaliseerd op basis van een pompproef.

Ingenieursbureau Gemeentewerken

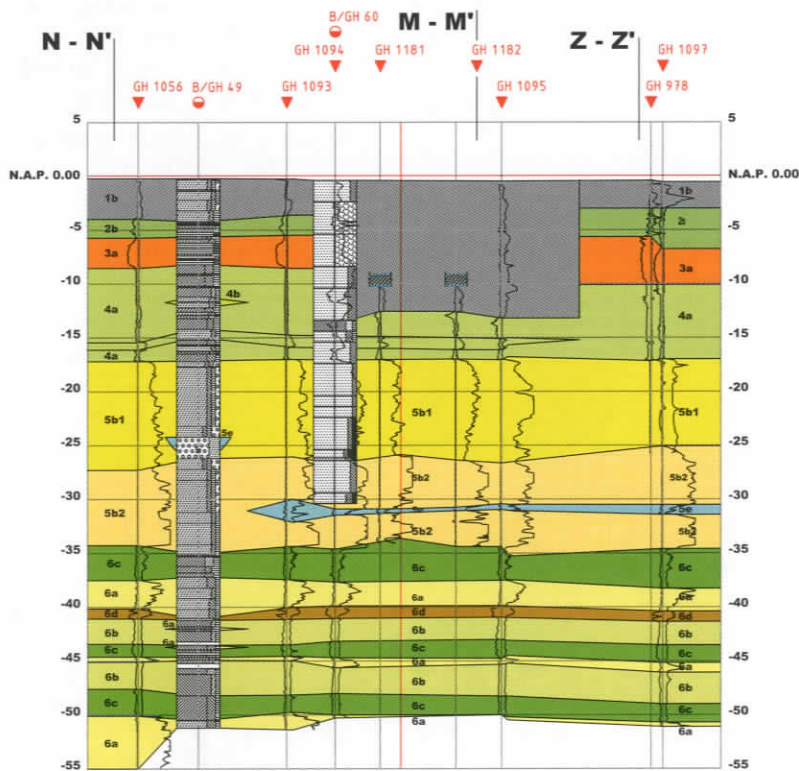
Rotterdam heeft het ontwerp van het Metrostation CS verzorgd en voert de directie over de uitvoering van het werk.

Opbouw van de ondergrond

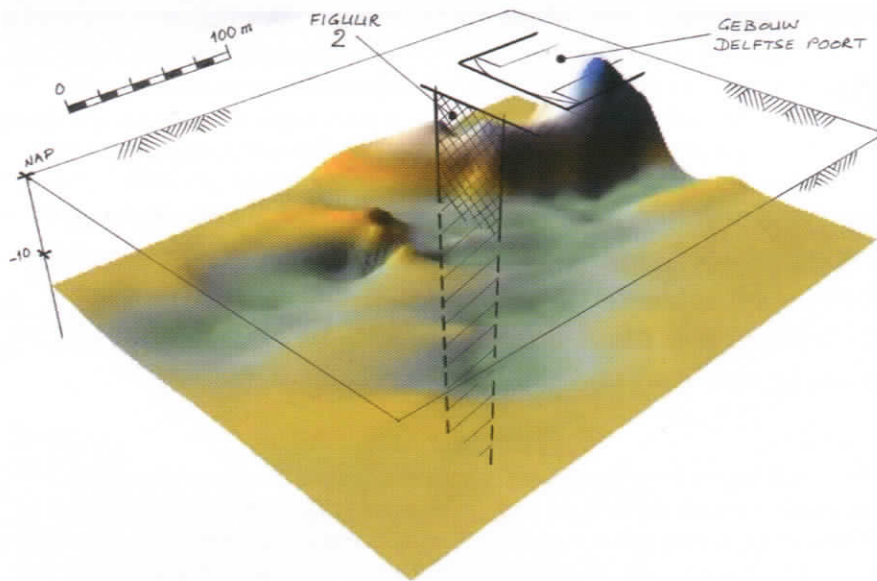
De ondergrond van Rotterdam bestaat uit een 10 tot 20 m dikke holocene deklaag gelegen op een eerste watervoerend pakket, opgebouwd uit pleistocene rivierafzettingen. Dit eerste watervoerende pakket heeft een dikte van 15 à 20 m. Hieronder bevinden de eerste scheidende laag en het tweede watervoerende pakket. De basis van het geohydrologische systeem is aangenomen op een diepte van circa NAP -100 m. Het bovenste deel van de deklaag bestaat uit opgebrachte grond. Dit antropogene pakket heeft een grotere doorlatendheid

