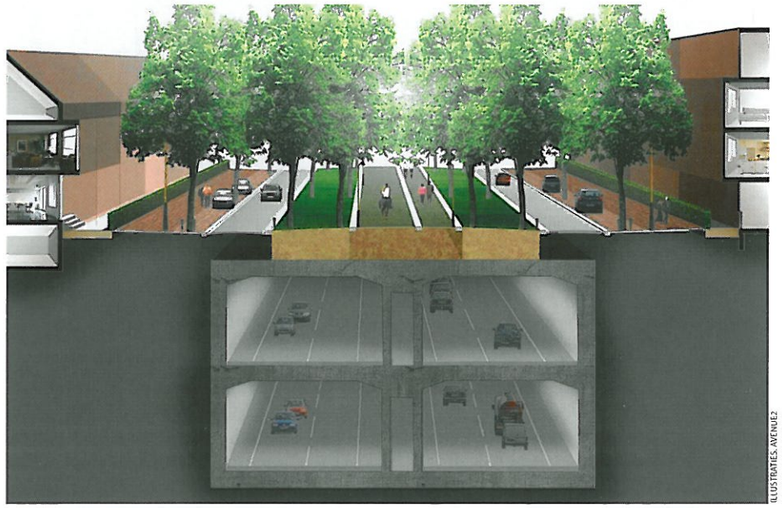
Ontwerp van A2-tunnel onder Maastricht

Onzeker kalksteen in grip met Observational Method

Voor het ontwerp van de A2-tunnel onder Maastricht was uitgebreid grondonderzoek noodzakelijk. De grondopbouw van vooral kalksteen is zeldzaam in Nederland. De uitkomsten van de laboratoriumproeven riepen weer hun eigen vragen op.

IR. B.J.H. GROTE / IR. J.H. VAN DALEN



ILLUSTRATIES AVENUE2

TUNNEL
Artist impression van de dubbellaags tunnel voor de A2 in Maastricht, met daar bovenop de Parklaan.

Het is een prachtig plan voor Maastricht en directe omgeving. Een plan dat niet verstorend, maar juist versterkend werkt voor Maastricht-Oost. Het project, de Groene Loper, is bedacht en wordt op dit moment uitgevoerd door bouwconsortium Avenue2 (Ballast Nedam en Strukton). Na realisatie van de dubbellaags tunnel verdwijnt eind 2016 het verkeer tussen kruispunt Geusselt en knooppunt Europaplein in een ongeveer 2,3 kilometer lange tunnel. De hoeveelheid voertuigen bovengronds neemt daardoor met 80 procent af.

Toch is A2 Maastricht meer dan een tunnel: met het plan worden infrastructuur en integrale gebiedsontwikkeling – snelweg én stad – samen aangepakt. Het zorgt voor een goede bereikbaarheid van Maastricht, doorstroming op de A2 en nieuwe kansen voor de ontwikkeling van aangrenzende buurten, door een betere verkeersveiligheid en leefbaarheid in Maastricht-Oost. Boven op de tunnel komt de Parklaan: een recreatief lint van tweeduizend lindebomen, dat van noord naar zuid door de stad slingert en een aantal oorspronkelijke landgoederen verbindt met de rest van de stad.

A2 MAASTRICHT

Dit is het eerste artikel in een serie van vijf over de uitvoering van het project A2 Maastricht. De volgende artikelen behandelen de constructie van de tunnel en van het 'vliegend viaduct', de doorstroming van het verkeer en een evaluatie van de Observational Method.

IN 'T KORT - ONTWERP

- Dubbellaags tunnel van 2,3 km lengte onder Maastricht verhelpt problemen A2
- Tunnel wordt gebouwd met 'cut and cover'-methode met zich verplaatsende bouwkuip
- Uitgebreid grondonderzoek om sterkte van kalksteen onder bouwkuipen te bepalen
- Bij ontwerp Observational Methode toegepast met mogelijke bijstuurscenario's

Bouwtrein vanaf 2013

Jarenlang is er gepraat over een oplossing van de A2 in Maastricht en de zes verkeerslichten die men daar tegenkwam. Met een functioneel programma van eisen en een vast budget werd de markt gevraagd het beste plan voor stad en snelweg te bedenken. Naast de tunnel bevat het project ook nog de volledige verknoping van de A2 en A79 bij knooppunt Kruisdonk, een nieuwe verbindingsweg tussen A2/A79 en bedrijventerrein Beatrixhaven en de bouw van vastgoed naast de tunnel.

