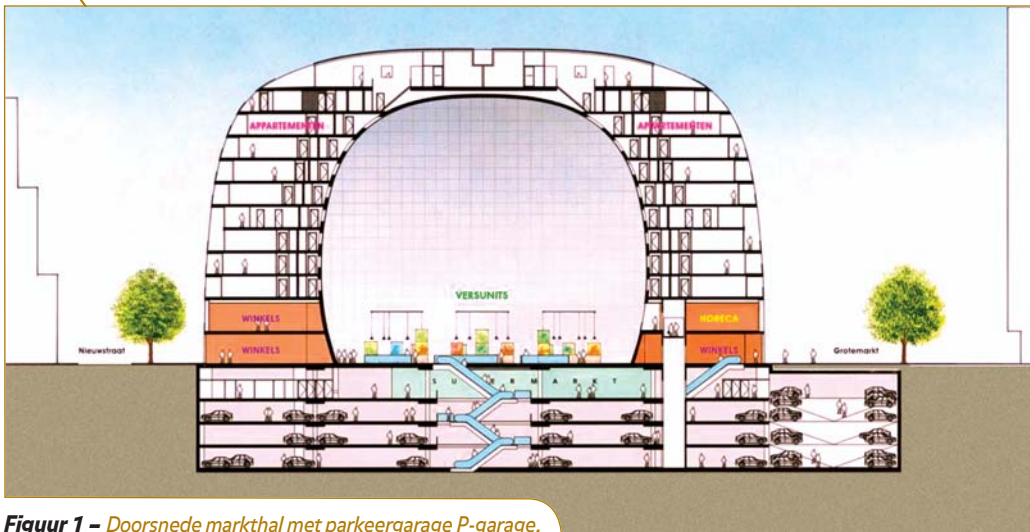


Bouw Markthal in Rotterdam (1)

ing. B.R. de Doelder
Ingenieursbureau
Gemeentewerken
Rotterdam



ing. T.J.M. de Wit
Geomet



Figuur 1 – Doorsnede markthal met parkeergarage P-garage.



Figuur 2 – Foto overzicht bouwput. BRON: PROVAST

Inleiding

Het project Markthal Rotterdam betreft de bouw van een markthal met een 4-laags parkeergarage aan de Grote Markt te Rotterdam. De bouw van de parkeergarage is voorzien in 2009 – 2012 en de bovenbouw zal volgens planning medio 2014 gereed zijn. De parkeergarage wordt gerealiseerd in een bouwkuip omsloten door combiwanden. Historische vondsten in de ondergrond maar ook sloop van een bestaande parkeergarage en aanwezigheid van bestaande verzwaarde puntpalen hebben veel aandacht gevraagd tijdens het ontwerp. In de directe omgeving van de projectlocatie zijn een aantal kwetsbare gebouwen aanwezig, waaronder de Laurenskerk en Blaak 10. Ingeni-

dam hebben samen het geotechnisch en geohydrologisch ontwerp verzorgd en de uitvoering van het werk begeleid. Dit artikel beschrijft het ontwerp en de uitvoering van de bemalingsinstallatie die bestaat uit open bemaling en een spanningsbemaling. Er is beschreven hoe de grondopbouw en geohydrologie sterk bepalend zijn geweest voor het uiteindelijke ontwerp. Verder wordt in het artikel nader ingegaan op de complicerende factoren zoals bestaande funderingen en de wens tot archeologisch onderzoek.

Bodemopbouw – geohydrologie

De ondergrond van Rotterdam bestaat uit een 10 tot 20 meter dikke Holocene deklaag gelegen op

een eerste watervoerend pakket, opgebouwd uit Pleistocene rivierafzettingen. Dit eerste watervoerende pakket heeft een dikte van 15 à 20 meter. Hieronder bevinden zich een eerste scheidende laag en een tweede watervoerend pakket, beide bestaande uit afzettingen van de Formatie van Kedichem (thans Formatie van Waalre genoemd). 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.

Dit heeft consequenties voor het opbarstniveau in de bouwput. De opbouw van de Kedichemlaag is aan de westzijde normaal voor Rotterdam met ca 20 meter in hoofdzaak kleihoudende lagen vanaf ca NAP- 30 meter. Aan de oostzijde is sprake van een afwijking met tussen ca NAP- 30 en -42 meter in hoofdzaak zandlagen, zie figuur 3. Over deze diepte zijn wel dunne kleihoudende lagen aanwezig, maar omdat deze op wisselende diepten worden aangetroffen staan de zandlagen tot NAP- 42 meter waarschijnlijk in verbinding met het pleistocene zandpakket. Op ca NAP-42 meter wordt een kleilaag aangetroffen met een variabele dikte van 1,5 tot 4 meter. Deze kleilaag is waarschijnlijk wel aaneengesloten, maar gezien de geringe dikte is dat niet geheel zeker.