dan de holocene deklaag. Daarnaast komen binnen de holocene deklaag lokaal zandige insluitingen voor, hoofdzakelijk rivierduinafzettingen, die plaatselijk in contact staan met het onderliggende, watervoerende pakket. Op het Stationsplein zijn de grondopbouw en de grondwaterstroming nauwkeuriger in kaart gebracht ten behoeve van het rekenmodel vanwege de volgende aspecten:

- De aanwezigheid van een in oost-west richting lopend kanaal, dat is opgevuld met zandig materiaal. Hierin bevindt zich de in 1968 in gebruik genomen metrotunnel (tot NAP -10 m). De tunnelelementen zijn via het kanaal naar hun plaats getransporteerd en vervolgens afgezonken. Vanwege de



Figuur 2: Geotechnisch dwarsprofiel met opgevuuld kanaal ter plaatse van gebouw Delftse Poort



Figuur 3: Ruimtelijk beeld van de bovenkant van de zandige pakketten nabij gebouw Delftse Poort

tunnelbuis wordt ter plaatse van het zandkanaal de freatische grondwaterstroming loodrecht op het kanaal gedeeltelijk gehinderd.

- Een donk (rivierduin) van variërende dikte, ter plaatse van het gebouw Delftse Poort (Nationale Nederlanden), die een tussenzandlaag vormt in de klei- en veenlagen (tussen NAP -13 en -16 m). Plaatselijk is de onderliggende kleilaag (vrijwel) geheel afwezig, waardoor de donk direct contact maakt

met het pleistocene pakket. Ook was contact tussen de donk en het zandkanaal, gezien de diepteligging van het kanaal, niet uitgesloten (figuur 2).

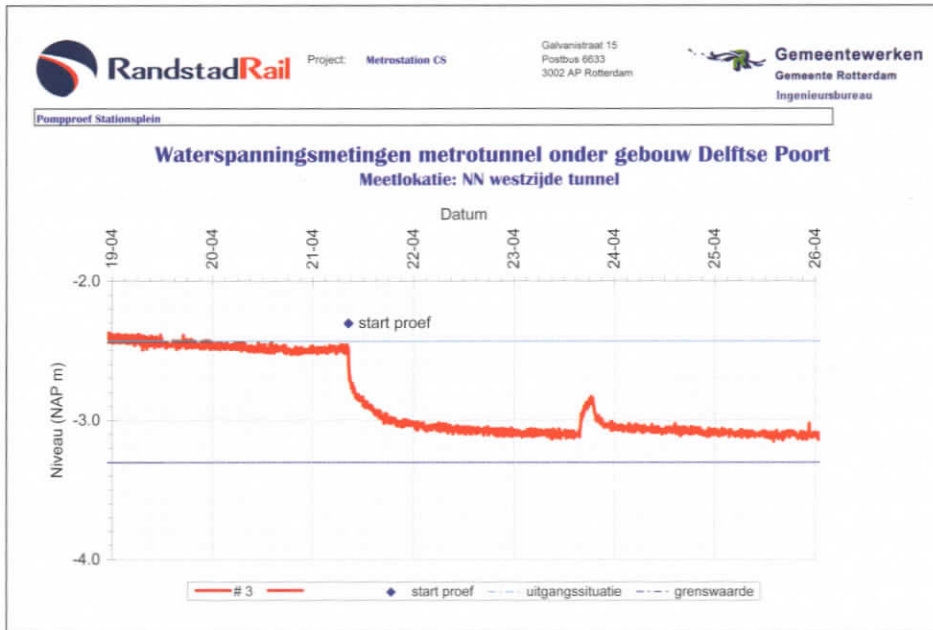
Op basis van boor- en sondeergegevens is voor de omgeving van het Stationsplein een ruimtelijk beeld gemaakt van de ondergrond. Hierbij is aandacht besteed aan de verbreiding van de donk, zowel in horizontale als in verticale richting, en van de restdikten van de holocene

deklaag aan de boven- en onderzijde van de donk (figuur 3).