Het plan van Avenue2 is uiteindelijk in 2009 als beste gekozen. Daarna is het consortium gestart met het voorbereiden van het tracébesluit en twee bestemmingsplannen. Nadat deze in recordtempo onherroepelijk zijn geworden, is het consortium nu volop bezig met de bouw. In eerste instantie met het verleggen van kabels, leidingen en riolering en de sloop van flats, maar nu ook met de definitieve betonconstructies.

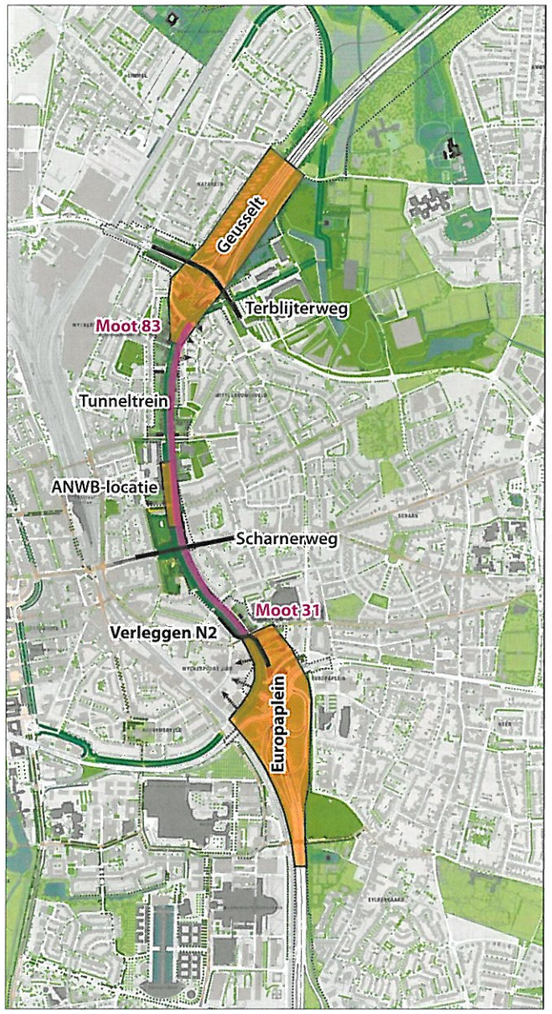
De tunnel in Maastricht krijgt vier aparte tunnelbuizen, twee keer twee buizen boven elkaar, elk met twee rijstroken. De onderste twee buizen zijn voor doorgaand verkeer, de bovenste twee voor regionaal en bestemmingsverkeer. De tunnel wordt gebouwd volgens de 'cut and cover'-methode, waarbij een gat wordt gegraven tussen tijdelijke wanden, waarna de constructie erin wordt gebouwd en vervolgens wordt weer aangevuld. De bouwtechniek bestaat verder uit een doorgaande, zich verplaatsende bouwkuip, een 'tunneltrein', die van zuid naar noord door de stad trekt met een snelheid van 24 meter per week.

Tijdens de bouw krijgt elke locatie dezelfde 'behandeling': graven van cement-bentonietsleuven; afhangen van damwanden als bouwkuipwand; uitgraven van de bouwkuip en plaatsen van de stempels; betonwerk voor vloer, wanden, tussenvloer, wanden en dak; afdekken met grond tot op maaiveld. Wanneer een tunneldeel klaar is, worden de damwanden er weer uitgetrokken en hergebruikt aan de voorkant van de tunneltrein.

In het voorjaar van 2013 start deze tunneltrein en medio 2015 komt hij aan bij de 'sluitmoot', de plek waar de tunneltrein aansluit op het bestaande tunnelwerk bij Geusselt. Daarna worden de tunneltechnische installaties aangebracht en getest, zodat de tunnel eind 2016 open kan voor verkeer.

