

---

# Paal-plaatfundering met zettingsremmers

---

Biesbosch 225: Trekankers in bouwfase fungeren als 'zettingsremmer' in eindsituatie



---

*In Amstelveen wordt sinds begin 2020 gebouwd aan het nieuwbouwproject Biesbosch 225. Het kantoorgebouw dat hier stond werd gesloopt en maakt plaats voor hoogwaardige en duurzame nieuwbouw met 276 appartementen en een drielaagse parkeerkelder. In de fundering zijn speciale maatregelen genomen om het vervormingsverschil en moment in de gewapende onderwaterbetonvloer te reduceren.*

**Het nieuwbouw Biesbosch 225 is 55 m hoog en heeft 18 woonverdiepingen (fig. 2).**

De ruwbouw wordt uitgevoerd met een tunnelbekisting. De beganegrondvloer en het omliggende dek van de parkeergarage wordt 1,5 m boven het naastliggende maaiveld gerealiseerd, waardoor tweeëneenhalve verdieping van de drielaagse parkeerkelder ondergronds wordt aangebracht (foto 1). Een dergelijk diep aanlegniveau op deze projectlocatie vroeg de nodige aandacht.

**Ontwerp kelder en fundering**

Bij het maken van diepere bouwkuipen in Amstelveen ontbreekt een waterremmende laag, waardoor de stijghoogte van het grondwater vrij spel heeft. Deze stijghoogte komt ongeveer overeen met het maaiveld. Een bouwkuip maken met een bemaling is in verband met de grote debieten en de invloed buiten de bouwkuip niet wenselijk, waardoor een oplossing met onderwaterbeton of een gelinfectie benodigd is.

Bij het project Biesbosch 225 zijn beide uitvoeringsmethodes in een variantenstudie met elkaar vergeleken, waarbij ook is gekeken naar het aantal parkeerlagen. Gekozen is voor de oplossing met onderwaterbeton en een drielaagse parkeerkelder. Hiervoor waren verschillende redenen.

De eerste reden was dat met onderwaterbeton kortere damwanden kunnen worden toegepast dan bij een gelinfectie. Omdat de damwanden in het ontwerp permanent

en dragend zijn en daardoor in de grond achter blijven, was de oplossing met onderwaterbeton voordeliger.

De tweede reden was nog belangrijker. De grondopbouw laat zien dat op het aanlegniveau van de fundering bij een bak van tweeëneenhalve laag diep een sterke zandlaag aanwezig is. Deze draagkrachtige pleistocene zandlaag bevindt zich onder slappe klei- en veenlagen in het holocene pakket, tot 7 à 8 m beneden maaiveld. Bij een à twee kelderlagen wordt bij deze bodemopbouw normaal een paalfundering toegepast. Maar omdat het aanlegniveau van de drielaagse kelder van Biesbosch 225 op circa 9 m onder het maaiveld ligt, was in dit geval een paalfundering niet noodzakelijk; de kelder vloer ligt compleet in het pleistocene zandpakket. De neerwaarts gerichte funderingslasten kunnen direct in deze draagkrachtige zandlagen worden afgedragen en de fundering van het gebouw kan als klassieke fundering op staal worden ontworpen. Door de onderwaterbetonvloer gewapend uit te voeren kan deze deel uitmaken van deze plaatfundering. Het onderwaterbeton wordt dan niet alleen gebruikt als afdichting van de bouwkuip en als werkvloer, maar is ook onderdeel van de constructievloer.

Uiteindelijk is in het ontwerp gekozen voor een onderwaterbetonvloer van 1250 mm dik die samenwerkt met een 400 mm dikke constructievloer. Om in de bouwfase het onderwaterbeton op zijn plek te houden zijn trekankers (schroefinjectionpalen type D conform CUR236) ontworpen (fig. 3). →

↓  
**PROJECTGEGEVENS**

- project**  
Biesbosch 225 in Amstelveen
- opdrachtgever**  
Forum Invest
- architect**  
OZ Architects  
Form Concept & Design
- constructeur**  
IMd Raadgevende Ingenieurs
- geotechnisch adviseur**  
CRUX Engineering
- aannemer**  
Heddes Bouw & Ontwikkeling

