

Overzicht van geotechnische aspecten

Deurganckdoksluis: bouw van de grootste sluis ter wereld

Ir. L. Vincke –
Vlaamse overheid
Afd. Geotechniek



Ir. L. De Vos
Vlaamse overheid
Afd. Geotechniek



Ir. E. Beyts
THV Waaslandsluis



Figuur 1 - Locatie Deurganckdoksluis.

Figuur 2 - Site Deurganckdoksluis in 2016.



Inleiding

Dankzij haar diepte van -17.80m TAW neemt de Deurganckdoksluis de fakkel over van de Berendrechtsluis als grootste sluis ter wereld.

Met de nieuwe sluis willen het Vlaamse Gewest en het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen de toegang tot de dokken op de linker Scheldeoever verzekeren. Ze komt op het einde van het Deurganckdok dat in verbinding staat met de Schelde. Het dok vormt voor het scheepvaartverkeer met een de toegang tot de nieuwe sluis vanuit de Schelde. Aan de kant van het dokkencomplex wordt aangesloten op het Waaslandkanaal (zie figuur 1).

De Deurganckdoksluis wordt 68 meter breed en 500 meter lang. De bodem van de sluis zal op -17,80 m TAW liggen, omdat op die manier de diepgang van de achterliggende dokken maximaal kan worden benut.

De werken voor de bouw van de sluis zijn gegund aan de Tijdelijke Handelsvereniging Waaslandsluis bestaande uit Jan De Nul NV, CEI De Meyer NV, Betonac NV, Herbosch-Kiere NV, Antwerpse Bouwwerken NV. Bouwheer is de projectvennootschap Deurganckdoksluis NV tussen de Vlaamse overheid en het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen. De afdeling Maritieme Toegang van de Vlaamse overheid neemt de projectleiding voor haar rekening.

Op 24 oktober 2011 zijn de werken gestart. De indienststelling van de sluis is voorzien in 2016. Niet alleen de bouw van de sluis zelf maar ook de wegenis ter ontsluiting van de sluisinfrastructuur met onder andere een wegtunnel, een viaduct, fietserstunnels, gebouwen op het sluisplateau,... zijn omvangrijke bouwwerken die moeten afgerond zijn voor de indienststelling van de sluis. Een beeld van hoe de site er in 2016 zal uitzien wordt weergegeven in figuur 2.

Grondonderzoek

Reeds in 2001 werd het eerste verkennend grondonderzoek opgestart. In totaal werden er in deze

Samenvatting

De bouw van de Deurganckdoksuis is één van de grootste werven momenteel lopende in België. De belangrijkste geotechnische aspecten horende bij zowel het ontwerp als de uitvoering van deze sluis worden kort toegelicht. In dit artikel wordt de nadruk gelegd op het intensieve monitoringsprogramma dat momenteel aan de gang is. Specifieke aandacht wordt besteed aan de meet-apparatuur die werd geplaatst ter begroting van de zwel van de Boomse klei.

fase door afdeling Geotechniek van de Vlaamse overheid 30 sonderingen en 6 boringen uitgevoerd met laboratoriumonderzoek op 65 ongeroerde monsters. Bij het laboratoriumonderzoek werd de nadruk gelegd op het onderzoeken van de geotechnische karakteristieken van de Boomse klei. Bij het vastleggen van de geotechnische parameters van de verschillende grondlagen kon ook gesteund worden op een groot pakket grondonderzoek dat werd uitgevoerd in het kader van de bouw van de kaaimuren van het Deurganckdok.

De geotechnische lagenopbouw bestaat voor de gehele site uit een bovenliggend pakket slappe Holocene lagen met hierin een aanzienlijk veenpakket. Hieronder bevinden zich de tertiaire zanden van Antwerpen (Formatie van Lillo, Formatie van Kattendijk en Formatie van Berchem). Deze zanden rusten op de stijve Boomse klei (zie figuur 3).

De bodem van de sluis bevindt zich juist boven het aanzetniveau van de Boomse klei.

In de loop van het project werden er bijkomend nog een groot aantal sonderingen uitgevoerd, en dit specifiek ter plaatse van toekomstige constructies (o. a. langsheen het tracé van de definitieve wegenis, ter plaatse van de toekomstige wegtunnel, ter plaatse van de toekomstige gebouwen op het sluisplateau,...). Hieruit kon men op elke gewenste locatie de precieze laagscheidingen bepalen en de aard en dikte van de holocene bovenlagen vastleggen.