Ontwerp bouwput en fundering

In een vroeg stadium zijn in overleg met de constructeur DHV en de opdrachtgever diverse bouwputvarianten onderzocht op technische haalbaarheid, risico's en bouwkosten. Een 7- of 8-laagse ondergrondse parkeergarage met diepwanden tot in de Kedichemlaag leek in eerste instantie een aantrekkelijke optie. Gezien de aanwezigheid van dikke zandlagen in het Kedichempakket zouden de diepwanden echter deels tot NAP- 45 meter moeten worden aangebracht. Tevens was aanwezigheid van de kleilaag op NAP- 42 meter over het gehele oppervlak niet geheel zeker. Deze variant is daarom als te risicovol beschouwd. Een 3-laags parkeergarage

Samenvatting

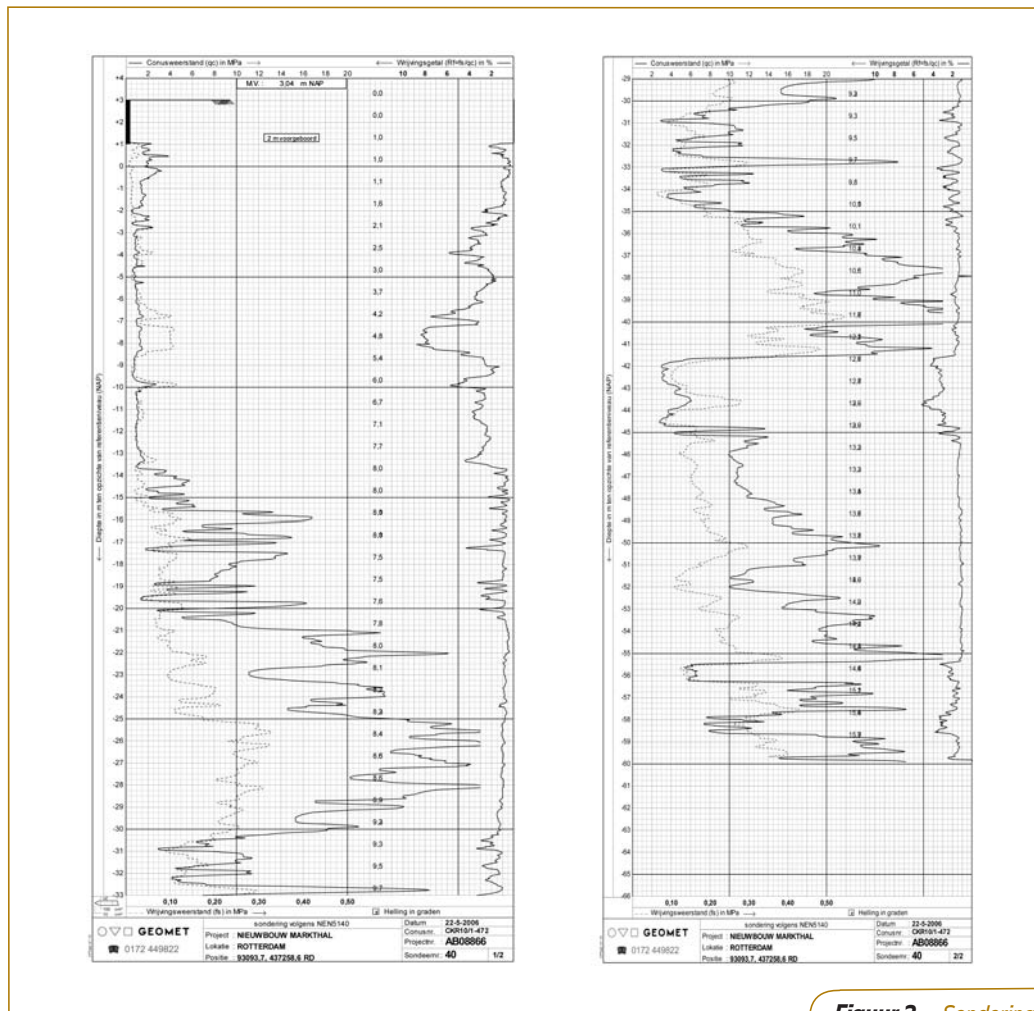
Het project Markthal betreft de bouw van een markthal met eronder een 4-laags parkeergarage nabij Station Blaak te Rotterdam. De bouw van de parkeergarage met voorafgaand archeologisch onderzoek vereiste o.a. een forse spanningsbemaling en dat bleek een grote uitdaging. De krappe planning, de complexe geo-hydrologische situatie, de afstemming met andere grote bemalingen in de

stad en de nabijheid van oude zettingsgevoelige bebouwing zoals de Laurenskerk maakten een slimme en zorgvuldige aanpak noodzakelijk. Dankzij een goede engineering van de betrokken partijen verloopt de bemaling voorspoedig zonder noemenswaardige invloed naar de omgeving.

met groter oppervlak is eveneens beschouwd. Een belangrijk voordeel bij deze variant was dat hierbij een droge ontgraving zonder onderwaterbeton kon worden toegepast. Hierbij zou wel een relatief zware spanningsbemaling nodig zijn. Uit een onderzoek naar de omgevingsinvloeden is gebleken dat dit alleen toelaatbaar was voor de omgeving als de ontgravingsdiepte zou worden beperkt door reductie van de constructiehoogte. Verder zou een mogelijke extra spanningsbemaling in geval van lekkages van de bouwputbodem niet acceptabel zijn voor de omgeving. Tot slot was bij deze variant sprake van een ongunstig damwandontwerp door aanwezigheid van een slappe veenlaag net onder het ontgravingsniveau. Op basis van de variantenstudie is gekozen voor de aanleg van een 4-laags parkeerkelder. De hiervoor benodigde bouwput voor de Markthal bestaat uit:

- 420 meter combiwand: buizen 1012 mm x 11 mm met tussenplanken AZ14-770 o.k. buis op NAP-21 meter en onderkant tussenplanken op NAP-16 m.
- betonnen stempelraam met balken h.o.h. 14,3 meter x 15,6 meter. In de gebruiksfase is het stempelraam geïntegreerd met de -1 vloer van de parkeergarage;
- onderwaterbetonvloer met dikte 1,35 meter en bovenkant op NAP-10,2 meter en plaatselijk NAP-11,2 meter. De onderwaterbetonvloer is deels gewapend, voor nadere informatie hierover zie artikel in Cement 2010/4.
- 2200 Vibrocombinatie palen Ø510 en Ø610 mm o.k. paal is NAP-26 meter voor drukpalen en NAP-29 meter voor trekpalen.
- 122 stalen buispalen Ø610 mm tbv ondersteuning stempelraam o.k. paal is NAP-26 meter.
- 83 Vibropalen Ø510 mm buiten het 4-laags gedeelte van de parkeergarage o.k. paal is NAP-26 meter.

Aandachtspunt in het ontwerp is dat het maaiveldniveau aan de zuidzijde bijna 2 meter hoger is gelegen dan dat aan de noordzijde van de bouwput. Daardoor ontstaat een onbalans in horizontale druk op het stempelraam. Dit is ondervangen door aan de zuidzijde boven het stempelraam een rij tijdelijke groutankers aan te brengen. In de gebruiksfase wordt het verschil in gronddruk opgenomen door de constructie van de Markthal. Voorafgaand aan het installeren van de paalfunde-



Figuur 3 – Sondering.

ringen diende archeologisch onderzoek plaats te vinden met een droge ontgraving tot NAP-6,0 à -7,5 meter. Hiervoor was een spanningsbemaling noodzakelijk. In een vervolgartikel zal hier nader op worden ingegaan. Tevens is de bestaande parkeergarage gesloopt binnen een gedeeltelijk open bouwput, waarna deze is aangevuld met zand. Na het heiwerk is de gehele bouwput droog ontgraven tot NAP-4,0 meter met lokaal sleuven tot NAP-6,0 meter in verband met archeologisch onderzoek. Tijdens deze fase is een spanningsbemaling uitgevoerd in verband met het verticaal evenwicht van de bouwputbodem. Daarna is de bouwput met water gevuld tot 2,0 m+ NAP en is verder in den natte ontgraven tot NAP-12,1 meter

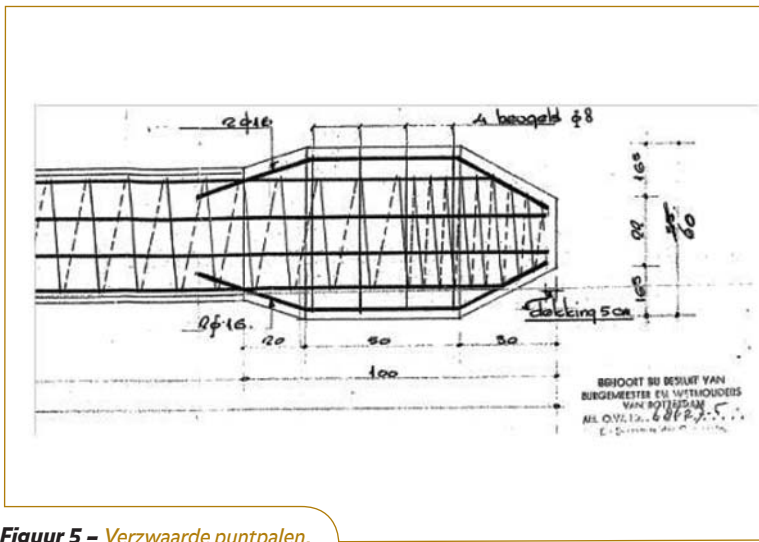
en lokaal NAP-13,1 meter. Vervolgens is het onderwaterbeton gestort. Tijdens en na het leegpompen van de bouwkuip is opnieuw een spanningsbemaling uitgevoerd teneinde de opwaartse waterdruk op de onderwaterbetonvloer te reduceren. De spanningsbemaling in deze fase is uitgeschakeld na het storten van de -4 vloer.

Oude fundering

Rond 1960 zijn ter plaatse van de Markthal een school en een parkeergarage gebouwd en gefundeerd op heipalen met verzwaarde punt. Gezamenlijk staan onder de garage en de school 317 palen. Hiervan staan er 41 buiten de grote bouwput. Het puntniveau van de palen varieerde tussen



Figuur 4a – Markthal na storten OW beton & droogzetten.



Figuur 5 – Verzwaarde puntpalen.



Figuur 6 – Stempelraam en oude funderingspalen.

NAP-17 en -21 meter.

Deze palen zijn onder het niveau van de onderwaterbeton afgekapt. Een deel ervan is geheel verwijderd om plaats te maken voor de nieuwe fundering van de Markthal. Uiteindelijk is ervoor gekozen om 35 oude palen geheel te verwijderen. Dat was een complexe operatie gezien de grote afmeting van de paalpunten, in veel gevallen vierkant 690 mm. Bij het trekken van de oude palen is een grote diameter stalen casing ingetrild tot onder het paalpuntniveau en is de paal gelijktijdig met de casing getrokken. Tijdens het trekken is het paalgat van onderaf met een losse lans

afgevuld met Dämmer om kortsluitingen en kwelstromen te voorkomen. In aanvang werden veel problemen ondervonden met het passeren van de casing langs de verzwaarde paalvoeten. Uiteindelijk zijn de meeste palen succesvol verwijderd, maar in enkele gevallen is de voet afgebroken en in de grond achterbleven.

Het trekken van de oude palen is niet alleen kostbaar maar heeft ook risico's, met name verstoring van de ondergrond en het ontstaan van gaten in afsluitende lagen. Welvorming langs getrokken palen of lekkage langs achterblijvende paalschach-

ten met verzwaarde punt is als een belangrijk potentieel risico beschouwd in de fase van droog ontgraven. Ook lekkage langs de nieuwe vibrocombinatiepalen was niet uit te sluiten vanwege het diepe paalkop- en groutniveau. Het was op voorhand onzeker of lekkages voldoende beheersbaar zouden zijn met open bemaling op de bouwputbodem. Daarom is als beheersmaatregel in het bemalingsplan rekening gehouden een spanningsbemaling die de stijghoogte verlaagt tot het niveau van de ontgraven bouwputbodem. Hier is wel een maximum verlaging tot NAP- 6,0 meter aan gesteld in verband met omgevingseffecten. Zonder welvorming of lekkage was tijdens de droge ontgraving een stijghoogteverlaging tot NAP- 4,5 meter nodig in verband met het verticaal evenwicht van de deklaag. Uiteindelijk zijn geen zichtbare lekkages opgetreden tijdens de droge ontgraving. Dit is waarschijnlijk mede te danken aan de horizontale opspanning van de holocene deklaag vanaf NAP -12 meter door de nieuwe funderingspalen.

Modellering van de grondwatersituatie

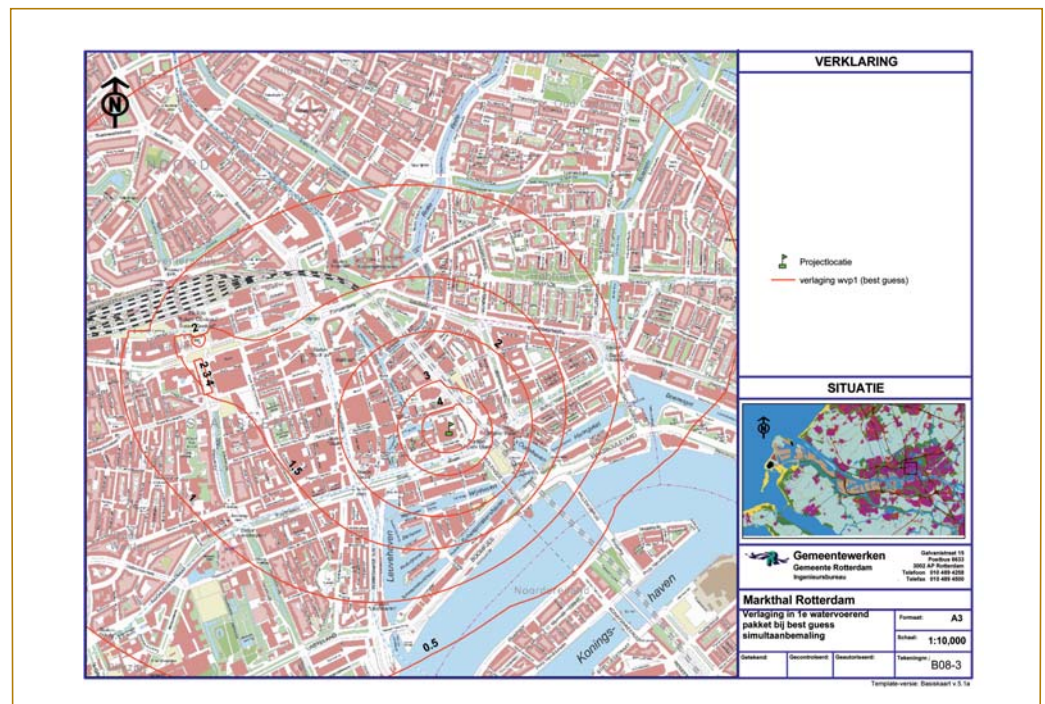
Ten behoeve van de bepaling van de effecten van spanningsbemalingen in Rotterdam is een numeriek geohydrologisch model opgezet, waarvoor het eindige elementen programma MicroFem is gebruikt. In het model zijn opgenomen het eerste en tweede watervoerend pakket, de Holocene deklaag en de antropogene toplaag in het centrum van Rotterdam (omvang 10 km²). Binnen het Holoceen is plaatselijk rekening gehouden met de aanwezigheid van een tussenzandlaag, terwijl het Pleistocene watervoerend pakket is opgedeeld in een drietal modellen om onvolkomen bronnen goed te kunnen modelleren. In totaal omvat het model zes lagen. De waarden voor de geohydrologische parameters zijn ontleend aan de

Grondwaterkaart van Nederland en aan REGIS en zijn vervolgens gekalibreerd op basis van langjarige meetgegevens van het Grondwatermeetnet Rotterdam. In de jaren '90 is nabij de Markthal de Willemspoortunnel gebouwd waarbij oa. station Blaak is gebouwd binnen een zgn. diepwandkuip. Tevens zijn ter bescherming van de Laurenskerk, die op minder dan 20 m afstand van de bouwput voor de Willemspoortunnel was gelegen door de toenmalige aannemerscombinatie Willemspoortunnel (KWT) extra voorzieningen getroffen om de effecten van de bemalingen ter plaatse van de Laurenskerk zoveel mogelijk te beperken. Het gaat hier om:

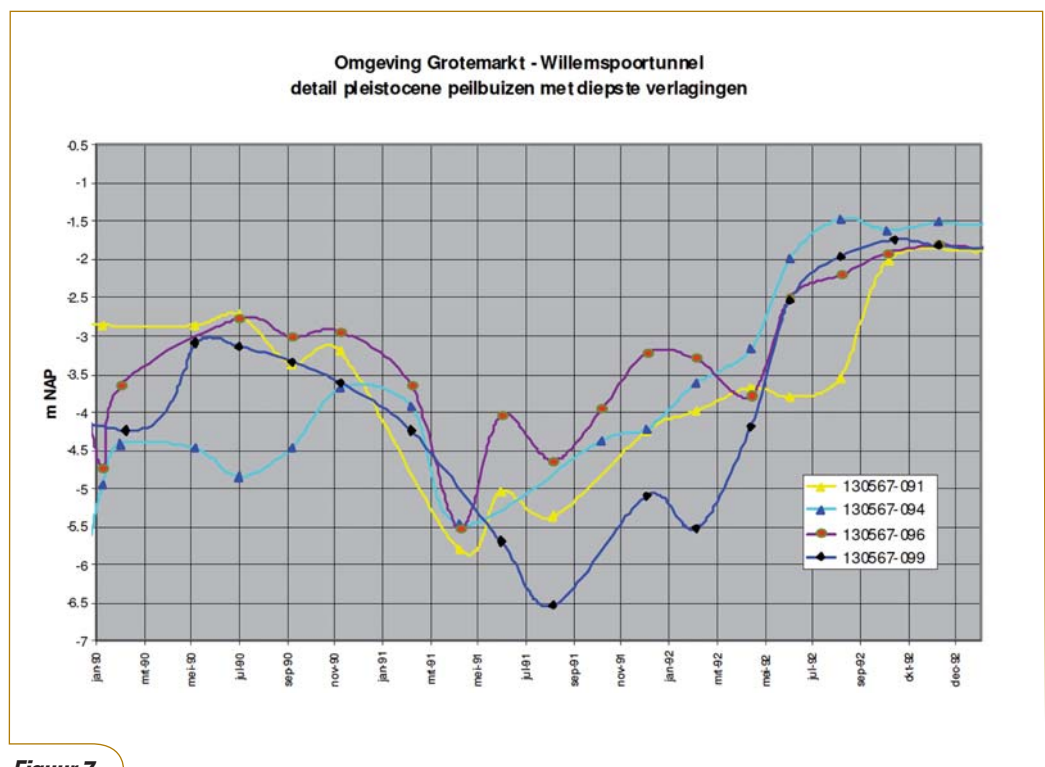
- Waterremmende wand tussen de bouwput en de Laurenskerk met een lengte van 300 m (jetgroutwand).
- Retourbemaling, aan noord- en zuidzijde van de Laurenskerk door middel van een lijn met retourbronnen.

Het effect van de combiwand rondom de bouwput van de Markthal op de grondwaterstroming is vooral merkbaar in de toplaag en Holocene deklaag. In het Pleistocene watervoerend pakket is er geen noemenswaardige invloed omdat de tussenplanken niet doorlopen in de zandlaag. Voor het lekwater door de combiwand (freatisch en bovenste deel van het Holoceen pakket) is uitgegaan van een weerstand (c-waarde) van circa 200 dagen. Voor de diepwand van station Blaak is een weerstand aangehouden van 200 dagen, de jetgroutwand evenwijdig aan de Willemspoortunnel heeft een weerstand van 1 dag, e.e.a op basis van modelberekeningen en grondwaterstanden uit Prowat. Door de relatief korte afstand tot de Nieuwe Maas is op de locatie sprake van getijdewerking met een amplitude van gemiddeld 0,10 m in de stijghoogte (0,15 m bij springtij) waarbij de waterstand in rivier varieert van NAP +1,5 m tot NAP -0,5 m. In het model is gerekend met een vast rivierpeil van NAP 0,0 m. Het waterbezwaar voor de spanningsbemaling van de Markthal is sterk afhankelijk van het actief zijn van andere (spannings)bemalingen in het centrum van Rotterdam. Daar zowel de planning van de onderhavige bemaling als van de andere bemalingen aan wijzigingen onderhevig is, is het exacte verloop van de bemaling niet vast te stellen. Daarom zijn voor de vergunningaanvraag 3 verschillende scenario's berekend:

1. Stand alone bemaling: Alleen bemaling voor het project Markthal (NAP -6 m);
2. Best guess: Simultane bemaling voor project Markthal (NAP -6 m) en de projecten Rotta Nova Metrostation centraal station en Kruisplein;
3. Maximale simultaanbemaling: Simultane bemaling voor project Markthal, Rotta Nova, Metrosta-



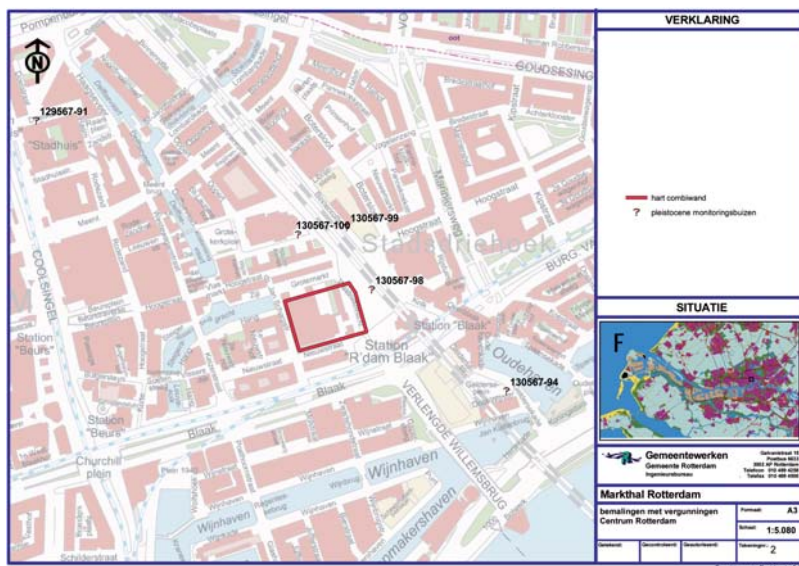
Figuur 7 – Verlagingscontouren best guess scenario.



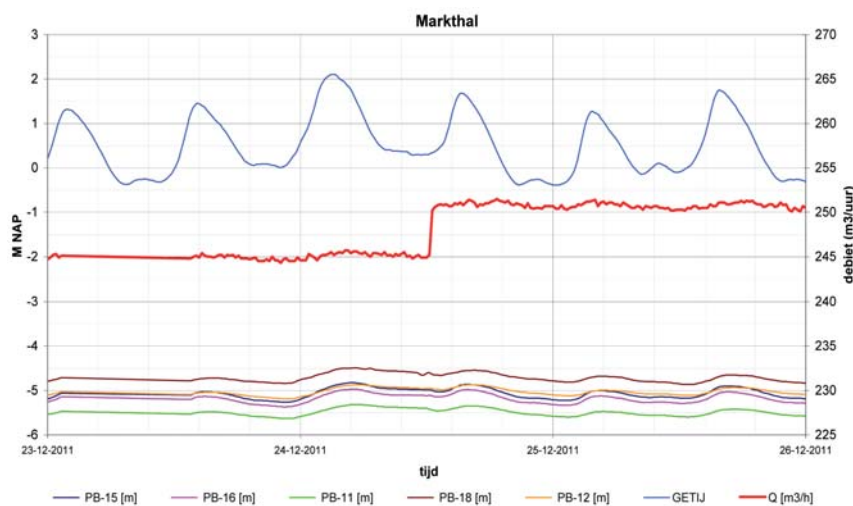
Figuur 7

| Peilbuis | nabij | Laagste peil m NAP | Datum | Duur verlaging |
|----------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| 10-03 | Laurenskerk | -8,5 -7,5 | 1961 1966 | 4 maanden 6 maanden |
| 28-21 | Witte huis / Blaak 10 | -6,8 -5,5 | 1966 1966 | 4 maanden 5 maanden |
| 27-01 | Oude Bibliotheek | -6,8 -5,0 | 1966 1964-1965 | 4 maanden 12 maanden |

Tabel 1



Figuur 9



Figuur 10 - Relatie stijghoogte 1e watervoerend pakket en getijde in rivier.

tion centraal station, Weenatunnel en Kruisplein. De berekende verlagingcontouren voor de best guess zijn weergegeven in figuur 6. De berekende verlaging ter plaatse van de onttrekkingsputten is bij dit scenario 4,9 m. De invloedssfeer van de spanningsbemaling (afstand van de 0,05 m-verlagingcontour tot de bouwkuip) is voor scenario best guess 3,6 km in noordwestelijke richting. Uiteindelijk is een bemalingsinstallatie ontworpen bestaand uit 9 bronnen met het zwaartepunt van de onttrekking aan de zuidzijde van de bouwput. De reden voor deze opbouw is:

- Grote watertoevoer vanuit de rivier.
- Minimalisering van invloed van de bemaling op de Laurenskerk.

Historische bemalingen

Ten behoeve van het archeologisch onderzoek is, uitgaande van een droge ontgraving met spanningsbemaling, nagegaan tot welke diepte (=stijghoogteverlaging) maximaal kan worden ontgraven waarbij de historische stijghoogte bij de zettingsgevoelige panden in de omgeving qua tijdsduur en verlaging niet wordt overschreden. Om dit niveau te bepalen is oa. gebruik gemaakt van de grondwatergegevens uit het achtergrondmeetnet van Gemeentewerken Rotterdam (Prowat). Hierin zijn meetgegevens opgenomen sinds de jaren '50. In de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw vonden in het grondgebied van Rotterdam veel bemalingen in het eerste watervoerende Pleistocene pakket

plaats zowel t.b.v. bouwputten voor o.a. de metrolijn als ten behoeve van enkele grote industrieën zoals Oranjeboom in het Oude Noorden. De grootste waargenomen historische verlagingen van de stijghoogte in het 1ste watervoerend pakket zijn weergegeven in tabel 1.

Figuur 8 toont gegevens van Pleistocene peilbuizen van Prowat in de omgeving van de Grote Markt en de plaats van de peilbuizen is weergegeven in figuur 9.

Hieruit blijkt een laagste historische stijghoogte in het Pleistoceen van circa NAP -6,5 m in peilbuis 130567-099 in augustus 1991. Deze buis staat circa 180 m ten noordoosten van de projectlocatie aan de Grote Markt aan de oostzijde van de Willemspoortunnel (zie locatiekaart op figuur 9). Op basis van maximale historische verlaging en verlagingduur is geconcludeerd is dat de stijghoogte in het 1e watervoerend pakket ter plaatse van de Laurenskerk maximaal gedurende een half jaar mag worden verlaagd tot NAP -5,5 m. De maximale stijghoogteverlaging in de bouwput wordt mogelijk beïnvloed door de oude jetgroutwand en de aansluiting bij de diepwand van station Blaak en evt. andere ondergrondse (bouwput) objecten. Voor het archeologisch onderzoek zijn verschillende opties doorgerekend om de beste uitvoeringsmethode, rekeninghoudend met de gestelde randvoorwaarde, te kunnen adviseren. Hierbij is gevarieerd met de volgende factoren:

- aantal diepe bronnen;
- invloed van de jetgroutwand/diepwand.
- combinatie met andere bemalingen (bijv. Weenatunnel).

Uit de berekeningen volgt dat in de bouwput Markthal tot NAP -6,5 à NAP -7,0 meter zonder het criterium qua stijghoogteverlaging bij de zettingsgevoelige panden te onderschrijden.

Uitvoering

Door de bronneerder (Tjaden) is een bemalingsplan opgesteld. Er zijn in totaal negen bronnen geplaatst:

- Vier bronnen, boordiameter 350 mm, filter van NAP -20,0 tot -30 m en een capaciteit van 45 m³/uur;
- Vijf bronnen, boordiameter 450 mm, filter van NAP -20,0 tot -30 m en een capaciteit van 55 m³/uur.

De installatie is handgeschakeld. Het functioneren van de bronnen en de grondwaterstand in het 1e watervoerend pakket is bewaakt met drukmeters in peilbuizen. Rondom de bouwput zijn acht peilbuizen geplaatst en tevens zijn peilbuizen geplaatst in de filtergrind omstorting van de bronnen. De drukmeters zijn samen met magnetische flowmeters (per bron) opgenomen in een con-

tinue meet/alarmeringsysteem (Priva). Het priva meet- en regelsysteem registreert elk half uur de metingen en is direct online uitleesbaar voor de aannemer en de directie. Van de diepe peilbuizen is 1 filter geplaatst in de tussenzandlaag. De gemeente Rotterdam heeft een peilbuis met gelijke filterstelling staan nabij de Laurenskerk zodat ook de invloed van de spanningsbemaling op de tussenzandlaag bij de bouwput en de kerk goed is bewaakt. De installatie is zodanig gedimensioneerd dat bij iedere fase 7 bronnen actief zijn en 2 bronnen standby staan in verband met een mogelijke calamiteit (=reservecapaciteit). De bemaling is nauwkeurig ingeregeld waardoor een gelijkmatige stijghoogte werd bereikt. De toegepaste bemalingsbronnen zijn alleen handmatig regelbaar. De 2 reservebronnen kunnen indien nodig op afstand worden bijgeschakeld in geval van calamiteiten. Hiernaast wordt de freatische grondwaterstand bewaakt met acht peilbuizen rondom de bouwput die handmatig worden gepeild. Het bemalingswater is afgevoerd via een persleiding in de Steigersgracht naar de Leuvehaven. Hiervoor is een boosterstation geplaatst bestaande uit meerdere pompen welke afhankelijk van de waterstand in de zandvang/be-

luchttingsbak na elkaar aan- of uitslaan. In de noord- westhoek van de bouwput is in de afvoerleiding een T-stuk aangebracht waarop, indien nodig, een infiltratieleiding kan worden aangesloten ten behoeve van eventuele infiltratie nabij de Laurenskerk. De Laurenskerk en andere belendingen zijn tijdens de uitvoering van de spanningsbemaling uitgebreid gemonitord. De meetwaarden bleven ruimschoots binnen de prognosewaarden en voor de meeste meetpunten was sprake van enkele mm's opwaartse verplaatsing sinds de start van de hoogtemetingen.

In december 2011 is tot tweemaal toe het debiet van de spanningsbemaling aangepast. Dit was het directe gevolg van hoog water in de Nieuwe Maas. Het water in de rivier werd opgestuwd als gevolg van een noordwester storm. De hoge waterstand resulteerde in een verhoging van de stijghoogte ter plaatse van de bouwput, zie figuur 10.

Op dat moment was alleen sprake van een vloer van gewapend onderwaterbeton zodat een stijghoogte van NAP -4 m moest worden gehandhaafd. Met de online monitoring was het mogelijk tijdig bij te schakelen.

Betrokken partijen

Opdrachtgever: Provast
 Aannemer: CBMR, combinatie Mobilis en Martens en Van Oord
 Adviseur constructies: DHV Bouw en Industrie
 Adviseur geotechniek: Geomet en Gemeentewerken Rotterdam
 Adviseur geohydrologie: Gemeentewerken Rotterdam
 Adviseur archeologie: Bureau Oudheidkundig Onderzoek Rotterdam
 Bouwdirectie: BTB
 Bemalingsfirma: Tjaden

Epiloog

De bouw van de parkeergarage is inmiddels in volle gang. Na het aanbrenge van de niveau - 4 vloer was er voldoende constructief gewicht zodat de spanningsbemaling kon worden uitgezet. Dit is in mei 2012 een feit. Daarna zal de bemalinginstallatie worden ontmanteld en kan worden teruggekeken op een succesvolle bemalingsperiode zonder nadelige gevolgen voor de omgeving. ●