auteurs



**IR. ROB STARK**

Directeur  
IMd Raadgevende  
Ingenieurs



**IR. DENNIS RIETDIJK**

Projectleider  
IMd Raadgevende  
Ingenieurs



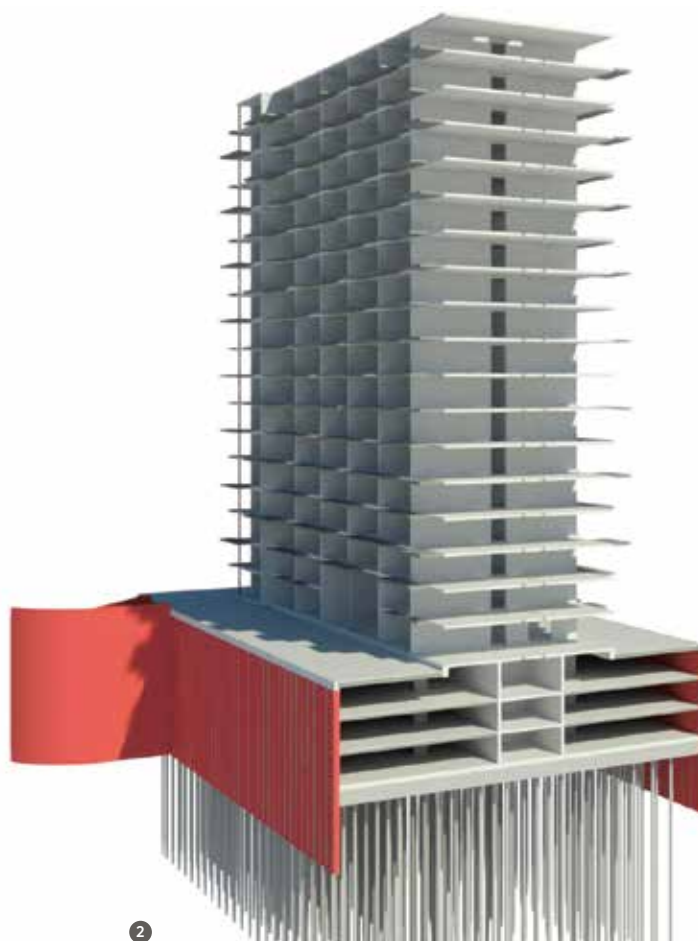
**IR. GUIDO  
MEINHARDT**

Senior Specialist /  
Partner  
CRUX Engineering BV



**IR. DAVID  
HARTMANN**

Senior Adviseur  
CRUX Engineering BV



## Optimalisatie

Op basis van het definitief ontwerp is het project aanbesteed en is het ontwerptraject in bouwteamverband doorgezet. Bij de start van het bouwteam moesten drie risico's met betrekking tot de uitvoering van de gewapende onderwaterbetonvloer nader worden uitgezocht:

- 1 De fundering op staal geeft op lange termijn een vervormingsverschil van circa 120 mm tussen de rand van de kelder en midden onder het gebouw. Wat zijn de bouwkundige gevolgen hiervan?
- 2 Welke wapening is nodig in het onderwaterbeton en hoe kan deze worden aangebracht?
- 3 De trekankers zijn niet ontworpen op een drukkracht en moeten flexibel worden ingestort in het onderwaterbeton zodat geen druk in de ankers kan ontstaan. Hoe kan dat zonder risico worden gerealiseerd?

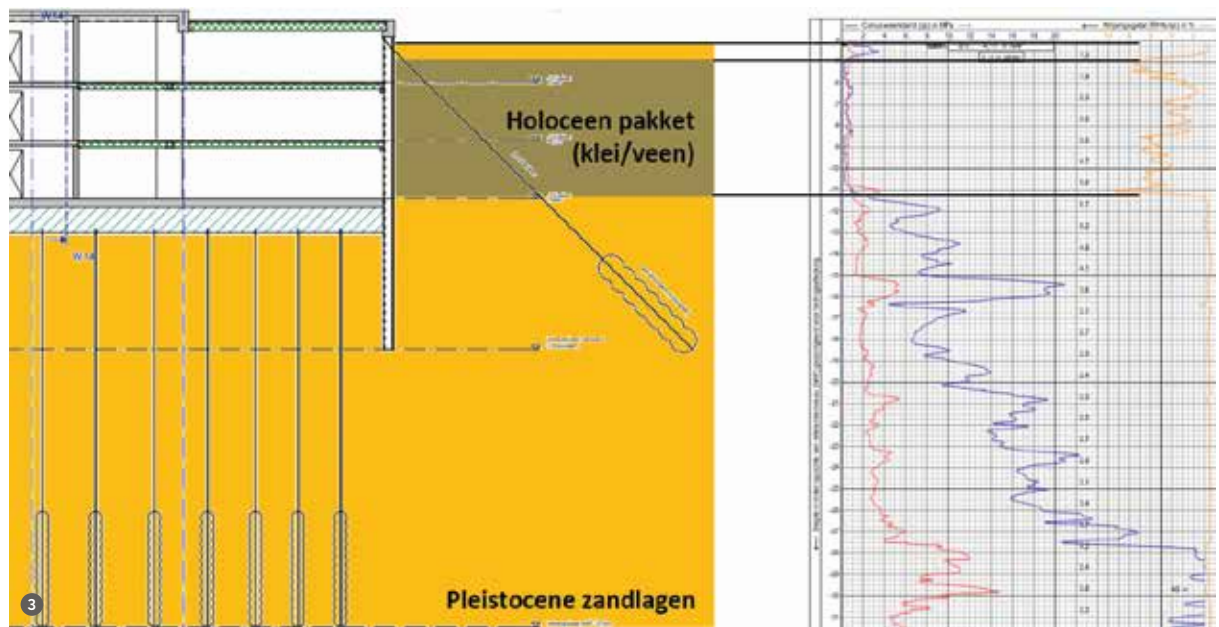
In het bouwteam zijn bovenstaande risico's nader bekeken. De oplossing voor alle drie de risico's is het toepassen van een paal-plaatfundering waarbij de trekankers als zettingsremmers werken.