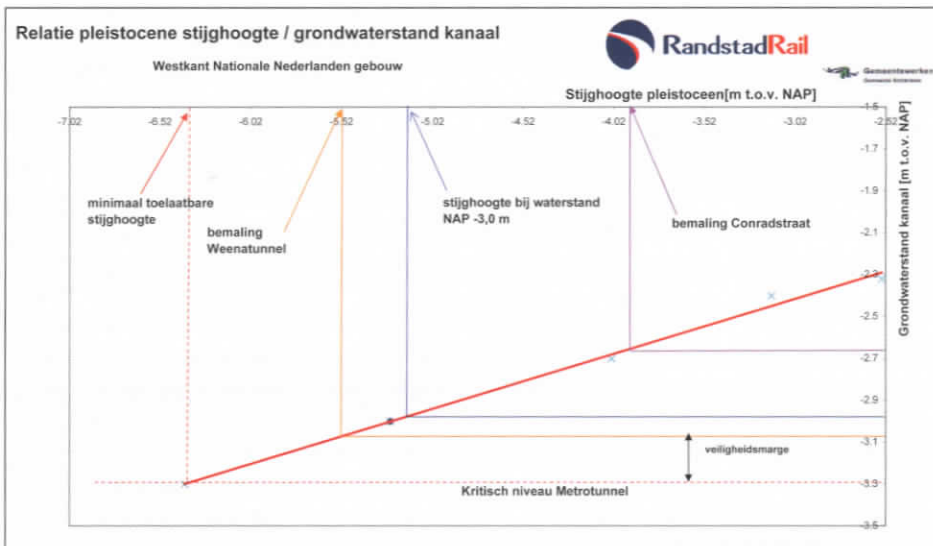
Pompproof

Voor verschillende werkzaamheden bij het Metrostation CS is een spanningsbemaling noodzakelijk. Tijdens het ontgraven van een bouwput kan een verstoring van het evenwicht tussen grond en water in de diepere lagen ontstaan. Dit kan welvorming of opbarsten van de bouwputbodemp tot gevolg hebben. Door het toepassen van spanningsbemaling wordt de grondwaterdruk onder de bodem van de bouwput zoveel verlaagd (stijghoogteverlaging), dat gevaar voor opbarsten wordt voorkomen. Normaal gesproken wordt het freatische grondwater (ondiepe grondwater), bij de Rotterdamse grondgesteldheid, hierdoor nauwelijks beïnvloed. Bij de complexe grondopbouw rondom het Stationsplein zal de invloed van de spanningsbemaling echter, als gevolg van mogelijk hydrologisch contact tussen de verschillende watervoerende pakketten, tot in het freatische pakket merkbaar kunnen zijn. Hierdoor kunnen bij een spanningsbemaling grondwaterstandsverlagingen optreden in het freatische pakket. Een verlaging van de freatische grondwaterstand kan een probleem worden, omdat het gebouw Delftse Poort destijds (jaren tachtig van de vorige eeuw) over de bestaande metrotunnel is gebouwd. Door het gewicht van het gebouw zal de paalfundering onder de metrotunnel meezakken. Om de diepteligging van de metrotunnel te waarborgen is daarom, tijdens de bouw van Nationale Nederlanden-gebouw, een nieuwe paalfundering aan weerszijden van de tunnel aangebracht, waaraan de metrotunnel is opgehangen. Door middel van vizels zijn de zettingen in de ondergrond nadien gecompenseerd.

Voor de dimensionering van deze constructie is rekening gehouden met een zekere opwaartse grondwaterdruk onder de tunnel. Indien het freatisch vlak om welke reden dan ook wordt verlaagd, bestaat de kans dat de ophangconstructie wordt overbelast, wat uiteraard onacceptabel is. Om de integriteit van de ophangconstructie te waarborgen, mag de freatische grondwaterstand onder dat gedeelte van de metrotunnel niet dalen tot onder NAP -3,3 m. Vanwege de kwetsbaarheid van de ophangconstructie van de metrotunnel



Figuur 4: Respons van de waterspanningen onder het gebouw Delftse Poost tijdens de pompproef



Figuur 5: Relatie tussen stijghoogte in het pleistoecene zandpakket en grondwaterstand in het kanaal



Figuur 6: Aanbrengen van één van de infiltratiepunten

en de complexe geohydrologische situatie is in 2004 een pompproef op het Stationsplein uitgevoerd om te onderzoeken in welke mate een bemaling in het pleistoecene zandpakket de freatische grondwaterstand kan beïnvloeden.

