



ir. M.C.W. Kimenai  
senior specialist geotechniek, ABT

# Bouwkuip Groninger Forum

## Inleiding

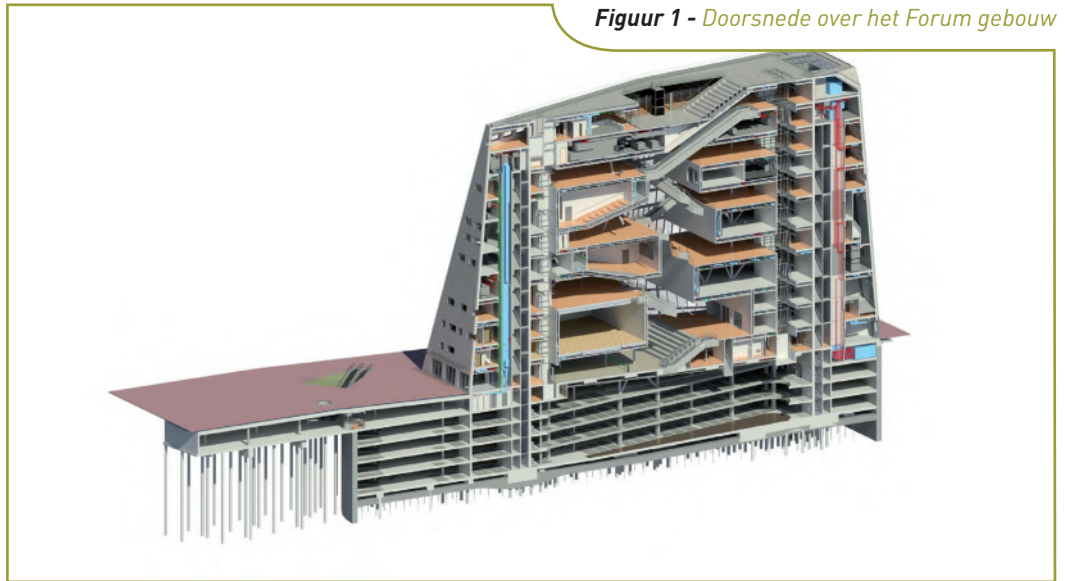
In het centrum van de stad wordt momenteel hard gewerkt aan het Groninger Forum dat in opdracht van de gemeente Groningen wordt gerealiseerd. Dit 45 m hoge en excentriek vormgegeven cultuurhuis zal straks onder andere een bibliotheek, musea, bioscopen en horeca bevatten. Onder het gebouw komt een 5-laags split-level parkeergarage, goed voor 390 auto's. Direct naast het gebouw komt een ondergrondse fietsenkelder waar straks 1500 fietsen gestald kunnen worden. Figuur 1 geeft een doorsnede over het gebouw en de 2 kelders.

De bouwkuip voor de parkeergarage is door ABT ontworpen en wordt door BAM gerealiseerd met behulp van diepwanden en onderwaterbeton. Hierbij worden de wanden gesteund door een stempelraam en wordt het onderwaterbeton op zijn plek gehouden door tubex-groutinjectie-palen en gewi-ankers. De bouwkuip is volledig omringd door belendingen welke zich op korte afstanden bevinden; minimaal 2,5 m tot maximaal 12,4 m. Deze belendingen zijn voornamelijk op staal gefundeerd. Een enkele uitbreiding is op palen gefundeerd. Juist op de kortste afstand bevindt zich een in zeer slechte staat verkerend monumentaal pand uit het jaar 1130, het "monumentje" genoemd.

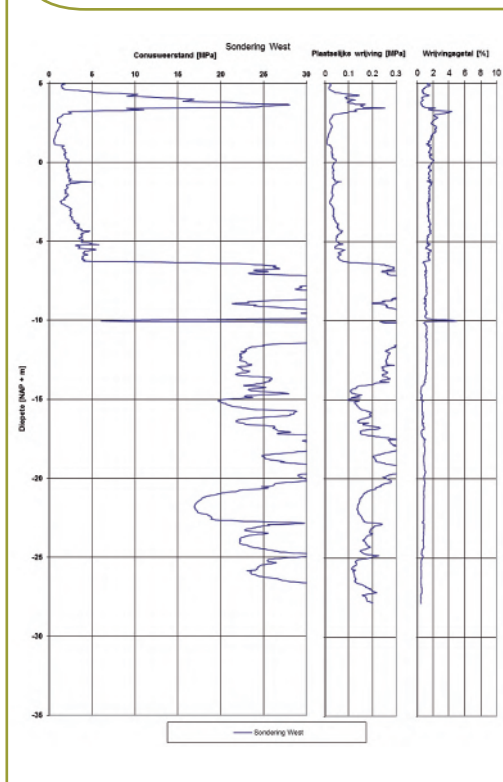
De bouwput heeft aan de oostzijde een breedte van 43 m, de lengte bedraagt 105 m en de westzijde loopt cirkelvormig rond met een straal van circa 18 m. De totale omtrek van de bouwput is 267 m. Het diepste ontgravingsniveau is 18 m beneden maaiveld gelegen.

Hoewel de toegepaste techniek conventioneel is, zijn er enkele innovaties toegepast die de put mogelijk hebben gemaakt. Zo is de onderwater betonvloer met staalvezels uitgevoerd en is de bouwput met Plaxis 3D geoptimaliseerd. De bouwput is hiermee sneller, economischer en met minder risico gerealiseerd.