Op dit moment wordt al, vooruitlopend op de start van de tunneltrein, op drie locaties aan de tunnel gebouwd: bij kruispunt Geusselt, bij knooppunt Europaplein en daar tussenin bij het Koningsplein (de zogenaamde ANWB-locatie). Laatstgenoemde is bijzonder binnen het project, omdat de ruimte op deze plek te krap is om de bouwkuip voor de tunnel en de tijdelijke N2 naast elkaar te leggen. Daarom wordt hier gebouwd volgens de zogenaamde wanden-dakconstructie, waarbij eerst de bouwkuipwanden en het tunneldak worden gemaakt, en daarna pas de vloer en de tunnelwanden. De eerste fase (westzijde) is sinds eind juni 2012 klaar. Over deze helft is de N2 gelegd, zodat het verkeer nu over het toekomstige tunneldak rijdt. Daarmee is ruimte ontstaan voor de tweede fase (oostzijde) van de wanden-dakconstructie, die vermoedelijk eind 2012 wordt afgerond. Daarna gaan op deze locatie de werkzaamheden ondergronds verder.

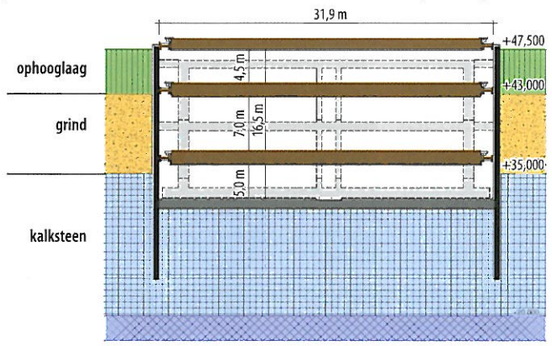
Voor dit project is – tijdens de tenderfase en voorafgaand aan en tijdens de ontwerpfase – uitgebreid grondonderzoek uitgevoerd. Dit grondonderzoek bestond uit boringen, laboratoriumproeven, sonderingen en SPT's (Standard Penetration Test). Tevens is geofysisch onderzoek uitgevoerd om informatie te verkrijgen over laagscheidingen en de aanwezigheid van afwijkingen, zoals breuken en zogenaamde karstverschijnselen – al dan niet met bovenliggend materiaal opgevulde holle ruimten – in de kalksteen. Vanwege de aanwezigheid van relatief harde steenlagen, zoals vuursteen, in de kalksteen, was uitvoering van sonderingen niet in alle gevallen mogelijk.



A2 MAASTRICHT
Overzicht van het project A2 Maastricht, met oplossingen voor de knelpunten bij Maastricht.

FOTO AVENUE2

Vanwege de krappe ruimte bij de zogenaamde ANWB-locatie in Maastricht ligt de N2 op deze plek over de tunnelbouwkuip. Sinds medio 2012 rijdt verkeer hier over het toekomstige tunneldak. Op alle andere locaties liggen bouwkuip en weg naast elkaar.



BOUWPUT
Doorsnede van de bouwput met tijdelijke stempels en, in stippellijnen, de definitieve tunnel. De freatische grondwaterstand is circa 3 meter onder maaiveld.

Grondopbouw

De grondopbouw bestaat voor een belangrijk deel uit kalksteen, een grondsoort die binnen Nederland alleen in Limburg voorkomt. Met het bouwen in deze grondsoort is in Nederland dan ook slechts beperkte ervaring opgedaan.

Wat betreft grondopbouw is het tunneltraject te verdelen in een noordelijk en zuidelijk trajectdeel, waarbij de scheidslijn ongeveer halverwege het tunneltracé ligt. In het noordelijke deel zijn de bovenste meters kalksteen zeer zwak, terwijl daar ook de diepere lagen tot circa NAP +20 meter minder goed gecementeerd zijn dan in het zuidelijk deel van het traject. Dit heeft te maken met klimatologische omstandigheden in de periode waarin de kalksteen werd gevormd. Dit betekent dat de door de ondergrond mobiliseerbare passieve weerstand (binnenkant van de bouwput) in het noordelijke deel van het traject ook minder is dan in het zuidelijke deel. Dit is vooral van belang voor het diepste ontgravingsniveau van de bouwput.

Laboratoriumproeven

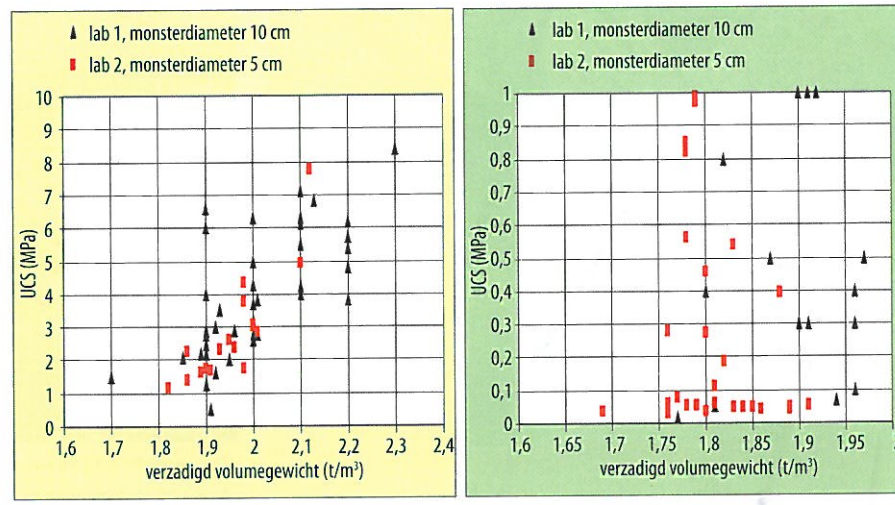
De sterkteparameters van de kalksteen zijn bepaald met onder meer éénaxiale drukproeven. Het grootste deel van deze proeven leverde sterktes (UCS-waarden, *unconfined compressive strength*) op van 0,03 tot 2 MPa voor het noordelijke deel en 2 tot 4 MPa voor het zuidelijke deel en noordelijk in diepere lagen.

Uit de proefresultaten is een duidelijke relatie tussen UCS-waarde en volumegewicht voor de kalksteen in het zuidelijke deel aantoonbaar.

Deze relatie wordt in het noordelijke deel niet gevonden. Opmerkelijk is echter dat er voor het noordelijk deel wel een patroon is te zien bij de laboratoria die de proeven hebben uitgevoerd: laboratorium 2 vindt zeer veel waarden kleiner dan 0,1 MPa en laboratorium 1 nauwelijks.

Voor de berekening van de kerende wanden zijn de UCS-waarden omgerekend naar de hoek van inwendige wrijving en cohesie. Hierbij zijn grote verschillen tussen de resultaten voor laboratorium 1 en 2. Vergelijking met sonderingen heeft opgeleverd dat de meest waarschijnlijke verklaring voor de extreme variatie in sterktes is veroorzaakt door het tot een kleinere diameter trimmen van de monsters van laboratorium 2, en dat de resultaten van laboratorium 1 vermoedelijk representatief zijn voor de werkelijke sterkte. Een andere, niet geheel uit te sluiten verklaring kan zijn dat laboratorium 1 de betere monsters heeft gebruikt voor het uitvoeren van de proeven, omdat monsters van sterker materiaal nu eenmaal gemakkelijk te verwerken zijn.

De uiteindelijke conclusie was daarom dat met een grote onzekerheid in de sterkte van de kalksteen rekening moest worden gehouden in het verdere ontwerp voor het noordelijke deel.