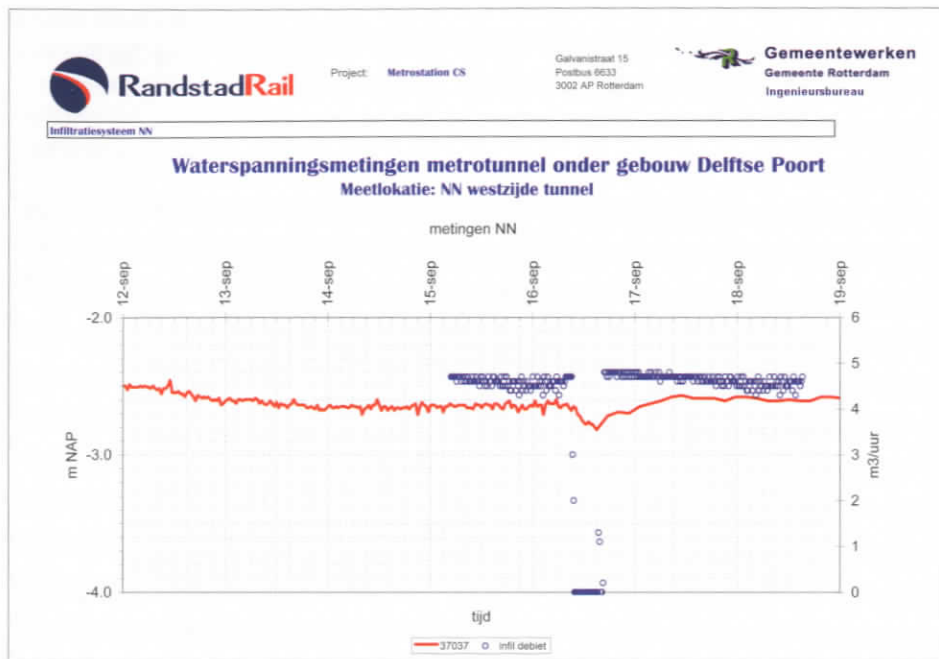
De pompproef is uitgevoerd met onttrekkingsfilters die zo dicht mogelijk bij de metrotunnel zijn geplaatst. Eén deel van de proef is uitgevoerd door grondwater uit het pleistoecene pakket te onttrekken, het tweede deel van de proef door grondwater te onttrekken aan het zandkanaal. Het tweede deel van de pompproef is gebruikt voor de bepaling van de weerstanden van het kanaal en de zanddonk. Figuur 4 toont de respons van de waterspanningsmeter tijdens deel 1 van de proef; een onttrekking in het eerste watervoerende pakket tot NAP -6 m bij de bron.

Bij de uitwerking van de pompproef zijn stapsgewijs steeds complexere modellen gebruikt.

In eerste instantie zijn de bodemparameters met behulp van analytische methoden bepaald. Deze theoretische modellen hebben als nadeel dat geen rekening kan worden gehouden met een verschil in doorlatendheid in horizontale richting of met een sterk in dikte variërende laag.

In verband met een zeer sterk in dikte variërende tussenzandlaag (de donk), die bovendien waarschijnlijk contact maakt met zowel het onderliggende watervoerende pakket als met het bovenliggende zandkanaal, is de pompproef met het numerieke model van Rotterdam gesimuleerd. Op basis van de laagdikten en gemiddelde parameterwaarden is voor elke modellaag een aangepaste parameterset (doorlaatvermogen of hydraulische weerstand) opgesteld en in het model ingevoerd. Tevens is, door een zekere mate van anisotropie in het model in te voeren, rekening gehouden met de aanwezigheid van de tunnelbuis binnen het zandkanaal.

Uit de analyses van de pompproef volgt dat sprake is van hydraulisch contact tussen het zandkanaal en het pleistoecene pakket. Om ter plaatse van de ophangconstructie van de metrotunnel een peil van ten minste NAP -3,30 m te kunnen garanderen mag de stijghoogte in het pleistoecene pakket als gevolg van een spanningsbemaling op het Stationsplein



Figuur 7: Respons van de waterspanningen onder het gebouw Delftse Poort tijdens het uitvallen van het infiltratiesysteem

niet verder worden verlaagd dan tot NAP -6,40 m (figuur 5).