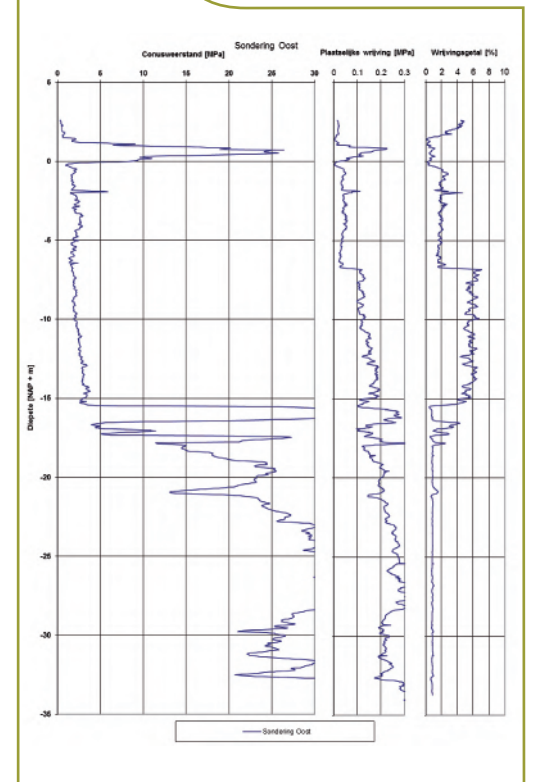
Figuur 1 - Doorsnede over het Forum gebouw



Figuur 2 - Sondering westzijde (zonder potklei)



Figuur 3 - Sondering oostzijde



## Samenvatting

In het centrum van de stad Groningen komt het Groninger Forum te staan. Een 45 m hoog en excentriek vormgegeven cultuurhuis. Onder dit gebouw komt een 5-laags splitlevel parkeergarage. De bouwkuip voor deze garage bestaat uit diepwanden en onderwaterbeton, gesteund door een stempelraam en tubex-groutinjectie-palen en gewi-ankers. Door de geotechnisch ontwerper ook een intensieve rol bij de daadwerkelijke

realisatie van de bouwput te geven, konden tijdens de uitvoering optimalisaties doorgevoerd worden, welke met Plaxis 3D berekeningen zijn onderbouwd. Dit alles zonder aan kwaliteit in te leveren, of dat risico's toegenomen zouden zijn. De verkregen meetgegevens onderschrijven het succes van deze werkwijze.



Foto 1 - Gerealiseerde diepwand t.p.v. getrokken palen

## Grondopbouw

Het maaiveld ligt aan de westzijde van de bouwput (Marktzijde) circa 2,5 à 3 m hoger dan aan de oostzijde (Schoolstraat); NAP + 7,29 m om NAP +4,25 m.

De bodemopbouw varieert sterk. Zo laat figuur 2 een sondering zien welke gemaakt is aan de westzijde. Vanaf maaiveld tot circa NAP +3,0 bestaat de toplaag voornamelijk uit zand, maar kan ook klei, leem of puin bevatten. Onder deze toplaag wordt tot een diepte van circa NAP -6,0 m keileem aangetroffen. Aan de westzijde ontbreekt de potklei volledig, waardoor direct onder de leem, het zeer vaste zand wordt aangetroffen tot aan de maximaal verkende diepte van NAP -40 m.

Figuur 3 laat een sondering aan de oostzijde zien. Onder de toplaag, die tot NAP +0 m rijkt, bevindt zich de keileem, welke hier 6 m dik is. Vanaf NAP -6 m tot NAP -18 m is hier wel potklei aangetroffen met daaronder weer het zeer vaste zand.

In de ondergrond komen van nature zwerfkeien voor, maar ook oude funderingsresten vormen obstakels voor de nieuwbouw.

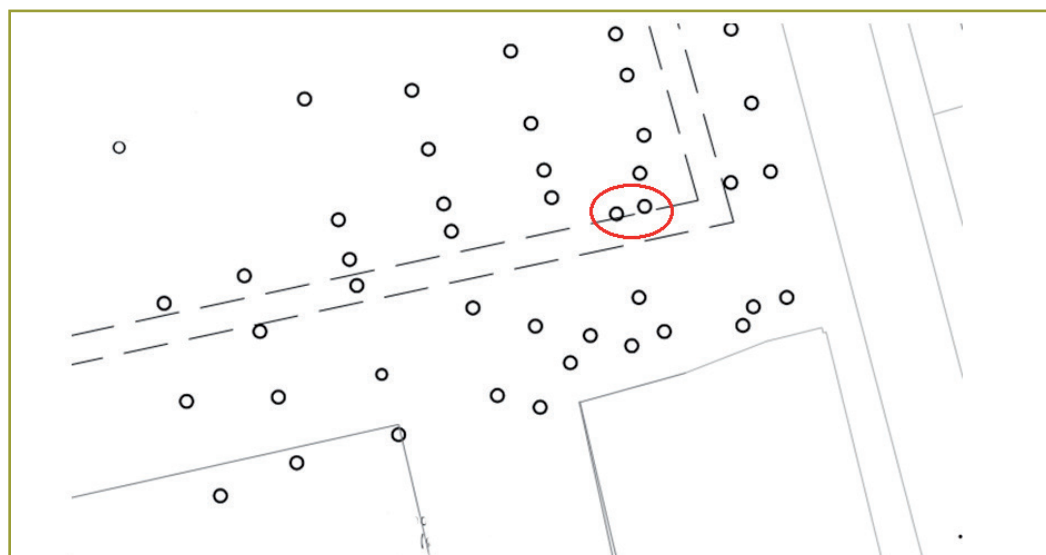
Hoewel iets minder dan het maaiveld, verloopt ook de freatische grondwaterstand van west (circa NAP +4,5 m) naar oost (NAP +2,5 m), waarbij natuurlijke fluctuaties van plus of min 0,5 m gemeten worden. De stijghoogte in het diepe zand varieert tussen circa NAP -0,5 m tot NAP -1,15 m en ligt daarmee gemiddeld ruim 3 m lager dan de freatische waterstand.

## Diepwanden

Door variatie in grondopbouw, afstand tot belendingen en verticale belasting vanuit de bovenbouw, zijn voor de bouwput met diepwanden uiteindelijk 5 doorsneden in het ontwerp beschouwd. Door het ontbreken van de potklei in het westelijk deel van de bouwlocatie, vinden de diepwanden hun inklemming al op een hoger niveau, waardoor de teen hoger kan blijven. Aan de zuidzijde staat de meer kwetsbaarder geacht bebouwing, waardoor hier strengere vervormingseisen zijn gehanteerd. Aan de zuidzijde is daarom een stijvere, lees dikkere, diepwand toegepast. Daar de belasting vanuit de oostgevel nagenoeg volledig aan de dragende diepwand moet kunnen worden overgedragen, is aan deze zijde het verticaal draagvermogen van de diepwand maatgevend gebleken, waardoor de diepwand dieper aangezet moest worden. Tabel 1 geeft de verschillende varianten nog eens weer.

De benodigde sterkteberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van Plaxis 2D, mede omdat deze iets grotere momenten opleverden dan de berekeningen met Plaxis 3D. Voor de haalbaarheid van het project in verband met omgevingsbeïnvloeding c.q. vervormingen van beleningen, bleek de 3D berekening echter wel cruciaal te zijn. Door het effect van de rondlopende westwand en de invloed van de stijve hoeken aan de oostzijde kon overduidelijk aangetoond worden dat vervormingen niet overal even groot zullen zijn. Ondanks dat het "monumentje" op de kortste afstand tot de bouwput is gelegen, treden hier niet de grootste vervormingen op. De ter plaatse cirkelvormige diepwand vervormd door ringspanningen immers minimaal.

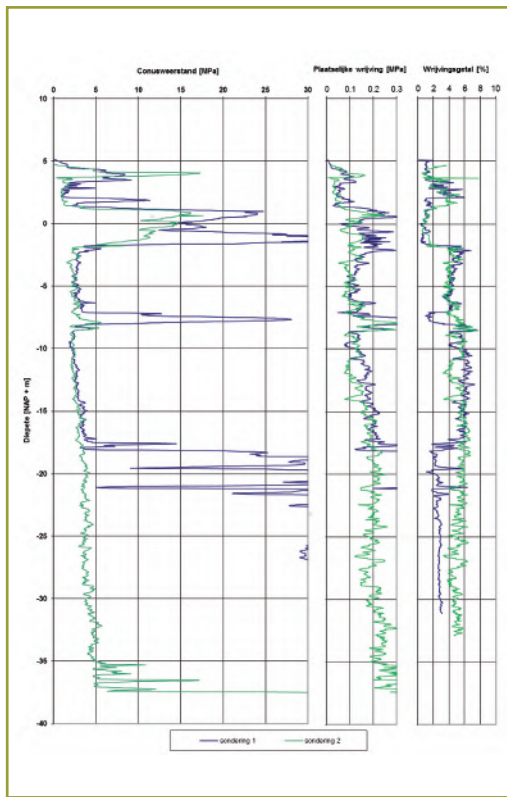
Figuur 4 - Locatie oude funderingspalen en nieuwe diepwand



Tabel 1

	West	Oost	Oostwand
Noord	1,0 m dik, teen NAP -14,0 m	1,0 m dik, teen NAP -19,0 m	1,0 m dik, teen NAP -21,0 m
Zuid	1,2 m dik, teen NAP -14,0 m	1,2 m dik, teen NAP -19,0 m	

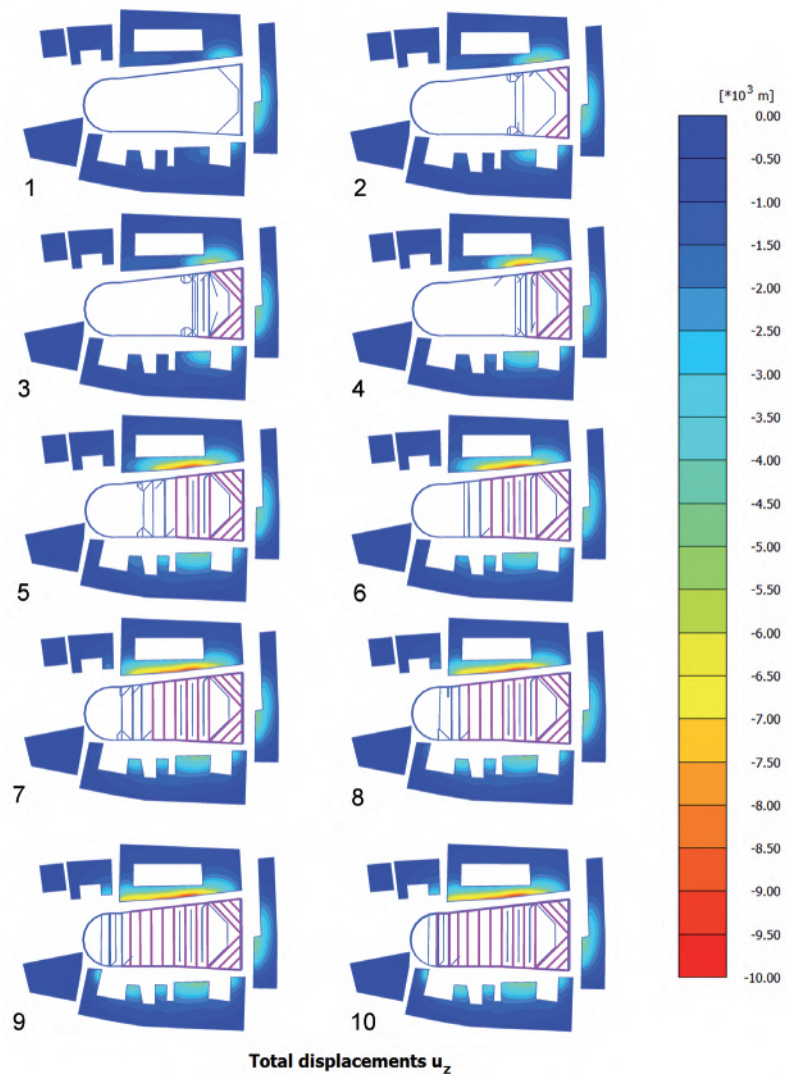
**Figuur 5** - Twee sonderingen in zuid-oost hoek, op een onderlinge afstand van 3 m