De site wordt doorkruist door een oude baggergeul die werd opgevuld met heel slap materiaal. Dankzij het grondonderzoek kon de precieze locatie en diepte van deze geul verder worden afgebakend waardoor duidelijk werd waar de vooropgestelde taludhelling van het uitgravingsprofiel verflauwd diende te worden.

Uitvoeringsfasen

Eén van de eerste grote stappen in het volledig bouwproces was het maken van een waterremmend scherm rondom de gehele site zodat hierbinnen een droge bouwput kon gerealiseerd worden. De totale lengte van dit scherm bedraagt ongeveer 3km en werd uitgevoerd als een cement-ben-

tonienscherm tot een 3-tal meter in de Boomse klei. Binnen dit scherm kan bemaald worden zonder noemenswaardige invloed naar de omgeving toe en kan tot op diepte worden uitgegraven in den droge.

De uitgegraven zandlagen die nog kunnen herbruikt worden voor de latere aanvulling achter de kolkmuur en de dwarsmuur wordt apart gestockeerd op zandstocks. De overige grond wordt gebruikt voor de verdere demping van het nabijgelegen Doeldok.

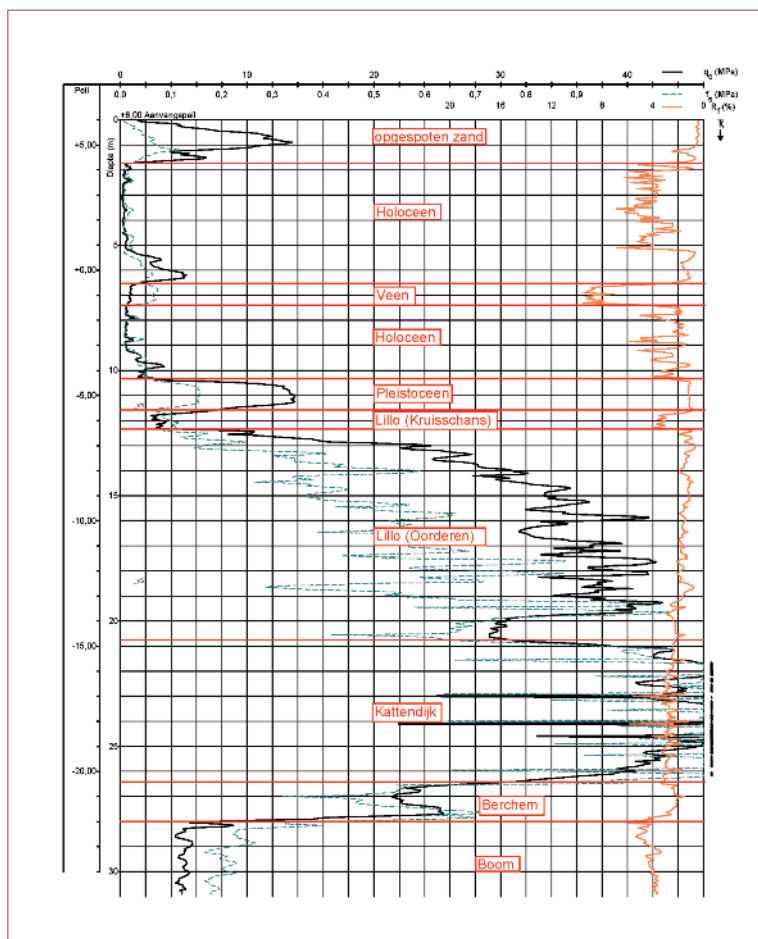
Monitoring

Een uitgebreid meetprogramma is momenteel

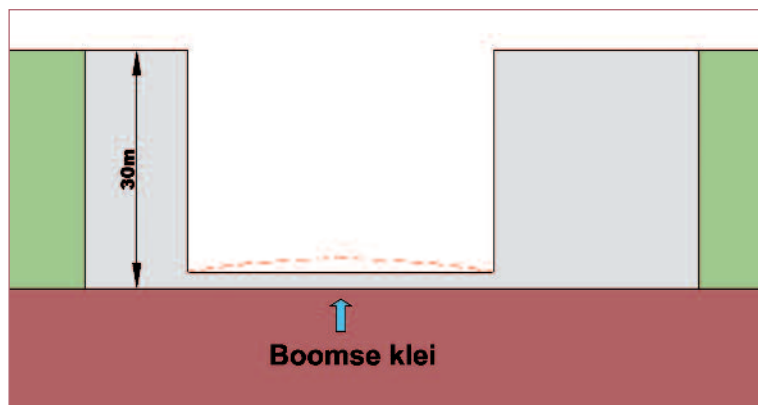
lopende om de werf op te volgen.