Bij een spanningsbemaling op een andere locatie, bijvoorbeeld aan de oost- of noordzijde van het Nationale Nederlanden-gebouw gelden, vanwege de bodemopbouw, mogelijk andere eisen voor de toelaatbare stijghoogteverlaging. De verwachte spanningsverlagingen bij de bemalingen rondom het Stationsplein waren aanleiding om aanvullende maatregelen te treffen om de integriteit van de ophangconstructie te kunnen garanderen. Hiertoe is een infiltratiesysteem in de metrotunnel geïnstalleerd, waarmee de freatische grondwaterstand in het zandkanaal op peil kan worden gehouden.

Infiltratiesysteem

Het infiltratiesysteem dat door het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam is ontworpen, en in overleg met Forteck is geoptimaliseerd, bestaat uit twee keer vijf infiltratiepunten aan weerszijden van de tunnel. Figuur 6 toont een foto tijdens het aanbrengen van één van de infiltratiepunten.

Voor het gebruik gelden de volgende randvoorwaarden:

- De freatische grondwaterstand mag niet dalen onder NAP -3,0 m (veiligheidsmarge; dit komt overeen met een

stijghoogteverlaging tot NAP -5,25 m);

- Zowel het debiet als de injectiedruk worden in grootte beperkt tot 1,5 m³/uur respectievelijk 25 kPa, om erosie/kratervorming in de grond en scheurvorming/uitspoeling van grond te voorkomen;
- Het systeem moet zelfregulerend zijn, omdat uit de pompproef volgde dat het grondwater in het kanaal relatief snel reageert op stijghoogtevariëaties in het eerste watervoerende pakket.

Het infiltratiewater is afkomstig uit het eerste watervoerende pakket, omdat het te infiltreren water een laag zuurstofgehalte moet hebben en het systeem over langere perioden moet kunnen functioneren. In de twee geplaatste bronnen is naast een stijgleiding tevens een injectieleiding aangebracht om een overschot aan opgepompt water te retourneren. Het hele systeem is online te sturen en te volgen.

Op 16 september 2008 is het systeem uitgevallen vanwege kortsluiting en een daaropvolgende brand in de systeemkast. Op dat moment was de spanningsbemaling voor aanleg van de Weenatunnel actief (met een stijghoogteverlaging tot NAP -6 m). Figuur 7 toont de metingen van één waterspanningsmeter, aangebracht onder de vloer van de metrotunnel onder Nationale Nederlanden.

De tendens gedurende de eerste uren gaf aan dat de freatische grondwaterstand rondom de metrotunnel beneden de grenswaarde van NAP -3,3 m zou kunnen dalen. Als gevolg van de brand is tijdelijk overgeschakeld op handbediening en is de freatische waterstand binnen korte tijd hersteld.

Noodzaak infiltratiesysteem

Kennis van het grondwaterregime is essentieel voor de uitvoering van ondergrondse werken in Rotterdam. Vanwege het gelijktijdig toepassen van (spannings)bemalingen in verschillende projecten in het centrum van Rotterdam, en vanwege de complexe bodemopbouw is een driedimensionaal EEM-model onontbeerlijk.

Uit de pompproef bleek dat er sprake is van hydraulisch contact tussen het zandkanaal en het eerste watervoerende pakket. Op basis van deze resultaten en uit berekeningen met het rekenmodel bleken aanvullende maatregelen noodzakelijk (onder andere het infiltratiesysteem), om het risico op schade in de omgeving te minimaliseren. Bij het toepassen van spanningsbemalingen in de omgeving van het Stationsplein met een stijghoogte lager dan NAP -5,25 m, is het gebruik van een infiltratievoorziening noodzakelijk om de integriteit van de metrotunnel te waarborgen. ■

Bronnen en referenties

- [1] Analysis and evaluation of pumping test data, second edition. ILRI publication 47. ILRI, Wageningen, 1994.
- [2] Thumann, V.M., Hannink, G. and Doelder, B.R. de (2009), "Ground Freezing and Groundwater Control at Underground Station CS in Rotterdam". Proc. 17th Int. Conf. on Soil Mech. and Geotechn. Eng., Alexandria, 5 - 9 October 2009, p. 2560 - 2567

Ing. B.R. de Doelder, ir. A.F.M. Slot,
Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam