



ir. Sander Vernooij RC,
ing. Jan de Vries MSEng RC
BAM Advies & Engineering

1 Bouwput Nieuw Hoog Catharijne
foto: Bouwputrecht.nl

Vijf lagen parkeren onder Hoog Catharijne gebouwd met top-downmethode

Grensverleggend funderingssysteem in Utrecht



1

Als onderdeel van de grootschalige vernieuwing van het stationsgebied in Utrecht wordt ook winkelcentrum Hoog Catharijne aangepakt. Het krijgt een ondergrondse vijflaagse parkeergarage. Omwille van een hoge bouwsnelheid is gekozen om te bouwen volgens de top-downmethode. De start lag bij de -2-vloer en vanaf daar zal tegelijkertijd naar boven en naar onder verder worden gebouwd. Om dit mogelijk te maken was een vernieuwend funderingssysteem nodig.

In 1973 opende Hoog Catharijne in Utrecht zijn deuren als het grootste overdekte winkelcentrum van Europa. Het diende ter uitbreiding van het centrumgebied en verbond het oude stadscentrum met het centraal station. Met meer dan 26 miljoen bezoekers per jaar is Hoog Catharijne momenteel een van de grootste winkelcentra van Nederland. Het winkelgebied was echter toe aan een grondige vernieuwing.

Het plan Nieuw Hoog Catharijne (NHC) omvat een uitbreiding van het winkelcentrum met 35 000 m² en daaronder een parkeergarage voor 1300 auto's. Deze vernieuwing maakt deel uit van het plan CU2030, dat uitkomst moet bieden aan achter-

stallig onderhoud, verloedering en een groeiend aantal reizigers en inwoners in de stad. Onderdeel is ook het opengraven van de gedempte Catharijnesingel.

Nieuwbouw

De nieuwbouw kan worden onderverdeeld in een onder- en een bovenbouw. Deze splitsing betreft niet alleen de functie (bovenbouw winkels en woningen, onderbouw parkeren), maar ook andere aspecten. Zo wordt de onderbouw uitgewerkt op basis van Engineer&Build en de bovenbouw in Bouwteam. Daarnaast worden voor beide delen andere normen gehanteerd: het onderste deel wordt uitgewerkt conform de TGB en het bovenste conform de Eurocode. Dit is het gevolg van een ander moment van vergunningverlening. Omdat de onderbouw de fundering is voor de bovenbouw, worden in die onderbouw wel de gevolgen van de Eurocode meegenomen. Het bovenste bouwdeel zal na oplevering niet direct als één complex herkenbaar zijn; het wordt namelijk verdeeld door de Catharijnesingel. Deze singel loopt dwars over de parkeergarage heen en heeft aan de ene zijde het Poortgebouw, erboven de Stadskamer en aan de andere zijde het Entreegebouw (fig. 3 en 4).

De onderbouw van het project omvat de parkeergarage en de in- en uitritten. Om op deze smalle locatie toch voldoende parkeerplaatsen te kunnen realiseren, is een garage ontworpen