Ruim voor de aanvang van de werken werd gestart met de eerste metingen. Rondom het toen nog te plaatsen waterremmend scherm werden in de verschillende watervoerende zandlagen een 30-tal peilbuizen geboord. Continue waterpeilmetingen werden verricht met behulp van divers ter controle van de rustwaterstand voorafgaand aan de bemaaling.

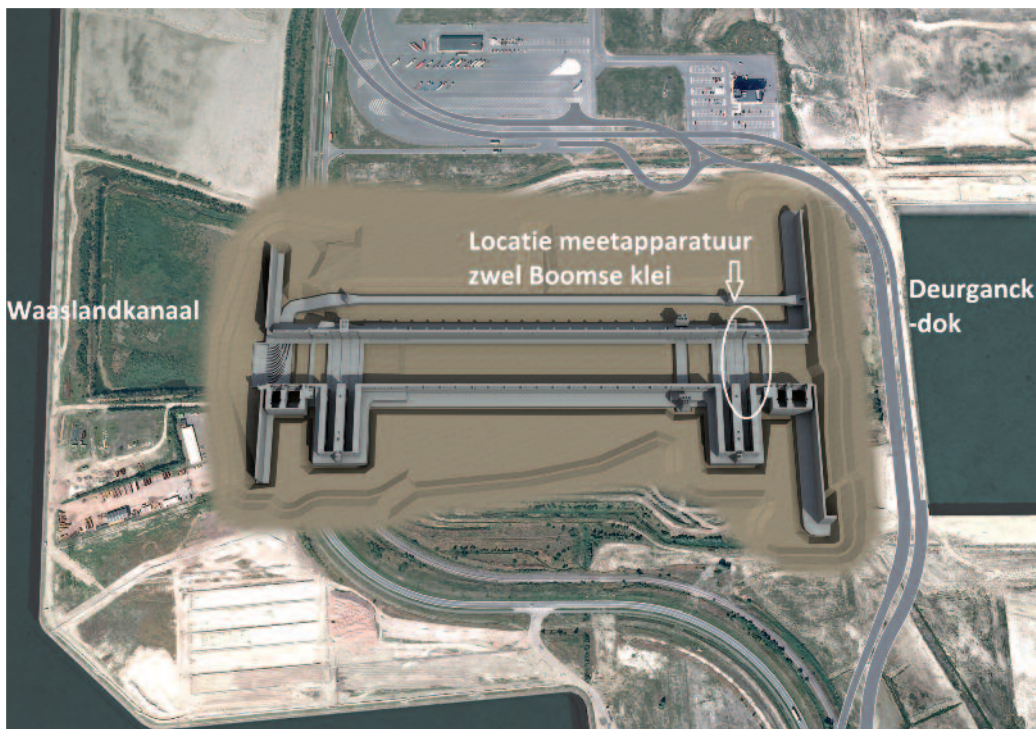
Van zodra het grondwater werd verlaagd werden deze waterpeilmetingen aangevuld met divermetingen binnen het scherm om de gerealiseerde waterpeildaling in de bouwput verder op te



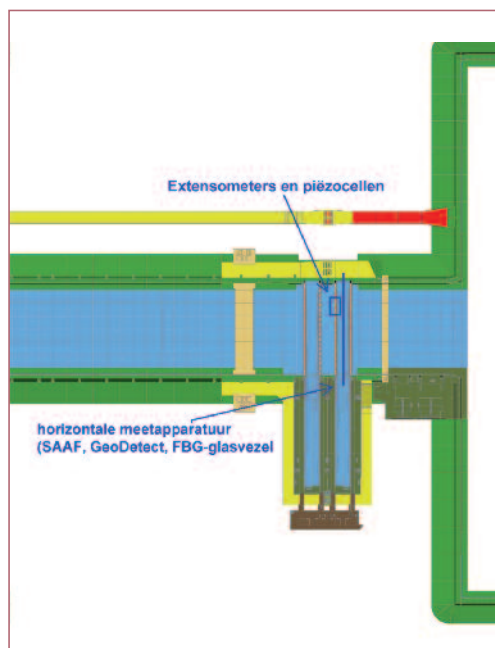
Figuur 3 -
Typesondering met aanduiding geotechnische lagenopbouw.



