



ir. B. van de Water
Adviseur Geotechniek
Boortunnel – Comol5 /
Arthe civil & structure b.v.



ir. M.H.A. Brugman
Ontwerpleider Boortunnel
– Comol5 / Arthe civil &
structure b.v.



ir. B. Safari
Specialist Boortunnels –
Arthe civil & structure b.v.



T. Schubert
Projectleider Boortunnel –
Comol5 / Vinci Construction
Grand Projets

ERVARINGEN 1E BOORGANG TUNNEL RIJNLANDROUTE

Inleiding

Tijdens de aanbestedingsfase van het project de Rijnlandroute bleek dat het alignment van de boortunnel relatief ondiep onder het Rijn-Schiekanaal lag, dermate ondiep dat reguliere berekeningsmethoden voor de boorfrontstabiliteit onvoldoende veiligheid boden. Omwille van het Provinciaal inpassingsplan kon in dit stadium het alignment nauwelijks meer worden aangepast. Daartoe moest er een methode gevonden worden om veilig onder het kanaal door te boren. Uitgangspunt hierbij was dat het scheepvaartverkeer zo min mogelijk gehinderd zou worden.

Onderzoek

Om een efficiënte oplossing te kunnen bepalen is het van belang dat de uitgangspunten zo betrouw-

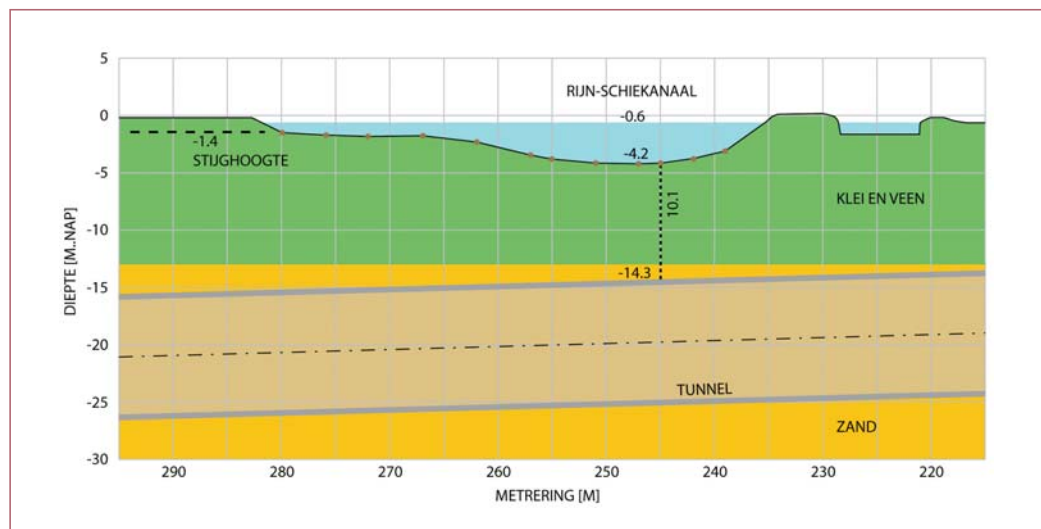
baar mogelijk zijn met minimale variatie. Daartoe zijn de kanaalbodembodem en slibdiktes uitgebreid ingemeten, zijn er sonderingen in het kanaal uitgevoerd en zijn er boringen aan beide zijdes van het kanaal uitgevoerd waarop met name vele volumegewicht metingen verricht zijn.

Berekeningsmethode

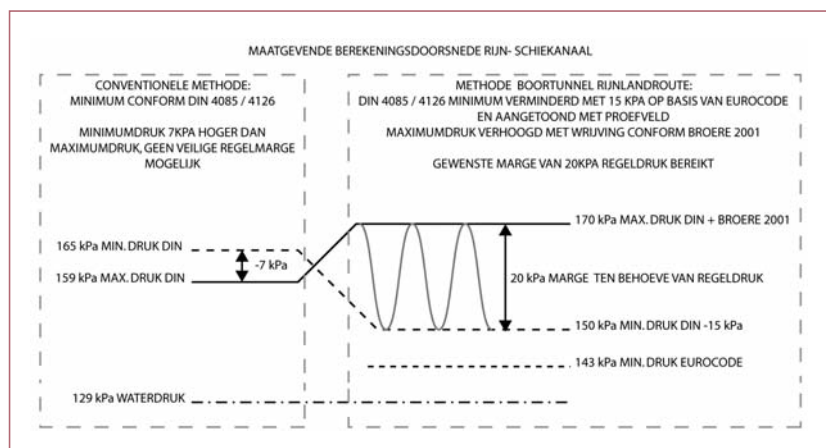
Met deze gegevens zijn berekeningen gemaakt met diverse analytische methodes voor boorfrontstabiliteit. Hieruit bleek dat de marge tussen de minimum druk en de maximum druk kleiner was dan de reguliere marge van 20 kPa die hiervoor wordt gehanteerd. Om deze marge in de berekening te kunnen vergroten waren er meerdere opties. De eerste was het meenemen van wrijving in de blowout-druk, hiervoor is de methode Broere