**Foto 2** - benodigd grondverzet voor aanbrengen stempelbuizen



**Figuur 6** - Toename van vervormingen bij gefaseerd aanbrengen van één stempelraam



Voor start uitvoering van de diepwand is over het gehele tracé met behulp van een zogenoemde blinde conus, om de meter gesondeerd. De op deze manier in kaart gebrachte ondergrondse obstakels zijn vervolgens verbrijzeld. Oude funderingspalen welke in het tracé van de diepwand stonden, zijn met veel moeite (palen waren niet over de volle lengte gewapend) met behulp van een stalen casing uit de grond getrokken, waarbij de gaten vervolgens opgevuld zijn met zand. Zo zijn ook de twee gemarkeerde palen van figuur 4 vooraf getrokken. Foto 1 geeft dit deel van de gerealiseerde diepwand weer na het droogvallen van de bouwput; het in de ontstane gaten los gestorte zand, is tijdens het ontgraven van dit paneel de sleuf in afgegleden en vervangen door in eerste instantie bentoniet en later beton. Overigens heeft zich in deze zelfde hoek van de bouwput zich een opmerkelijk verschijnsel bloot gegeven. Tijdens het ontgraven van

de laatste 8 panelen in de zuid-oosthoek, bleek dat op het beoogde puntniveau van NAP -19,0 m zich nog steeds potklei bevond. Daar de diepwanden ook een verticale draagfunctie krijgen, is besloten om de panelen door te zetten tot in het vaste zand. Bleek het eerste paneel nog 4 m dieper doorgezet te moeten worden, het volgende moest al 5 m dieper, toen 8 m en tenslotte 10 m dieper. Uit aanvullend sonderonderzoek, waarbij aan weerszijde van de diepwand is geprikt, bleek de onderzijde van de potklei juist ter plaatse van het diepwandtracé plotseling dieper weg te schieten. Figuur 5 laat de resultaten van 2 sonderingen op een onderlinge afstand van 3 m, in één grafiek zien. Bij de ene sondering aan de binnenzijde van de bouwput wordt potklei aangetroffen vanaf een diepte van NAP -8,0 m tot NAP -17 m, terwijl de sondering juist buiten de bouwput tot maar liefst NAP -35 m potklei aangeeft.



Foto 3 - Luchtfoto bouwkuip

Fotografie: Koos Boertjens © ABT

Voor het hoekpaneel is besloten om deze sowieso niet dieper door te zetten. Een hoekpaneel is op zichzelf al kwetsbaar qua sleufstabiliteit en het feit dat de diepwandgrijper ieder keer weer op en neer gehaald moet worden voor het dieper doorzetten van het paneel, komt deze stabiliteit niet ten goede. Het gereduceerd verticaal draagvermogen ter plaatse van het hoekpaneel bleek door de constructie goed opneembaar.

#### Stempelraam

Voor het realiseren van de bouwkuip is, gezien vanuit krachtswerking, maar één stempelraam benodigd op een niveau van NAP +0,0 m. Daar vervormingen van belendingen erg kritisch ligt, voorziet het ontwerp in extra maatregelen om die vervormingen tot een minimum te beperken. Eén van die maatregelen is het toepassen van een tijdelijk, hoger gelegen stempelraam. In dit tijdelijk stempelraam, net onder maaiveld gelegen, zouden dezelfde stempelbuizen toegepast kunnen worden, als in het uiteindelijk hoofdstempelraam. Daarnaast dienen beide stempelramen voorgespannen te worden met 10% van de maximale belasting, om de speling uit ieder

Tabel 2 - Gemeten paalafwijkingen (onderkant ontgraving)

		Vanaf land	Vanaf ponton
Aantal		19	177
Max/min	[cm]	33,0 / 4,4	80,5 / 2,3
Gemiddeld	[cm]	15,0	15,4
Standaardafwijking	[cm]	7,5	9,9

systeem te halen. Een ander genomen maatregel is om de waterstand in de bouwput extra verhoogd op te zetten (ten opzichte van de stijghoogte in het diepe zand) tijdens het ontgraven in den natte.