Figuur 4 -
Ontlasting Boomse klei.



Figuur 5 en 6 - Locatie meetapparatuur zwel Boomse klei.



volgen. Ook werden zettingsbakens geplaatst juist buiten het waterremmend scherm om eventuele zettingen te kunnen opsporen en opvolgen. Gezien het waterremmend karakter van de cement-bentonietwand essentieel is gedurende de bouw van de sluis, werden inclinometerbuizen voorzien in de wand om de horizontale verplaatsingen te kunnen opvolgen. Via regelmatige uitlezingen kan worden opgevolgd of de bemaling en de uitgraving nabij de wand zorgt voor een te grote verplaatsing of kromming van de wand. In de nabije toekomst zullen ook inclinometer-

buizen worden voorzien in de kolkmuern om de horizontale verplaatsing ervan te kunnen opvolgen tijdens de aanvulling maar ook later wanneer de sluis in werking is.

Verder zullen in de nabije toekomst ook nog topografische metingen worden uitgevoerd van de kolkmuern om de horizontale en verticale bewegingen op te volgen.

Daarnaast zijn er ook nog tal van meetpunten voorzien op diverse andere constructies: ter plaatse van een vernagelde wand, onder de voorbelasting van de een wegtunnel,...

Zwel van de Boomse klei

Een belangrijk geotechnisch vraagstuk bij de bouw van de sluis is het begroten van de zwel en de zweldruk van de Boomse klei.

Ten gevolge van de diepe uitgraving (ca. 30m) die nodig is om de sluishoofden en kolkmuern te bouwen, zal de Boomse klei sterk ontlast worden. Door de afname van de verticale korrelspanning wil de klei uitzetten (zwellen). Bij het uitzetten vergroot het volume van de grond en wordt er water aangezogen. Wegens de lage doorlatendheid van de Boomse klei zal het water zeer traag toestromen. In die periode treden poriënwateronderspanningen op. Deze onderspanningen nemen in de tijd langzaam af onder gelijktijdig uitzwellen van de klei. Wanneer de zwel verhinderd wordt (bijvoorbeeld door een neerwaartse belasting), bouwt de klei een aanzienlijke (opwaartse) zweldruk op (zie figuur 4).

Ter hoogte van de sluismuern zal de zweldruk gecompenseerd worden door het uiteindelijk gewicht van de muern. Ter plaatse van de sluisvloer echter zal het neerwaartse gewicht van de vloer ruim onvoldoende zijn om het zwellen volledig tegen te gaan. Daarom werd beslist hier tegels (met afmetingen van 10m bij 10m en dikte 2m) te leggen die opwaarts mogen verplaatsen.

Voor de deurlopen is het ontoelaatbaar om een grote opwaartse beweging te ondergaan na de plaatsing van de deuren, omdat de deuren ten allen tijde moeten kunnen blijven rollen over de bodemrails. Door het gewicht van de 4m dikke deurloop zal een gedeelte van de zwel verhinderd worden. Het centrale deel ervan zal nog beperkte opwaarts verplaatsen. De resterende zweldruk die onder de deurloop wordt opgebouwd, zal worden opgevangen door de wapening.

Aangaande de precieze waarden van de te verwachten zwel en zweldruk die zullen optreden binnen de levensduur van de sluis, zijn verschillende berekeningen doorgevoerd. De waarde van de doorlatendheid en stijfheid van de Boomse klei zijn in deze berekeningen belangrijke parameters. Een kleine variatie in deze parameters zorgt voor grote verschillen in de te verwachten resterende zweldruk onder de deurloop en resulterende zwel van de tegels.