(2001) aangehouden. Bij de minimumdruk is het van belang om te weten dat een groot deel van het minimum wordt bepaald door de Pleistocene stijghoogte, met een hoog gemiddelde waarde van NAP -1,4 meter. Conform de ROK is een ontwerpwaarde bepaald voor de Pleistocene stijghoogte, omdat de waterdruk dan vervolgens als permanente belasting beschouwd kan worden kan de overeenkomstige partiële factor gebruikt worden van 1,0 in plaats van 1,05 conform de DIN. Voor de horizontale gronddruk is er ook een verschil in partiële factoren, conform de DIN is deze factor 1,5. Binnen de Eurocode zijn er geen specifieke factoren voor dit mechanisme gegeven en de belasting uit grond kan worden gezien als permanente belasting, hiervoor kan een factor van 1,0 worden aangehouden. De extra marge die ontstaat door het minimum te berekenen met partiële factoren van 1,0 en het maximum te verhogen met het meenemen van wrijving levert voldoende marge om theoretisch met een stabiel boorfront het kanaal te kunnen passeren.

Het feit dat het theoretisch en conform de Nederlandse Eurocode norm toelaatbaar is om onder het kanaal door te boren is een eerste stap, tegelijkertijd zegt het gezonde verstand dat je alle veiligheid ten opzichte van de gangbare methode (DIN partiële factoren en geen gebruik van wrijving) niet zomaar kunt weglaten. Er zou aangetoond moeten worden dat de berekende marge ook echt een veilige druk zou zijn om bij te boren. Om die reden is besloten een proefveld in te richten aan de start van het boortracé. Hierbij passeert de tunnelboormachine vlak na de start een veld waarbij de dekking op de tunnelboormachine even beperkt is als ter plaatse van het kanaal.



Figuur 1 – Doorsnede Rijn-Schiekanaal met tunneltracé.



Figuur 2 – Aangepaste berekeningsmethode boorfrontstabiliteit.

Proefveld

Het proefveld is ingericht met meetpunten voor de verticale verplaatsingen over de lengte-as van de tunnel met iedere 20 meter een dwarsraai van meetpunten. Hierbij wordt ook stapsgewijs de dekking afgebouwd naar de situatie van het kanaal.

Als criterium voor de bepaling van de stabiliteit worden de verticale verplaatsingen gebruikt, er is echter geen direct verband bekend tussen de stabiliteit en de verticale verplaatsingen. Wat wel bekend is, is dat verplaatsingen tot enkele centimeters bij een normaal boorproces behoren. Tevens liet het contract verplaatsingen van maximaal 10

SAMENVATTING

Eén van de uitdagingen van het te boren tracé voor de tunnel van de Rijnland-Route was de passage van het Rijn-Schiekanaal. Door de geringe gronddekking boven de tunnelboormachine onder het kanaal moesten de grenzen van de regeldrukken voor het stabiel houden van het boorfront op een verantwoorde manier opgezocht worden. Met een vernuftige ontwerpbenadering, een

uitgekiende monitoringsstrategie en een zeer gecontroleerd en beheerst boorproces kon het Rijn-Schiekanaal zonder enige hinder voor de scheepvaart gepasseerd worden. Na de succesvolle passage kende de eerste boorgang van de RijnlandRoute interessante ervaringen aangaande trillingshinder en een geologische uitzondering met het aantreffen van zeer grof grind en keien.

centimeter toe aan maaiveld, deze verplaatsing is aangehouden als absolute bovengrens. Bij verplaatsingen onder de 5 centimeter is er geen sprake van instabiliteit en kan er doorgedaan worden. Bij verplaatsingen tussen de 5 en de 10 centimeter dient er een nadere evaluatie plaats te vinden.

Op 22 augustus 2019 is gestart met boren en in de periode van 5 september tot 16 september zijn de secties van het proefvak gepasseerd.

In het algemeen werd er aangevangen met lagere drukken dan berekend, dit was met name in de eerste 40 meter tunnel waar nog geen verticale verplaatsingen gemeten werden. Hiernaar werd er bijgestuurd naar waardes die iets onder de beoogde steundruk lagen.