In het ontwerp van ABT is er van uitgegaan dat eerst het hooggelegen hulpstempelraam volledig wordt aangebracht om daarna pas het dieper gelegen hoofdstempelraam in één keer aan te brengen. Deze werkwijze is mede ingegeven door het traditioneel berekenen met 2 dimensionale rekenprogramma's. In de uitvoeringsfase was het in eerste instantie de bedoeling om maar 3 of 4 stempelbuizen in het bovenste stempelraam aan te brengen, om daarna al-

vast de eerste stempelsbuizen in het onderste stempelraam aan te brengen. Omdat de circa 40 ton wegende stempelbuizen door een mobiele kraan alleen van dichtbij opgetild kunnen worden, is veel grondverzet nodig om het mogelijk te maken met de mobiele kraan over reeds gelegde stempels te gaan rijden.

Gezien bij het leggen van de verschillende stempelbuizen weliswaar veel grond verzet moet worden, maar in feite nog maar weinig grond afgevoerd zal gaan worden, is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd om met slechts één stempelraam te gaan werken. Deze studie is in opdracht van de hoofdaannemer door ABT uitgevoerd, met instemming van de opdrachtgever. Hiertoe

Foto 4 - Ribbels achterzijde gordingen



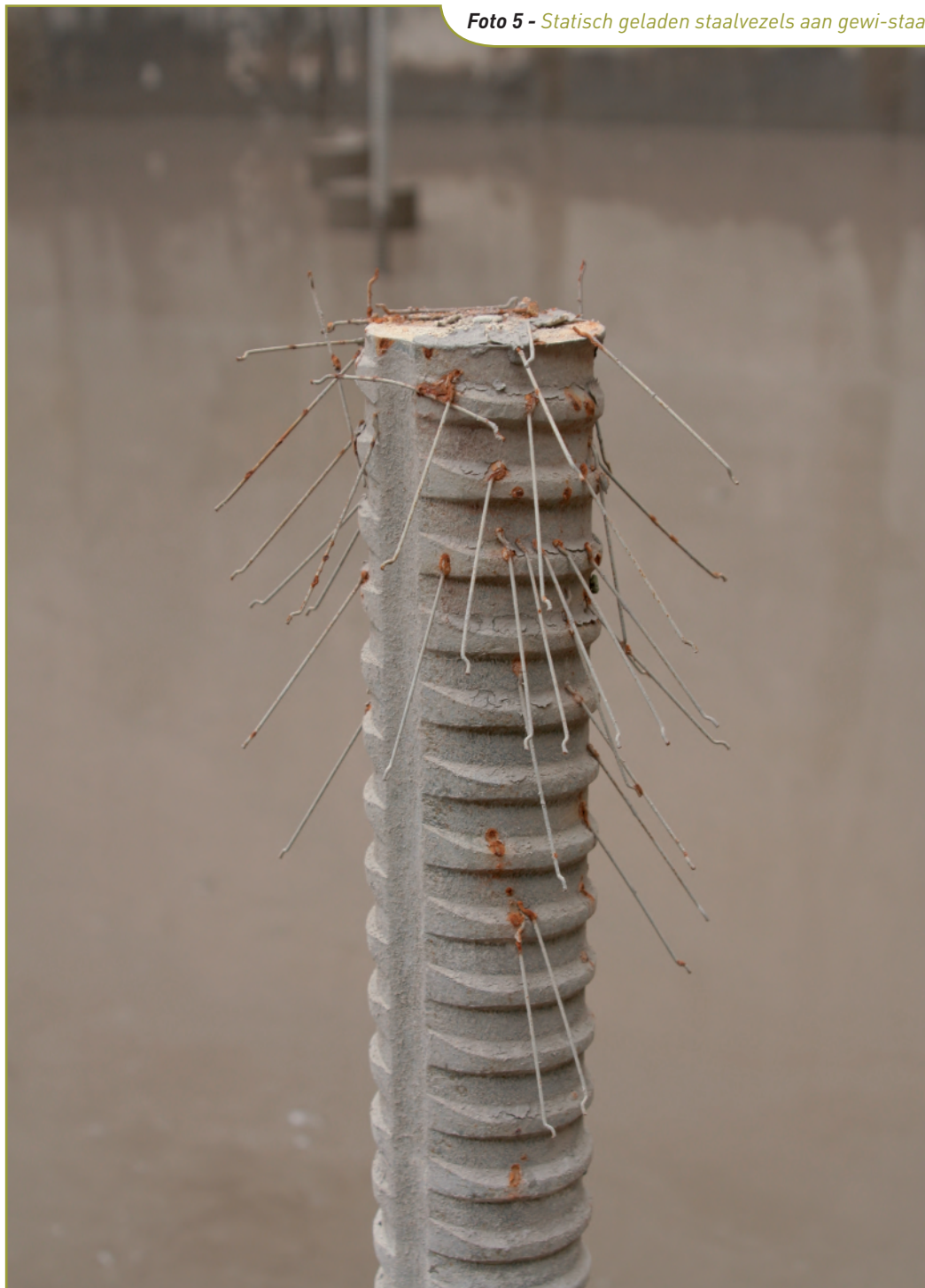
is een Plaxis 3D model opgezet, waarin alle sub-fasen voor het leggen van de verschillende gordingen en stempelbuizen stap voor stap doorlopen zijn. Door de aangepaste fasering wordt optimaal gebruik gemaakt van de ruimtelijke spreiding van gronddrukken en stempelkrachten.

Hiertoe is een aantal schuine vlakken aan de 3D-mesh toegevoegd, waardoor het mogelijk is geworden om lokale ontgravingen onder talud, binnen de bouwput te schematiseren. Het grondgedrag is met behulp van het "Hardening soil" gemodelleerd, waarbij alle grondlagen (ook de potklei en keileem) gedraineerd zijn beschouwd.