## Paal-plaatfundering

Het vervormingsverschil zoals genoemd bij risico 1 wordt veroorzaakt doordat onder de kern van het gebouw relatief hoge funderingslasten in de grond worden afgedragen, terwijl de randen van de kelder netto op trek zijn belast omdat hier alleen de kelder aanwezig is. Uit vervormingsberekeningen met PLAXIS bleek dat de niet uniforme belastingen tot relatief grote verschilzakkingen en krommingen in de keldervloer leiden. Daarom zouden voor de trekankers zoals genoemd bij risico 3 kostbare 'drukvrrije' aansluitingen van de ankerpaalkoppen in de vloer benodigd zijn, omdat de ankerpalen bij een klassieke fundering op staal enkel op trek ontworpen zijn.

Om de zettingen, de verschilvervormingen en de krommingen in de vloer te kunnen reduceren en toch het detail voor de drukvrrije aansluiting van de ankerpaalkop in de vloer te vermijden, is een alternatieve funderingsmethode uitgewerkt: een paal-plaatfundering. Kern van dit funderingstype is het benutten van de verticale ankerpalen, niet alleen als trekelementen, maar ook als op druk belaste 'zettingsremmer' onder de vloer. Hiermee wordt het moment in de vloer en daarmee de hoeveelheid wapening gereduceerd. De oplossing bleek zelfs te leiden tot de benodigde bezuiniging die nog moest worden gevonden.

De paal-plaatfundering is uitgewerkt conform de in 2017 door SBRCURnet gepubliceerde richtlijn 'Paal-plaat funderingen - Ontwerppraktijk' [1]. In het systeem wordt het geotechnische draagvermogen van de plaat in de uiterste grenstoestand (UGT) ontleent aan de draagkrachtige zandlaag direct onder de plaat (klassieke berekening als fundering op staal) en wordt de verticale stijfheid van de in de eindsituatie lokaal op druk belaste ankerpalen meegenomen in de vervormings- en constructieve analyse voor zowel de UGT- als de BGT-controles. Hierdoor kan de vervorming van de vloer wor-



## UITVOERINGSMETHODE BOUWKUIP

Voor het aanbrengen van de onderwaterbetonvloer werd na het aanbrengen van de stalen damwandenplanken en het verankeren met een eenlaagse ankerrij, de kuip in den natte ontgraven. De trek-elementen (ankerpalen) zijn vanuit een ponton aangebracht. Na de installatie van de ankerpalen werd de geprefabriceerde wapening met een kraan en onder begeleiding van duikers op de bodem van de bouwput geplaatst. Nadat de wapening was aangebracht, werd de onderwaterbetonvloer gestort en de bouwkuip leeggepompt.

den gehalveerd ten opzichte van een klassieke fundering op staal en de krommingen in de vloer (en daarmee de momenten) zijn beïndrukkend minder.

### Verificatie

Het ontwerp van een paal-plaatfundering vereist iteratieslagen tussen constructeur en geotechnisch adviseur. De geotechnisch adviseur bepaalt de verticale beddingen en de paalstijfheden en bijbehorende afkapwaarden van het representatieve geotechnische draagvermogen als input voor de constructieve berekeningen. Op het moment dat het representatieve geotechnische drukdraagvermogen wordt bereikt, heeft de ankerpaal geen stijfheid meer en wordt hij weggedrukt. Het paalsysteem is dusdanig ontworpen dat de vloeikracht in de ankerstaaf altijd hoger is dan de representatieve drukkracht in de paal. De hiermee berekende vervormingen uit het constructieve model moeten overeenkomen met de vervormingen uit het geotechnische model.