Resultaten

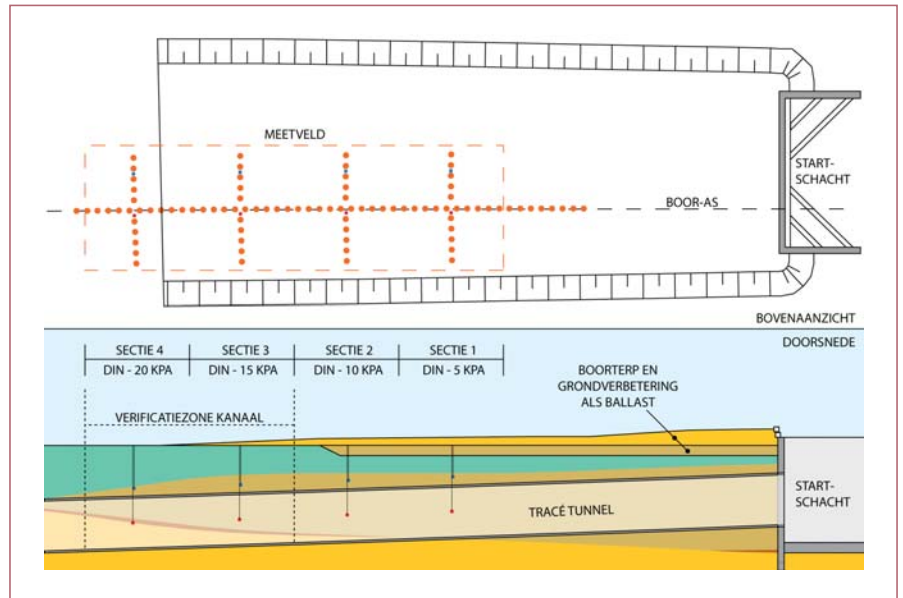
De eerste sectie liet een verticale verplaatsing zien van 2 millimeter na het passeren van het graafwiel. Dit bij een steundruk die ongeveer 12 kPa onder de beoogde druk lag.

Bij de tweede sectie was de maximaal gemeten verplaatsing 3 mm bij een steundruk conform de berekende druk. Bij sectie drie werd er 9 mm verplaatsing omhoog gemeten, hierbij was de steundruk ook 13 kPa hoger dan beoogde druk en eigenlijk ook iets hoger dan de beoogde maximum druk. In sectie 4 was de verticale verplaatsing ongeveer 2 mm en de steundruk was ongeveer 7 kPa lager dan de vooraf berekende druk. Iets verderop was er nog een dwarsraai verplaatsingsmeters ten behoeve van een aantal leidingen, hier werd 2 mm verplaatsing gemeten en waren de drukken 7 kPa onder het berekende.

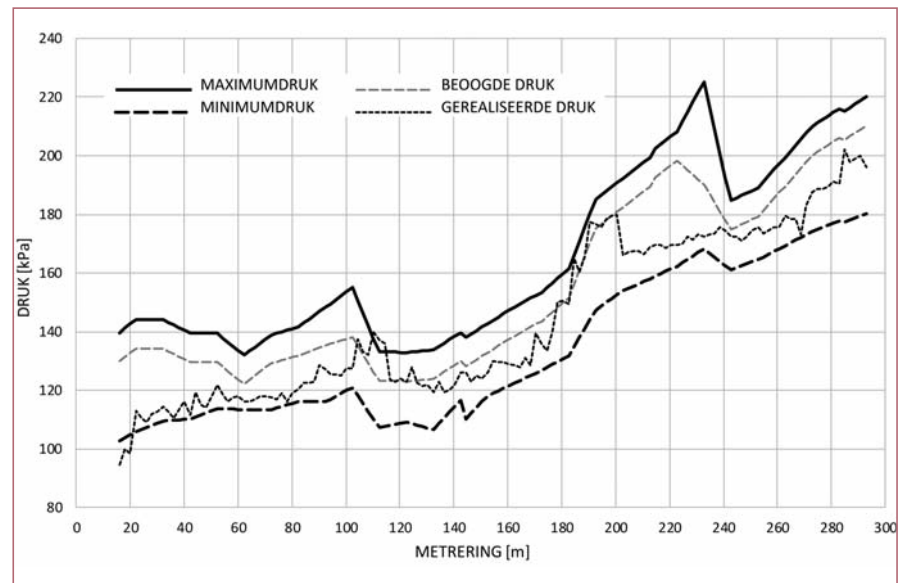
In het algemeen kan gesteld worden dat de verplaatsingen na het passeren van het graafwiel minimaal zijn, dit wijst op een stabiel boorfront. De gebruikte steundrukken waren vaak iets lager dan voorzien, de grondwaterstand was echter ook significant lager waardoor de vereiste minimumdruk ook naar beneden bijgesteld kon worden met ongeveer 7 kPa.