Door steeds maar één sleuf te ontgraven, nadat het stempel in de voorgaande sleuf is gelegd, wordt van Oost naar West, stempel voor stempel het diepe stempelraam op zijn plaats gelegd. De nog aanwezige grond in het westelijk deel van de bouwkuip voorkomt dat hier vervormingen van nabij gelegen belendingen plaatsvinden, terwijl de eenmaal gelegde diepe stempels aan de Oostzijde voorkomen dat er meer vervormingen optreden. Vervormingen treden alleen op in de omgeving van waar op dat moment langs- en/of dwars-sleuven worden ontgraven. De verticale vervormingen van de belendingen "lopen mee" met het ontgraven van de sleuven en het leggen van de diepe stempels. Zie figuur 6.

Uit deze haalbaarheidsstudie met een 3D berekening met slechts 1 diepe rij stempels is geconcludeerd dat het positieve effect op vervormingen van diepwand en belendingen van het gefaseerd ontgraven aanzienlijk is; weliswaar wat geringer dan het positieve effect van de stijve hoeken en de rondlopende diepwand.

Foto 5 - Statisch geladen staalvezels aan gewi-staaf



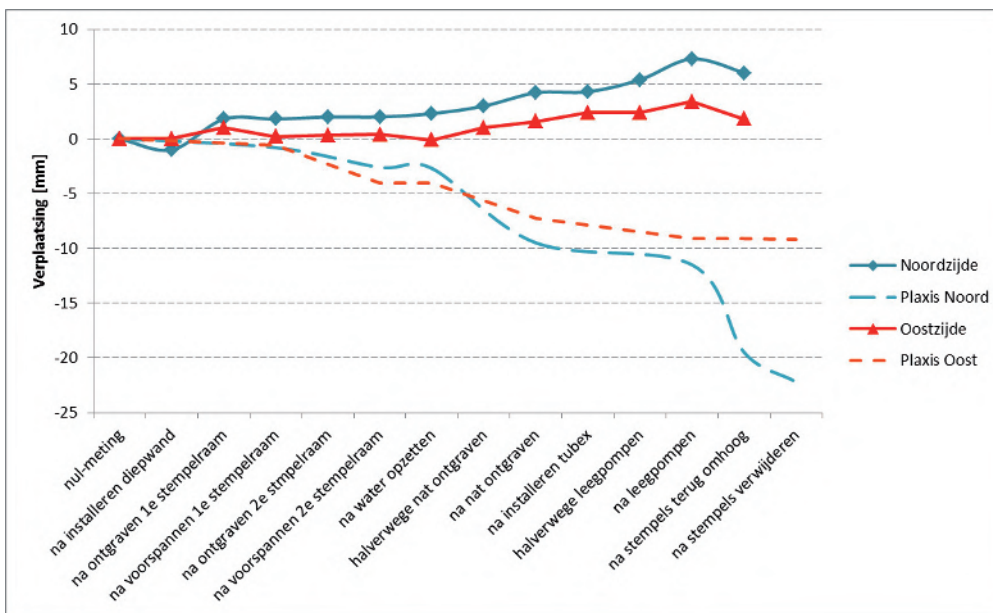
De toetsing van de berekende vervormingen en de daaruit afgeleide relatieve rotaties van de belendingen voldeden nog net aan de gestelde criteria. Doordat er echter nauwelijks reserve overbleef, is besloten om toch een tijdelijk hoger gelegen stempelraam toe te passen, maar dan in aangepaste vorm. Zo zijn de schoren ter ondersteuning van de oostwand achterwege gebleven en is het bovenste stempelraam niet meer op stempeluitval gedimensioneerd.

Foto 2 geeft een idee van het benodigde grond-

verzet voor het aanbrengen van de verschillende stempels. Het is hierbij wel zaak dat er goed onder de stempels wordt aangevuld, daar de stempelbuis anders te veel belast kan worden op het moment dat de zwaarbelaste mobiele kraan er overheen rijdt. Foto 3 laat het hoofdstempelraam zien, welke voor het eerst compleet zichtbaar is geworden bij het droogpompen van de bouwput.

Een tweede optimalisatie heeft plaats gevonden voor het terug omhoog plaatsen van de stempelbuizen. In het oorspronkelijke plan zouden eerst