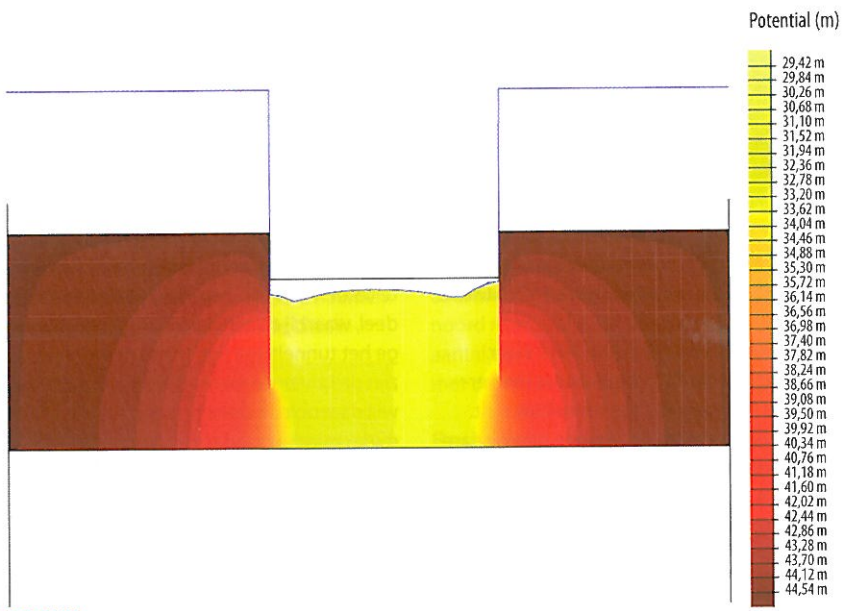
LABORATORIUMPROEVEN

Resultaten van de laboratoriumproeven voor het bepalen van de sterkteparameters van de kalksteen in het zuidelijke (links) en noordelijke (rechts) deel van het tunneltraject (let op de afwijkende schaal van beide grafieken).

Geohydrologie

Om een droge bouwput te krijgen, wordt bemaling toegepast. Deze bestaat uit deepwellen, geplaatst aan weerszijden binnen de bouwput. Uit pompproeven met tracers is een verhouding tussen verticale en horizontale waterdoorlatendheid in de kalksteen gevonden van circa 1:5. Geholpen door deze verhouding wordt volgens berekening een vrijwel hydrostatisch waterdrukverloop in de passieve zone van de kerende wand bereikt.

Als lokaal de verhouding tussen verticale en horizontale doorlatendheid ongunstiger is, zou de waterdruk met de diepte tot hogere waarden kunnen oplopen bij gelijkblijvend freatisch vlak binnen de bouwput. Dit zou tot een beperking van de passieve tegendruk tegen de kerende wand leiden, vooral als dit zou samengaan met een lage cohesie op dezelfde locatie.



WATERDRUK

Met MSEEP (grondwaterstromingsmodel) berekende waterdrukpotentiaal (stijghoogte) in de kalksteen over de tunneldoorsnede: een vrijwel hydrostatisch waterdrukverloop in de passieve zone van de kerende wand.

	dikte laag	laboratorium 1	laboratorium 2
Verweerde toplaag	1 tot 5 meter	φ = 32,5° c = 20 kPa	φ = 32,5° c = 8 kPa
Tussenlaag	5 tot 15 meter	φ = 32,5° c = 40	φ = 32,5° c = 8
Onderlaag	-	φ = 32,5° c = 80	φ = 32,5° c = 80

BRON: AVENUE2

STERKTE

Sterkteparameters van de kalksteen (representatieve waarden): sterktewaarden omgerekend naar hoek van inwendige wrijving (φ) en cohesie (c) voor de berekening van de kerende wanden.

Observational Method

Uit gevoeligheidsanalyses blijkt dat de berekening van de kerende wand bij de diepste ontgraving vooral gevoelig is voor de cohesie en de optredende wateroverspanningen aan de passieve zijde (binnenkant bouwkuip). Voor beide aspecten is ondanks uitgebreid grondonderzoek sprake van een restonzekerheid.

Uiteraard was het noodzakelijk in het ontwerp rekening te houden met de slechtst denkbare situatie van gelijktijdig optreden van een lage cohesie en een ongunstig waterspanningsverloop in de passieve zone. Om onder deze omstandigheden een robuust ontwerp te verkrijgen, zonder de economie uit het oog te verliezen, is gekozen in dit project de Observational Method toe te passen (zie het artikel over deze methode eerder in dit nummer). Dit betekent dat een ontwerp is gemaakt met bijstuurscenario's voor ongunstige doorsneden. Als de krachtswerking lokaal tegenvalt, wordt dit voldoende ruim voor het bereiken van de diepste ontgraving onderkend door toepassing van uitgebreide monitoring. De in die gevallen te volgen bijstuurscenario's zijn vooraf uitgewerkt en daardoor direct inzetbaar.

Op het moment van schrijven van dit artikel is de uitvoering van de ontgraving in het noordelijke deel in volle gang.

Bart Grote is omgevingsmanager bij Avenue2.
Jan van Dalen is senior geotechnisch adviseur bij Avenue2.