Al met al zijn de verplaatsingen na passage van het graafwiel minimaal en ruim onder het criterium van 50 mm. Tevens is er geen bentoniet aan maaiveld waargenomen, dit geeft aan dat ook de maximumdruk een veilige waarde betrof gezien er bij sectie

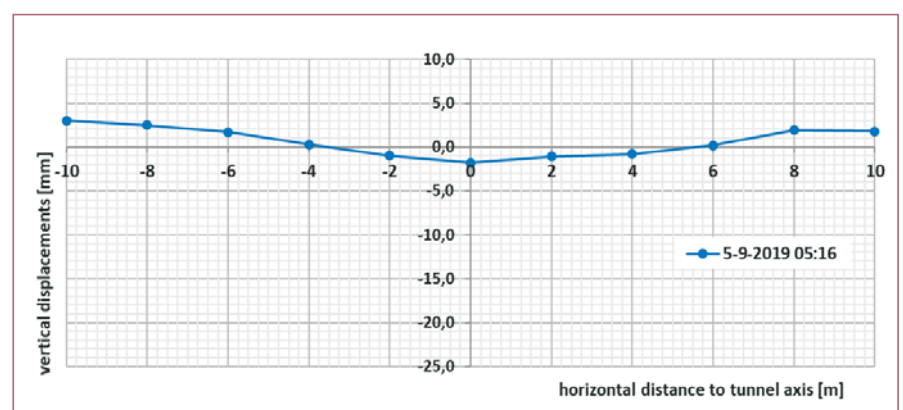
Figuur 3 –
Inrichting meetveld bij start boren op werkteerrein COMOL5.



Figuur 4 –
Boorfront-drukken, berekend en gerealiseerd.



Figuur 5 –
Verticale verplaatsingen eerste sectie.



3 een fractie overschreden was. Er kon dan ook gesteld worden dat er veilig onder het Rijn-Schiekanaal door geboord kon worden. Uiteindelijk is dit op 27 t/m 30 september 2019, dankzij een goed beheerst en gecontroleerd boorproces, dan ook veilig gelukt zonder verdere maatregelen.

Conclusie

Wanneer er vooraf uitgebreid grondonderzoek, labonderzoek en onderzoek naar de geometrie van de kanaalbodem wordt gedaan is het mogelijk veilig te boren op locaties met geringe dekking boven de tunnelboormachine.

Het laboratoriumonderzoek dient dan met name gericht te zijn op de lokale volumegewichten van het materiaal wat zich voor én boven de TBM bevindt.

Voor de bepaling van de maximumdruk kan de wrijving conform methode Broere gebruikt worden, bij gebruik van deze maximumdruk met een partiële factor van 0,9 treden geen excessieve verplaatsingen omhoog op.

Voor de minimumdruk is er met de test aangetoond dat er met lagere drukken geboord kan

worden dan er met de conventionele veiligheidsfactoren mogelijk was, bij het gebruik van deze drukken treden slechts geringe verplaatsingen omlaag op.

Verloop boorproces

Na het passeren van het kanaal kon met voldoende veiligheid op de stabiliteit worden doorgeboord en verschoof de focus naar het optimaliseren van het boorproces met het minimaliseren van de verplaatsingen aan maaiveld. Verderop in het boortracé zouden enkele monumentale panden gepasseerd worden, bij benadering van deze panden was het doel om de verplaatsingen aan maaiveld te kunnen beperken tot enkele millimeters. Voorafgaand aan deze passage werd er geboord onder de Zuid-Hoflandsche polder met relatief weinig belendingen. Borende in het Pleistocene zand aldaar kwamen er berichten dat er zeer grof grind werd aangetroffen bij de scheidingsinstallatie oplopend tot stenen en keien. Aangezien er voor dit gebied eigenlijk alleen van marine en fluviatiele afzettingen uit werd gegaan was dit vrij onverwacht en opmerkelijk te noemen.