2



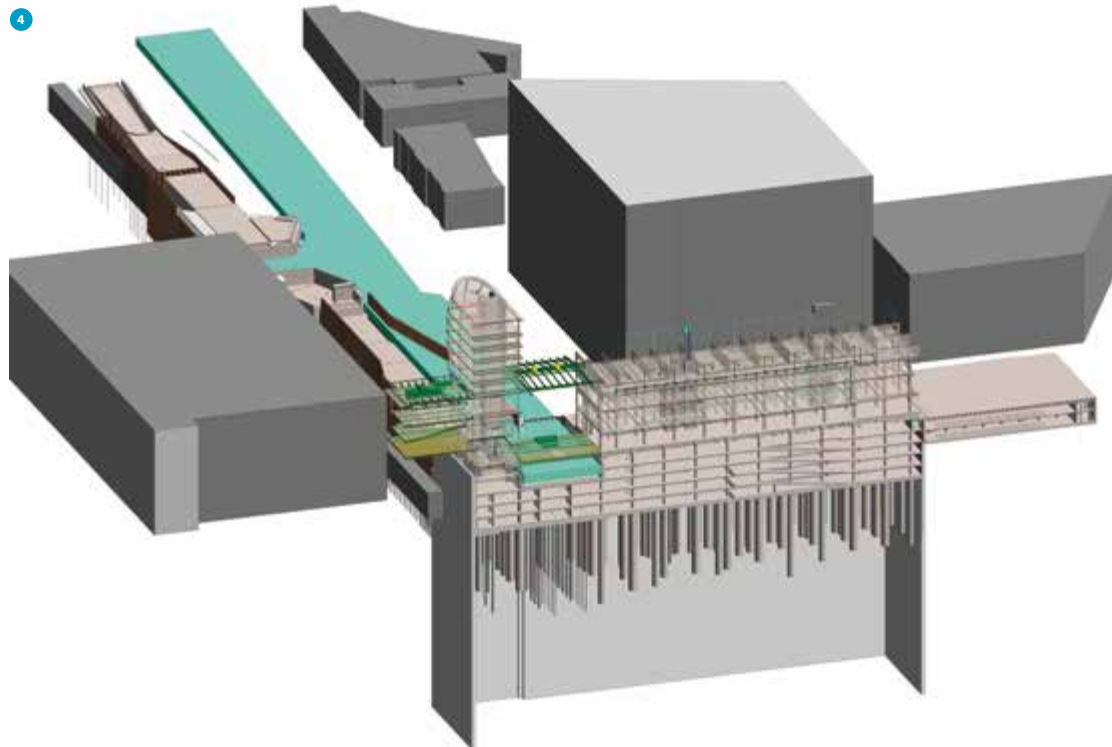
3

van vijf lagen diep. Hij wordt ontsloten door twee tunnels van ongeveer 220 m lang (fig. 2). Deze sluiten aan op de -3-laag, omdat de inrit onder de singel uitkomt.

Een vijf laagse diepe garage betekent een diepte van minimaal 5 x 3 m plus de benodigde dikte voor een fundering en een overgangsconstructie. Dat resulteert in een bouwkuip van 18 m diep. De constructie van de garage bestaat uit in het werk gestorte vloeren, prefab afgehangen betonkolommen (onderste drie lagen) en traditionele in het werk gestorte kolommen (bovenste twee lagen).

Waterdichte kuip

Voor het project is een waterdichte kuip gerealiseerd door tijdelijk gebruik te maken van het polderprincipe. Aan de onderzijde wordt deze kuip afgesloten door de laag van Kedichem (NAP -58 m). De laag heeft op die diepte een gemiddelde dikte van meer dan 2 m, waarbij de waterdoorlatendheid gering is. De omtrek van de kuip is gerealiseerd door cement-bentonietwanden tot in de laag van Kedichem. Deze wanden zijn 1 m breed en zijn uitgevoerd met de diepwandtechniek. De sleuf is gevuld met een cement-bentonietmengsel dat fungeert



4

- 2 De garage wordt ontsloten door twee tunnels van ongeveer 220 m lang
- 3 Impressie van de bovenbouw met links het Entreegebouw, in het midden de Stadskamer en rechts het Poortgebouw
- 4 De bovenbouw wordt in tweeën gesplitst door de Catharijnesingel, die over de parkeergarage gaat lopen

als steunvloeistof (foto 5). Door toevoeging van cement aan de steunvloeistof is die na verloop van tijd verhard, waardoor een wand met een geringe waterdoorlatendheid is ontstaan. In deze sleuf zijn stalen diepwandprofielen (Larssen 430) van 35 m lang afgehangen (fig. 6). Deze damwand verzorgt de benodigde stabiliteit van de bouwkuip en vormt in de definitieve fase een gesloten bak in combinatie met de keldervloer. Vanuit constructief oogpunt was een lengte van 35 m voldoende. De waterdichting onder de voet van de damwand wordt door de cement-bentonietwand verzorgd.

De damwand vormt tevens de definitieve buitenwand van de parkeergarage, waardoor hij ten behoeve van de waterdichtheid

5



- 5 Uitvoering diepwandtechniek
- 6 Principe cement-bentonietwand met gedeeltelijke stalen damwand

volledig is afgelast. Doordat de damwanden worden afgehangen in een uitgegraven sleuf, kon de helft van de lussen in de fabriek worden aangebracht. Voor de damwanden zijn voorzetwanden geplaatst. De koppeling tussen de vloeren en de damwanden vindt plaats met behulp van deuvels die tegen de damwand worden gelast. Ten gevolge van corrosie moest met een afname van de doorsnede van de damwand worden gerekend.

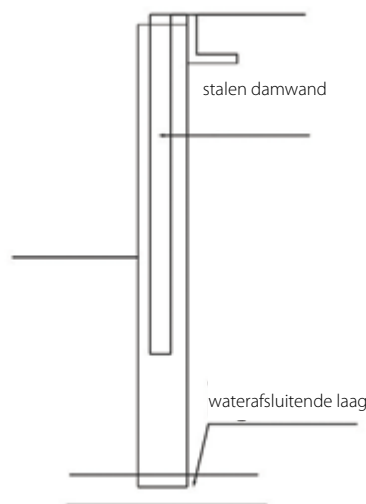
Top-down

Het maken van een 18 m diepe kuip is op zichzelf al een uitdaging. Het feit dat dit moest gebeuren in het hart van Utrecht direct naast verschillende belendingen – waaronder het voor meer dan €100 miljoen gerenoveerde muziekgebouw VredenburgTivoli – maakte de uitdaging nog een stuk groter. Gekozen is om te bouwen volgens de top-down-bouwmethode, waardoor deels van boven naar onder wordt gebouwd (fig. 7).

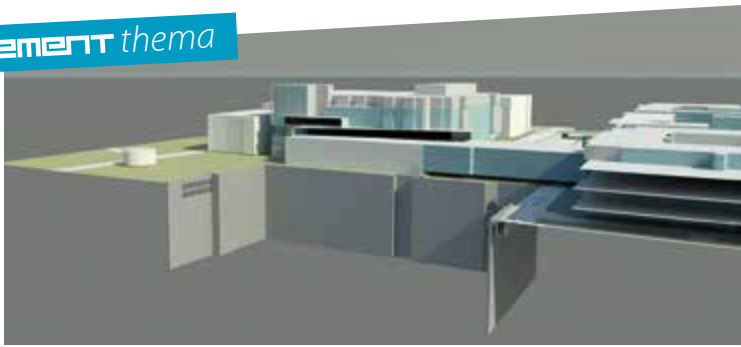
Reden hiervoor is de ligging dicht tegen de belendingen en een hoge bouwsnelheid omdat gelijk naar boven en naar onder kan worden gebouwd. Bijkomend voordeel is dat de vloeren ook meteen als stempelraam fungeren.

Bij dit project is in eerste instantie een twee lagen diepe bouwkuip gemaakt, die door middel van groutankers op -1 stabiel wordt gehouden. Vervolgens is de vloer op -2 gestort die de stempelfunctie gaat verzorgen.

Het deel boven de -2-vloer wordt gebouwd op een traditionele wijze. Het doorstempelen tot beneden de -2 vloer is echter niet mogelijk, omdat onder deze vloer wordt gebouwd en vrij moet worden gehouden van stempels. De -2-vloer is daarom verhoogd belastbaar uitgevoerd om de stortbelasting van de erboven gestorte vloeren te kunnen dragen. In dit artikel wordt verder vooral ingegaan op de bouw onder het niveau -2.



6



7a



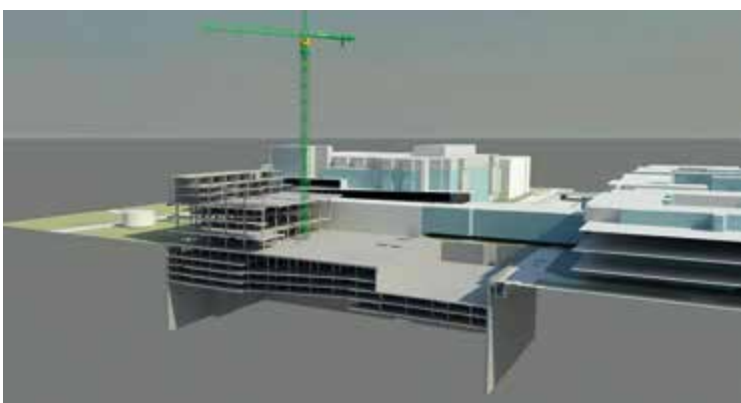
7b



7c



7d



7e

7 Begonnen is met de -2-vloer, waarna tegelijkertijd naar onder en naar boven wordt gebouwd

8 Aanbrengen boorpalen

9 Visualisatie boorpaal met prefab kolom

10 Boorpaal loopt tot onderzijde van de -5-vloer; voor het deel tussen -5 en -2 wordt een prefab kolom in de boorpaal afgehangen

Fundering

Om voldoende bouwsnelheid te halen en zowel naar boven als naar onder te kunnen bouwen, is gekozen voor een innovatief funderingssysteem. In basis bestaat dit uit grote diameter-boorpalen (GDBP, foto 8) met prefab-betonkolommen. Deze boorpalen zijn vervaardigd vanaf werkniveau op NAP -2,5 m, (ongeveer het -2 niveau) terwijl de definitieve fundering in de eindfase zich op NAP -13,5 m bevindt. Daarom is alleen het onderste deel (van NAP -35 m tot -14 m) van de GDBP gevuld met beton en zijn in de GDBP de definitieve geprefabriceerde betonkolommen voor de onderste drie kelderverdiepingen afgehangen (fig. 9). Deze kolommen dragen de -2-, -3- en -4-vloer (fig. 10). De toelaatbare tolerantie van de afgehangen kolom is beperkt. Bij de uitvoering is afgestemd een maat van 50 mm in alle richtingen aan te houden. Daarom is een geavanceerd stelframe toegepast, waarmee de kolom exact kon worden geplaatst (foto 13).

De GDBP kan worden beschreven als een combinatie van paal en een 1-paals poer: de paal is meteen een 1-paalpoer voor de kolommen. Het maken van een GDBP begint met het intrillen van een casing. Deze casing geleidt de boorkop, die het daadwerkelijke gat maakt voor de paal. Voordat beton in het boorgat wordt gestort, wordt de casing gevuld met een bentonietmengsel dat als tijdelijke steun voor het boorgat dient. Het beton wordt gestort nadat de wapeningskorf is aangebracht, maar voordat de casing is getrokken. Het beton duwt daarbij het bentonietmengsel er als het ware uit. Nadat het beton is gestort, wordt de prefab kolom afgehangen tot 2 m in de GDBP. Het beton krijgt een overhoogte om te garanderen dat de kolompunt wordt omhuld met beton (foto 11).

Paal-plaat

Na het maken van de onderste (-5) vloer die de bouwkuip afsluit en definitief waterdicht maakt, is als bijna automatisch een plaat ontstaan. Deze heeft ten gevolge van de draagkrachtige zandlagen in de Utrechtse grond een dragende functie gekregen. De GDBP en de plaat werken dus samen waardoor een paal-plaatfundering is ontstaan. Deze fundering is reeds eerder toegepast in Utrecht, bij de nieuwbouw van de Rabobank-torens aan de Croeselaan [1].

Afhankelijk van de locatie in de bouwput en de voortgang van de bouw, nemen GDBP's een forsere deel van de permanente belasting voor hun rekening ten koste van de plaat. Doordat het maken van vloeren in dit project langzamer gaat dan bij traditioneel omhoog bouwen, is dit een relatief groot deel.

Aansluiting prefab-betonkolom en GDBP

Ter plaatse van de -5 vloer sluit de kolom aan op de GDBP. Onder de punt van de kolom moet beton aanwezig zijn dat



8

voldoet aan de beoogde betonsterkteklasse. Aan het bentonietmengsel kan geen constructieve waarde worden toegekend. Om dit zo veel mogelijk te sturen, is onder de kolom een kleine punt (ca. 15°) aangebracht (foto 12). Door deze punt is tijdens het zakken van de kolom in het beton een kleine zijwaartse stroming ontstaan. Hierdoor is onder de punt het bentoniet volledig verwijderd zodra de kolom op de juiste hoogte kwam te hangen. Zo is de aansluiting met het constructieve beton (C35/45) gewaarborgd.

Tijdens het ontwerpproces is veel gesproken over het nazakken van beton onder de punt, waardoor geen goede aansluiting zou kunnen ontstaan. Gezien de grote hydrostatische druk van het bovenliggende bentonietmengsel wordt dit niet waarschijnlijk geacht. Toch is gekozen om stekankers onder de kolom aan te brengen. Dit sluit ook aan op de eis uit de VBC, die stelt dat in een op normaalkracht belaste doorsnede ten minste moet worden gerekend met $Md = 0,1 \cdot h \cdot N \cdot d$.

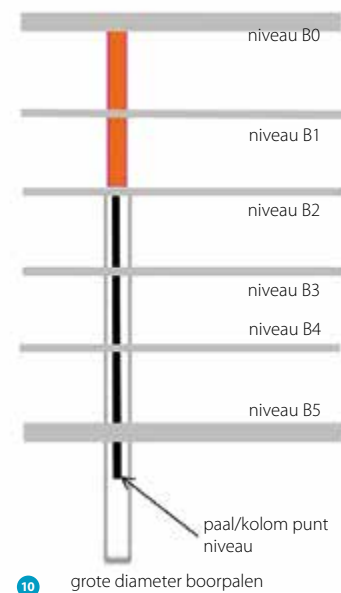
In de aansluiting tussen prefab kolom en GDBP kan ook draagvermogen worden ontwikkeld door schachtwrijving. Rekenkundig is ervoor gekozen om hier geen waarde aan te hechten. Het aansluitvlak tussen kolom en GDBP is wel ruw gemaakt ten behoeve van een goede aanhechting.

Inleiding kolombelasting in boorpaal

De wapeningskorf in de boorpaal bestaat uit verticale staven en beugels. De beugels zitten in de buitenste laag, de langsstaven in de tweede laag. De verticale staven zijn enerzijds om de boorpaal te koppelen aan de -5-vloer om opdrijven van die vloer te voorkomen. Anderzijds is een deel van de kolombelasting 'opgehangen' aan de vloer, waardoor de plaat is geactiveerd en er een paal-plaatwerking is ontstaan (zie volgende alinea).



9



10 grote diameter boorpalen

Onder de kolom punt is een driedimensionaal vakwerk ontstaan als gevolg van de kolomlast. Door dit vakwerk vormen zich horizontale spatkrachten, die worden opgesloten door de beugels. De kracht uit de diverse drukdiagonalen wordt ontbonden in een trekkracht in de beugels, waarmee de benodigde diameter en de staalspanning is bepaald. Scheurwijdte wordt bepaald door een randzone aan te nemen en middels het trekstaafmodel de scheurwijdte te bepalen.

Storten vloeren

Zoals gezegd is de bouwkuip eerst tot de -2-vloer ontgraven. De -2-vloer kon hierdoor simpelweg op staal worden gestort. Echter de onderzijde van deze vloer komt in de eindfase in het zicht. Voor een optimaal en uitvoerbaar resultaat, is de keuze gemaakt voorgespannen breedplaatvloeren te leggen op een vooraf door trilplaten gestabiliseerd grondpakket. Mede om de mogelijke toleranties van de breedplaten in lengterichting op te vangen, is tussen de kolommen in één richting een stortstrook (natte strook, fig. 14) toegepast. Deze strook is meegestort met de druklaag op de breedplaatvloeren.

Ten behoeve van een goede aansluiting zijn de kolommen ruw gemaakt over de hoogte van de vloer. Daarnaast zijn stekankers aangebracht in de kolommen om de vloer te koppelen met de kolom.

Om de vloeren onder niveau -2 te kunnen bouwen, moet de grond onder dat niveau worden ontgraven. Dit ontgraven gebeurt vanuit een tijdelijke sparring, die uiteindelijk als laatste wordt gesloten. Door dit ontgraven worden de damwanden van de bouwkuip belast. Dit moet geleidelijk gebeuren en spiegel-symmetrisch, anders heeft de gehele kuip de neiging één richting op te gaan en dat heeft een negatieve invloed op de belendingen. Daarom is een specifieke routing bedacht.

- 11 Prefab kolom afgehangen in de bentoniet van de boorpaal
- 12 Onder de kolom is een kleine punt (ca. 15°) aangebracht, waardoor tijdens het zakken van de kolom in het beton een kleine zijwaartse stroming ontstond
- 13 Geavanceerd stelframe voor de plaatsing van de prefab-betonkolom



11



12

Voor de -3- en de -4-vloer is het net als voor de -2-vloer zeer wenselijk breedplaatvloeren op een uitgevlakt grondpakket toe te passen. De breedplaten moeten tussen de reeds afgehangen kolommen worden vervoerd. Door de elementen smaller te houden dan de tussenaafstand van de kolommen, wordt het aanbrengen van de platen vereenvoudigd. De combinatie van stortstroken en breedplaten, met allemaal dezelfde lengte, maakt het maken van de vloeren in de top-downmethode uitvoerbaar.

Omgeving

Kasteel Vredenburg

De bouwlocatie ligt in het hart van Utrecht, tussen het centraal station en de oude gracht en deels op de plek waar in de 16e eeuw Kasteel Vredenburg is gebouwd. Dit is een beschermd historisch monument. Gekozen is om delen van het kasteel in de parkeergarage terug te plaatsen. De oude stadswal wordt hiervoor in delen gezaagd, op een apart terrein bewaard en vervolgens op de -1-laag teruggebracht. Op die manier krijgen de toekomstige bezoekers de mogelijkheid dit deel van historisch Utrecht te bezichtigen.

TivoliVredenburg

Een van de belendingen van de parkeergarage is het muziekgebouw TivoliVredenburg, dat zich op één plek op minder dan een meter van de bouwput bevindt. Onderdeel van dat project was de renovatie van de oude symphoniezaal van Hertzberger.

13



Deze is gefundeerd op korte palen, waarvan de paalpunt hoger ligt dan tot waar de bouwput is ontgraven. Om te voorkomen dat het muziekgebouw te grote vervormingen zou ondergaan, is voor het oude gebouw een funderingsverbetering toegepast en is ervoor gekozen de buitenste palenrij van het oude gebouw, grenzend aan de bouwput, over te pakken met behulp van hydraulische vijzels. Deze vijzels kunnen opwaarts of neerwaarts worden gevizeld, afhankelijk van de zakking van de 2e en 3e palenrij. Forse scheuren zouden kunnen ontstaan wanneer de buitenste palenrij niet zakt, maar de 2e en 3e rij van de bestaande palen wel (sagging). De opgepakte buitenste palenrij kan hierop anticiperen.

Aanvullend op de hydraulisch vizelbare buitenste palenrij is gekozen de uitbuiging van de damwand te beperken. Die treedt op door het uitgraven van de grond onder de -2-vloer. Uit de geotechnische berekeningen blijkt het graven onder de -3- en -4-vloer de grootste invloed te hebben. Om de uitbuiging van de damwand te beperken en de elastische en krimpvervorming van de vloer te overbruggen, worden deze twee vloeren horizontaal gevizeld. Tussen de vloer en de damwand worden hiervoor hydraulisch gestuurde vijzels aangebracht, die de zakking van alle palen van TivoliVredenburg verder beperken.

V&D

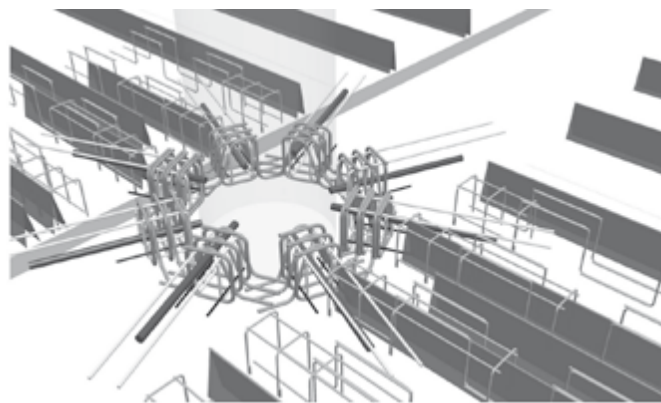
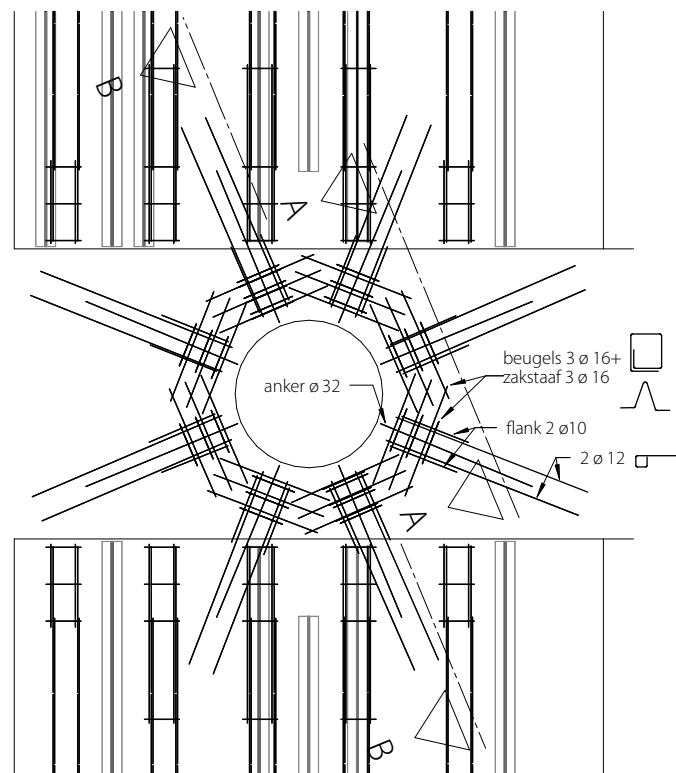
Aan de andere kant van de bouwput staat de V&D. De traverse tussen dit warehouse en de bouwput blijft tijdens de bouw in gebruik. Het is een 24-uursroute die dus dag en nacht zeer druk is bezocht. Hoewel de traverse in een volgende fase wordt vervangen, is ook deze opgevangen met funderingsverbeteringen. Daardoor komt de bruikbaarheid van de route gedurende de bouw van de parkeergarage niet in het geding.

Monitoring (geluid/trilling/grondwater)

Op voorhand is een goede inschatting gemaakt van de uit- en doorbuigingen. Omdat berekeningen altijd worden gemaakt aan de hand van schematiseringen en aannamen, is de gehele bouwput (en inparticulier bij TivoliVredenburg) nauwgezet gemonitord. De resultaten zijn gebruikt bij het bepalen van de vizelstappen voor het opvangen van de buitenste palenrij.

Opening

Naar verwachting opent de parkeergarage in 2016. Tot dat moment zal de gekozen top-down-bouwmethodiek zich moeten bewijzen, samen met de funderingsverbeteringen van de belendingen, de vijzels, de gekozen ontgravingsmethode en het storten van drie vloeren van 80 x 120 m² onder de reeds gestorte vloeren. Gedurende de bouw kunnen geïnteresseerden vanuit de traverse nabij V&D plaatsnemen in het 'bouwtheater'. Vanaf daar is er perfect zicht op de bouwplaats. ☒



● LITERATUUR

- Galjaard, J., Toonen, S, Ellipsen sieren Utrechtse skyline. *Cement* 2010/5.

● PROJECTGEGEVENS

- project** Nieuw Hoog Catharijne
opdrachtgever Corio
aannemer BAM
architect Altoon + Porter Architects, Los Angeles
uitwerkend architect Oeverzaaijer
constructeur bovenbouw en ontwerp onderbouw Van Rossum
constructeur onderbouw uitvoering BAM Advies & Engineering