Gelet op de beperkte kennis betreffende de zwel van de Boomse klei is het onzeker hoe deze in werkelijkheid zal reageren op de ontlasting. Dit wordt met behulp van een uitgebreid monitoringsprogramma verder opgevolgd aan het benedenhoofd. In het ontwerp werd ingerekend dat de Boomse klei ter plaatse van de deurloop gedurende 1.5 jaar à 2 jaar vrij kan uitzwellen door het laten openliggen van de uitgraving. Hierdoor zal al een aanzienlijk percentage van de zwel zijn opgetreden en moet de deurloop enkel voor de resulterende zweldruk gewapend worden.

Monitoring zwel van de Boomse klei

Een uitgebreid monitoringsprogramma werd opgesteld om in situ na te gaan hoe de Boomse klei reageert op de ontlasting. Klassieke meetapparatuur werd aangevuld met meer advanced meettechnieken.

De initiële zwel kon helaas niet worden opgemeten. De eerste meetapparatuur kon pas geplaatst worden wanneer de uitgraving reeds op diepte was aan het benedenhoofd. Praktisch bleek het niet evident om al meetapparatuur (bijvoorbeeld een extensometer) te plaatsen vóór de start van de werken en deze dan te behouden tijdens de uitgraving. Hoeveel de initiële zwel van de Boomse klei hier bedroeg, is dus niet meer te achterhalen. Uit verschillende literatuurbronnen blijkt dat deze initiële zwel aanzienlijk kan zijn.

In december 2012 werd de meetapparatuur aan het benedenhoofd geplaatst (zie figuren 5 en 6). Ter plaatse van de deurloop werd hiertoe een uitgraving gerealiseerd tot 0.5m onder de toekomstige drempelaanzet (-23m TAW) wat ongeveer 1m onder het aanzetniveau van de Boomse klei is. Vanaf dit niveau werd alle apparatuur aangebracht/geboord. De locatie wordt geschematiseerd voorgesteld in de figuur 7.

Om de zwel van de Boomse klei op te meten werd een klassieke stangenextensometer geplaatst met 4 ankerpunten op verschillende dieptes in de Boomse klei (-26m TAW, -29m TAW, -35m TAW en -48m TAW). Het diepste ankerpunt bevindt zich dus op ongeveer 25m onder de top van de klei. Dieper in de klei werd geen meetapparatuur geplaatst, enerzijds omwille van praktische uitvoerbaarheid en anderzijds ook omdat uit de Plaxis-berekeningen bleek dat de diepere zwel beperkt zou zijn.

Daarnaast werd door het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) ook een verticale extensometer op basis van een optische vezel techniek (type FBG) geplaatst tot dezelfde diepte. Deze heeft 10 ankerpunten. Om de poriënwaterdrukspanningen op te meten in de klei werden 4 piëzocellen ingebouwd in een boorgat op de dieptes die overeenkomen met de dieptes van de stangen van de klassieke extensometer. Daarnaast werd nog een push-in piëzocel ingedruwd op -29m TAW.

Alle boorgaten waarin meetapparatuur werd geplaatst werden opgevuld met een groutmengsel.

In horizontale richting langs de richting van de deurloop (dus dwars op de richting van de sluis-kolk) werd op het niveau -23m TAW een SAAF (Shape Accel Array Field) geplaatst met een lengte van 67m (dus vanaf de locatie van de sluismuur tot onder de deurkamer). We wensen hiermee voornamelijk de differentiële zwel op te meten tussen het centrale stuk van de deurdrempel en de uiteinden onder de sluismuur/deurkamer. Hier verwachten we pas duidelijke meetresultaten van zodra het gewicht van de muren aan beide uiteinden voldoende is om een verschillend zwelprofiel te krijgen tussen het centrale deel en de uiteinden. Naast de SAAF werd ook een horizontale FBG-glasvezelkabel geplaatst (door het WTCB) met hetzelfde doel als de SAAF. Hiernaast werd ook een dubbele rij geotextielen met optische vezel (GeoDetect S-Br) aangebracht in de sleuf met een kleine tussenlaag zand tussen beide geotextielen in.

Bij de plaatsing werden de SAAF, de horizontale glasvezel en de GeoDetect aan het ene uiteinde

(westkant) vastgemaakt aan een dubbele damplank met beperkte lengte. De bovenkant van deze damplank wordt op regelmatige tijdstippen topografisch opgemeten zodat we steeds een referentiepunt hebben aan het ene uiteinde van de meetapparatuur.