**Figuur 7 - Berekende en gemeten vervormingen belendingen noord- en oostzijde**

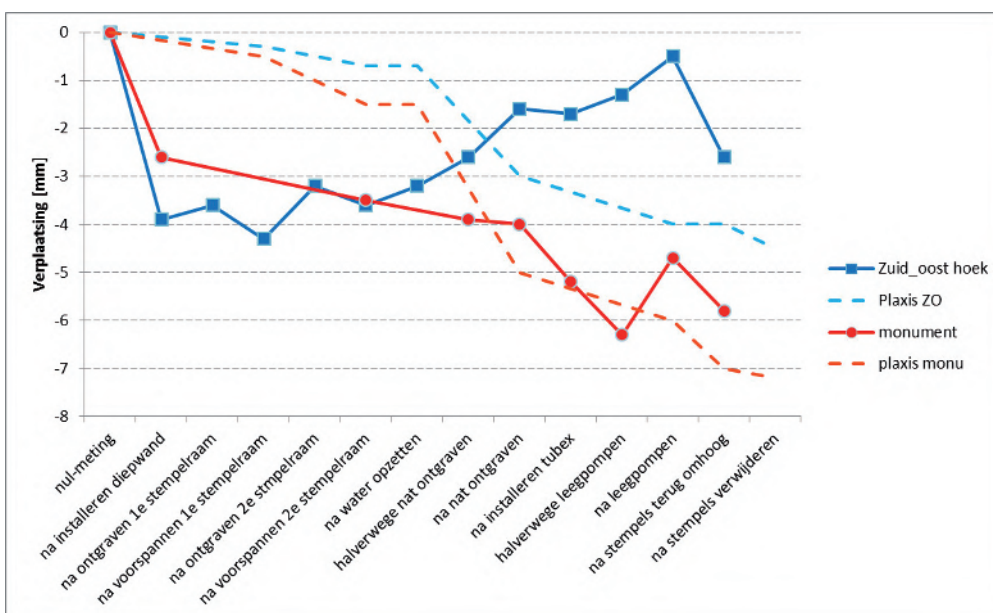


buizen in het hoog gelegen stempelraam zijn toegepast).

De oostelijke rechte wand wordt met behulp van schoren gesteund. Deze schoren introduceren een langskracht in de gordingen van beide lange zijden. Daar het westelijk cirkelvormig deel van de bouwput ongestempeld is, worden de langskrachten in de gordingen niet met een tegengestelde langskracht in evenwicht gehouden. De langskrachten in de gordingen worden daarom doormiddel van wrijving overgebracht naar de diepwand. Hiertoe zijn ribbels op de achterzijde van de gordingen aangebracht (foto 4).

In Plaxis 3D zijn stempelbuizen (zowel de rechte als de schoren) met behulp van "beam" elementen geschematiseerd, zodat krachten van de ene wand naar de andere worden doorgegeven. De gordingen zijn ook met behulp van "beam" elementen geschematiseerd, waarbij deze 'vast' op de diepwanden zitten. De afdracht van de eenzijdig geïntroduceerde langskrachten in de gordingen kon daarom niet met het Plaxis model geanalyseerd worden.

**Figuur 8 - Berekende en gemeten vervormingen belendingen zuidzijde**



### Tubex-palen

De fundering van het Fomgebouw wordt gevormd door de diepwanden en tubexpalen. De keuze om deze tubexpalen vanaf maaiveld verdiept aan te brengen, of vanaf ponton na het ontgraven in den natte, is bestekmatig aan de aannemer gelaten. Beide methode hebben zowel voor- als nadelen. Zo zullen de zwerfkeien na het ontgraven in den natte geen obstakel meer vormen, omdat ze al opgegraven zijn. Ook zal de te overwinnen schachtwrijving minder zijn als de bouwput al ontgraven is. Daar staat tegenover dat een groot ponton aan- en afgevoerd moet worden indien vanaf het water gewerkt wordt. Ook is plaatsbepaling vanaf het water lastiger. Uiteindelijk is er een gemengde oplossing toegepast: 19 palen zijn voor uitgraving vanaf maaiveld uitgevoerd, omdat deze onder stempelbuizen van het hoofdstempelraam geprojecteerd staan. De paallocaties zijn hierbij vooraf obstakelvrij gemaakt met behulp van een crusher. De overige 177 palen zijn na uitgraving in den natte vanaf een ponton gemaakt.

Na het droogvallen van de bouwput zijn alle palen ingemeten en konden de daadwerkelijke paalafwijkingen vastgesteld worden. Tabel 2 geeft de verschillen weer tussen beide methode van installatie. Hieruit is af te leiden dat het palen draaien vanaf land iets nauwkeuriger lijkt te zijn geweest, al is het verschil minimaal.

Voor een nadere toelichting hoe met deze uitvoeringstoleranties is omgegaan in het ontwerp van de keldervloer wordt verwezen naar het

de 3 onderste vloeren van de parkeergarage ingebouwd worden tot vlak onder het diepe stempelraam. Dan zouden alle stempelbuizen weer naar het hoger gelegen niveau teruggelegd worden. Na het verder inbouwen van weer een complete vloer zouden alle stempels verwijderd worden, om tenslotte de beganegrondvloer aan te kunnen brengen. Vanuit uitvoeringstechnische aspecten heeft de hoofdaannemer sterk de voorkeur om een deel van de westelijke stempelbuizen al in een eerder stadium terug naar

boven te verplaatsen. Door ook het inbouwen van de verschillende parkeervloeren, het verplaatsen en uiteindelijk verwijderen van de verschillende stempelbuizen in een gedetailleerde fasering in de Plaxis 3D berekening mee te nemen, is een verdere optimalisatie mogelijk gebleken. Zo wordt het eerste westelijke deel al na de inbouw van de 2 onderste vloeren verplaatst. Bovendien behoeven nu maar 6 stempelbuizen tijdelijk terug omhoog geplaatst te worden (daar waar tijdens het droog ontgraven 11 stempel-

artikel hierover in het blad Cement, jaar 2014, nummer 3.

### Onderwaterbeton

Om de constructiehoogte van het onderwaterbeton beperkt te houden, is er voor gekozen om een 1,0 m dikke onderwaterbetonvloer toe te passen met toevoeging van staalvezels (35 kg/m<sup>3</sup>). Een traditioneel ontwerp, zonder wapening, zou uitgekomen zijn op een dikte van 1,5 m.

Voor de constructieve aspecten van een staalvezel versterkte onderwaterbetonvloer wordt verwezen naar het blad Cement, nummer 2, april 2014.