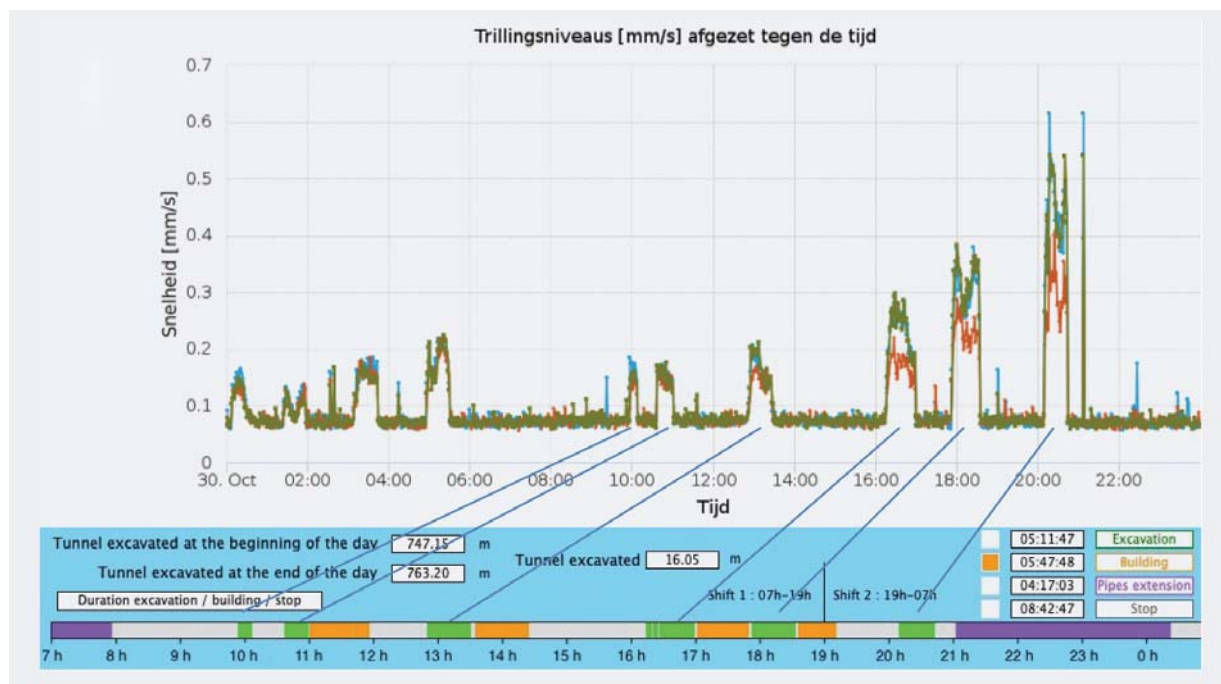
Het achterhalen van de exacte geologische afkomst verdient nog nader onderzoek. Gedacht zou kunnen worden aan materiaal van glaciële afzettingen uit het noorden van Nederland dat op enigerlei wijze stroomafwaarts is meegevoerd.

Naast het aantreffen van dit opmerkelijke materiaal diende het volgende onverwachtse zich aan, bij benadering van de monumentale panden werd er steeds vaker trillingsoverlast gemeld uit de omgeving. Tot op dat moment waren de trillingen van de tunnelboormachine niet hoorbaar of voelbaar geweest. Ook de eerder gemeten trillingsniveaus op een woning nabij de startschacht waren weliswaar meetbaar maar wel net onder het voelbare niveau van 0,25 mm/s. Nu waren de trillingsniveaus anders, de tunnelboormachine was nog op enkele tientallen meters afstand en er werden trillingsniveaus gemeten tot 0,6 mm/s. Vergelijk van de data van de tunnelboormachine en een van de trillingsmeters op de panden liet duidelijk zien dat het proces van tunnelboren de trillingen veroorzaakte.

Na het passeren van de monumentale panden werd er geen trillingsoverlast meer ervaren bij andere belendingen die nog gepasseerd werden. Naar alle waarschijnlijkheid heeft dit te maken met de lokale geologie ter plaatse van de monumentale panden aan de Leidseweg in Voorschoten. Deze panden zijn gebouwd op een oude strandwal, er bevindt zich dus over de volledige hoogte van machine tot monument alleen maar zand. Op de rest van het tracé ligt dit anders, er zijn dan altijd wel een of meerdere klei- of veenlagen boven de tunnelboormachine. Deze slappe lagen lijken te fungeren als een effectieve demper van de trillingen. Als gevolg daarvan werden alleen ter plaatse van de monumentale panden hogere trillingsniveaus gemeten. ●



Figuur 6 – Door de tunnelboormachine ontgraven steen en stukken hout.



Figuur 7 – Gemeten trillingen simultaan aan het boorproces.