Na plaatsing van de meetapparatuur werd de sleuf terug opgevuld met een 3m dik zandpakket tot ca. -20m TAW. Hier bovenop werd dan nog een werfweg aangelegd tot ongeveer -18.75m TAW.

Naast de topografische opmeting van het bovenste einde van de damplank worden nog een aantal punten systematisch opgemeten (waaronder de damwand evenwijdig van de deurloop en het uiteinde van de oude dokmuur kant west).

Onder de deurloop zullen er in de nabije toekomst nog een aantal gronddrukcellen worden voorzien om de effectief optredende zweldruk op te meten. Deze kunnen echter pas geplaatst worden bij het betonneren van de deurloop.

De voorzieningen zijn getroffen zodat de meetapparatuur uitleesbaar blijft ook na betonneren en in dienstnemen van de sluis.

Regelmatige stroompannes bemoeilijken het draaiende houden van de meetapparatuur. In werfomstandigheden is het niet evident om een continue stroomtoevoer te garanderen.

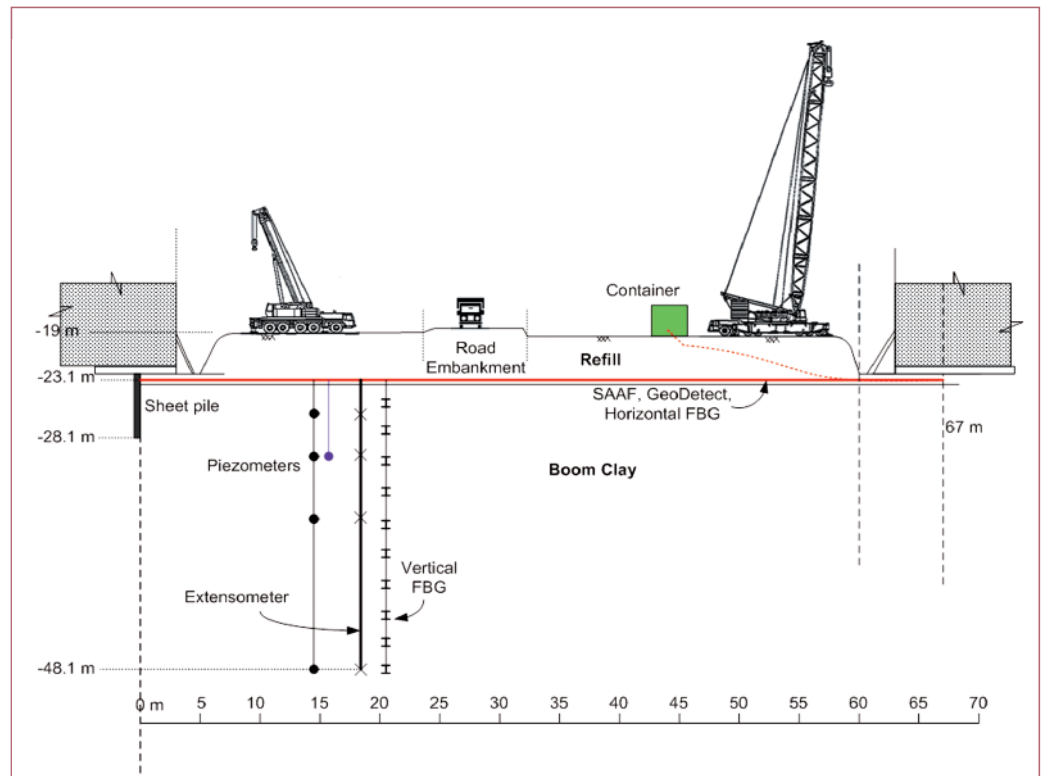
De metingen zijn gestart in december 2012. De deurloop ligt ongeveer 1 jaar open. Momenteel is

het echter nog te vroeg om al sluitende conclusies te trekken aangaande de opgetreden zwel en de resterende zweldruk. Volgende bevindingen kunnen wel geformuleerd worden:

De zwel die tot nu toe is opgetreden ter plaatse van de beide extensometers (8mm) en de damplank (35mm) is minder dan verwacht uit de voorgaande berekeningen. Mogelijk treedt de zwel trager op of is de totale zwel lager dan verwacht. Mogelijk wordt het zwellen ook tegengehouden door het aanzienlijk pakket grond dat erboven nog aanwezig is. Ook het aandeel initiële zwel kan niet worden achterhaald.