Om de vorming van krimp-scheuren in het nog jonge beton zo veel als mogelijk tegen te gaan, is de bouwput gefaseerd leeggepompt. Zo is men direct na het bereiken van de hoogste temperatuur in het beton begonnen om het opgezette water vast uit de bouwput te pompen. Hierdoor ontstaat er alvast een normaalkracht in het beton terwijl deze nog niet door een resulterende opwaartse waterdruk wordt belast. De waterdruk onder de zojuist gestorte betonvloer is immers al die tijd lager geweest. Vervolgens is met het toenemen van de (buigtrek)sterkte van het beton, de bouwput langzaam verder leeggepompt.

Bij het droogvallen van de bouwput zijn geen scheuren in de onderwaterbetonvloer geconstateerd. Wel bleek de variatie in hoogteligging veel meer te variëren dan de plus of min 75 mm welke vooraf was aangenomen. Met name ter plaatse van de wat grotere poeren, kon het beton moeilijk tussen de palen doorstromen en is daardoor hoger blijven liggen.

Foto 5 laat een misschien wat abstract maar toch zeer kenmerkend detail van deze bouwput zien. Statische geladen staalvezels blijven aan een gewi-staaf hangen, terwijl er zeer fijn slib op het aanhechtingspunt is afgezet.

### Monitoring

De gevolgen van de uitvoeringswerkzaamheden zijn nauwlettend in kaart gebracht door een uitgebreide monitoring, met behulp van ingestorte inclinomeetbuizen in de diepwanden, peilbuizen achter de diepwand, zowel in het freatische pakket als in het pleistocene zand, en een groot aantal meetbouten in de gevels van de belendingen. De vooraf berekende horizontale doorbuiging van de diepwanden bedroeg circa 20 tot 30 mm. De monitoringsbewaking met behulp van inklinometingen laten echter een veel kleinere horizontale vervorming zien, namelijk enkele millimeters tot maximaal 7 mm. Deze geringere doorbuiging wordt geweten aan de zeer stijve eigenschappen van de potklei waarvan de over-

consolidatie zekerheidshalve niet in de rekenmodellen is verwerkt en de hogere stijfheid van de diepwand omdat deze (nagenoeg) niet blijkt te zijn gescheurd. Voor de diepwanden is in de rekenmodellen ten behoeve van de optimalisaties, voor de bouwfasen tot en met het verhoogd opzetten van het waterpeil een hoge betonstijfheid van 20.000 N/mm<sup>2</sup> aangehouden en voor de fasen vanaf het ontgraven in den natte een lage stijfheid van 10.900 en 12.000 N/mm<sup>2</sup> voor de 1,0 m respectievelijk de 1,2 m dikke diepwanden. Ook de uiteindelijk gemeten zettingen ter plaatse van de belendingen zijn veel kleiner gebleven dan vooraf berekend. Vooraf waren zettingen berekend van 10 tot 15 mm voor de bebouwing aan de lange zijde ten zuiden respectievelijk ten noorden van de bouwput.

Als gevolg van het installeren van de verschillende diepwandpanelen zijn in eerste instantie zettingen gemeten van 1 tot 2 mm, met lokaal maximaal 5 mm daar waar diepwandpanelen veel dieper doorgezet zijn in verband met de aanwezige potklei.

Als gevolg van het ontgraven en droogpompen hebben de belendingen lokaal zelfs heffingen ondergaan tot uiteindelijk enkele mm tot maximaal 7 mm (ten opzichte van de nulmeting). Het monumentje heeft wel een zetting ondergaan van 5 mm, daar waar met Plaxis 3D een zetting van 6 mm is berekend.

De figuren 7 en 8 geven de gemeten versus berekende zettingen van een 4-tal kenmerkende punten grafisch weer. Op foto 3 is de ligging van deze punten aangegeven.

Vooraf waren er wat zorgen of bij het opzetten van het water in de bouwput, dit water niet het vaste zand in zou weglopen. Maar tijdens de uitvoering is gebleken dat dit effect niet opgetreden is. Bij het ontgraven van de Potklei is namelijk enorm veel fijn slib in de bouwput terecht gekomen, dat maar erg moeilijk verwijderd kon worden. Heel veel slib bleef gewoon in het water zweven. Dit slib heeft enerzijds het benodigde duikwerk erg bemoeilijkt, maar heeft wel een waterdichte laag op de bouwputbodem gevormd. Er is in de weekeinden en de kerstperiode dan ook nauwelijks water in de bouwput gepompt om het verhoogde waterniveau op peil te houden.

Zowel tijdens het ontgraven, als tijdens het leegpompen van de bouwput is het verloop van de grondwater in de directe omgeving met behulp van continue peilbuisregistratie gemonitord. De waargenomen geringe waterstandveranderingen vielen allemaal binnen de natuurlijke fluctuaties, waaruit geconcludeerd wordt dat de

aanleg van de bouwput voor het Groninger Forum, nauwelijks van invloed is geweest op het grondwaterregime in de directe omgeving.

### Conclusie

Bij dit project is de opgedane kennis vanuit de ontwerpfase meegenomen naar de uitvoeringsfase, door de geotechnisch ontwerper ook een intensieve rol bij de daadwerkelijke realisatie van de bouwput te geven. Niet alleen kon directievoerder en opzichter hierdoor maximaal ondersteund worden, ook kon aan de hand van verder in detail uitgewerkte werkplannen van de aannemer optimalisaties doorgevoerd worden, zonder aan kwaliteit in te leveren, of dat risico's toegenomen zouden zijn.

Met de inzet van een uitgebreid Plaxis 3D model, waarin niet alleen de geometrie, maar ook de fasering met de nodige detaillering meegenomen kan worden, is het uitvoeringsontwerp van de bouwput nader geoptimaliseerd.

De verkregen meetgegevens onderschrijven het succes van deze werkwijze.