Ten gevolge van de beperkte zwel die al werd opgemeten is het onzeker of de resterende zweldruk onder de deurloop conform het oorspronkelijk ontwerp zal zijn. Er kan nu nog geen meetapparatuur worden geplaatst om de zweldruk op te meten.

Beide types extensometer vertonen exact hetzelfde zwelprofiel maar er is nog enige onzekerheid of de extensometers de volledige zwel opmeten. De topografische metingen van de bovenkant van de damplank duiden namelijk op een grotere zwel dan deze van de extensometers wat onlogisch is. Mogelijk is er enige slip tussen de wand van het boorgat en de groutopvulling waardoor de extensometerstangen/ankers de klei niet volledig volgen. Op dit moment zijn er testen aan de gang om dit na te gaan. Ook kan de damwand,



Figuur 7 - Overzicht meetapparatuur zwel Boomse klei.

die samengedrukt werd bij het inbrengen, een zekere ontspanning vertonen.

De piëzocellen vertonen nog geen stijgend verloop (dissipatie van de poriënwateronderspanning). Dit kan mogelijk verklaard worden door het aanwezige spoelwater (gebruikt bij het boren van het boorgat).

De resultaten van de horizontale meetapparatuur zullen pas beter te interpreteren zijn wanneer de beide uiteinden voldoende belast worden door het gewicht van de sluismuur/deurkamer. Momenteel zijn aan beide zijden de eerste betonwerken gestart. De huidige rekken en differentiële vervormingen zijn voorlopig te gering en vallen binnen de meetnauwkeurigheid van de meetsystemen. Wel kan al afgeleid worden tot waar de huidige betonwerken invloed uitoefenen op de klei in het centrale deel van de deurloop.

Vervolgtraject zwel van de Boomse klei

Zoals in voorgaande paragraaf gesteld kunnen er nu nog geen definitieve conclusies worden getrokken aangaande opgetreden zwel en zweldruk. In de toekomstige metingen van de horizontale meetapparatuur verwachten we een duidelijker zwelpatroon te zien van zodra de betonwerken

aan de beide uiteinden voldoende ver gevorderd zijn.

Voor de piëzocellen hopen we in de nabije toekomst een stijgende trend waar te nemen in de opgemeten poriënwaterspanning wat betekent dat de cellen niet meer beïnvloed zijn door de installatie.

Voor de extensometers wordt onderzoek gedaan of de groutsamenstelling of boorwijze ertoe kan geleid hebben dat er minder zwel wordt opgemeten dan er in werkelijkheid aanwezig is.

De topografische metingen zullen worden uitgebreid waarbij we ook de zwel van de reeds geplaatste tegels zullen opmeten, de volledige damwand evenwijdig aan de deurloop van het benedenhoofd zullen opmeten en ook nieuwe meetpunten voorzien aan het bovenhoofd.

Verder zullen we met behulp van satellietbeelden trachten na te gaan of er ter plaatse van een aantal grote bouwwerken in Antwerpen zwel kan worden teruggevonden in de loop van de jaren.

Ook werd een diepe sondering uitgevoerd tot 90m diepte om de gelaagdheid van het Boomse kleipakket na te gaan en om extra informatie in te winnen aangaande de uiteindelijke dikte van dit pakket.

Verder wordt er in de nabije toekomst in het kader van de Oosterweelverbinding nog een grote monitoringput gerealiseerd waarbij ook de initiële zwel van de Boomse klei zal worden opgemeten.

Conclusies

Voor de bouw van de Deurganckdoksluis en de volledige verkeersontsluiting errond is een dergelijke geotechnische onderbouwing essentieel. Gezien de aanwezige slappe bovenlagen waren gerichte geotechnische proeven onontbeerlijk.

Tijdens de werfuitvoering is een uitgebreide monitoringscampagne lopende met onder andere divermetingen en inclinometermetingen.

Een belangrijk geotechnisch vraagstuk bij de bouw van de sluis is het begroten van de zwel en de zweldruk van de Boomse klei. Om dit te monitoren worden zowel klassieke meettechnieken als meer advanced meetapparatuur (glasvezel) gebruikt.

Definitieve conclusies hieromtrent kunnen momenteel nog niet worden getrokken maar verschillende pistes worden bewandeld om de huidige vraagstukken hieromtrent verder op te lossen. ●