Voor de constructieve verificatie van de paal-plaatfundering moesten een aantal bezwijkmechanismen worden getoetst. Voor deze toetsingen zijn verschillende scenario's nodig voor de verticale beddingen van de bodem en de paalstijfheden. Aan de hand van het SBRCURnet-rapport zijn op basis

van de te beschouwen mechanismen (linker kolom tabel 1) in totaal zes maatgevende geotechnische berekeningsvarianten bepaald die in tabel 1 zijn weergegeven. Tabel 1 geeft aan met welke belastingsituatie moet worden gerekend en welke stijfheden voor grond, palen en damwanden moeten worden toegepast om voor het specifieke mechanisme de maatgevende situatie te beschouwen. Zo moet bijvoorbeeld voor de toets 3, pons paal, met een hoge belasting (UGT) en paalstijfheid (UGT bovengrens) en een lage grond- en damwandstijfheid (UGT ondergrens) worden gerekend, omdat dit de meest ongunstige krachtwerking levert voor deze specifieke toets pons paal.

Voor elke geotechnische berekeningsvariant is een bedding en paalstijfheid conform de richtlijn bepaald, die de basis vormt voor een specifiek constructief berekenings-scenario.

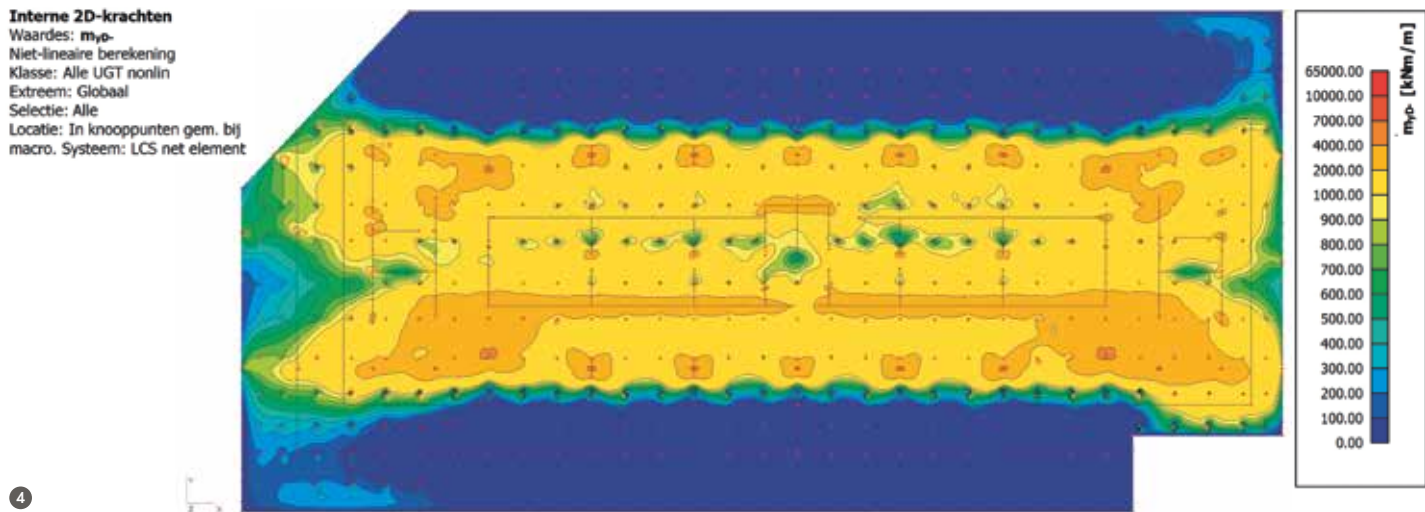
Met de verschillende combinaties van bedding, paalstijfheid en afkapwaarden zijn de benodigde modellen van de keldervloer in SCIA gegenereerd (fig. 4). Voor de kalibratie hebben verschillende iteraties plaatsgevonden, waarbij ook verificaties zijn uitgevoerd met een 1D-model in Technosoft.

Voor bezwijkmechanisme 1 (sterkte en scheurwijdte) is een tweede model →

Tabel 1 Berekeningsvarianten\*

Mechanisme	Belasting	Grondstijfheid	Palen	Damwand	Geotechnische berekeningsvariant
1a.1 Sterkte plaat (dragende wand)	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT og	UGT bg	1
1a.2 Sterkte plaat (belaste wand)	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT og	UGT og	2
1b Scheurwijde plaat	BGT	$E_{k,low}$	BGT og	BGT og	3
2.1 Verbinding plaat-wand (dragende wand)	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT og	UGT bg	1
2.2 Verbinding plaat-wand (belaste wand)	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT bg	UGT og	4
3 Pons paal	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT bg	UGT og	
4a Pons kolom (boven veld)	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT bg	UGT bg	5
4b Pons kolom (boven paal/palen)	UGT	$E_{k,low} \times 1,5 \times 1,5$	UGT og	UGT og	6
5 Sterkte paal	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT bg	UGT og	4
6 Draagvermogen plaat	UGT	$E_{k,low} \times 1,5 \times 1,5$	UGT og	UGT og	6
7 Draagvermogen paal	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT bg	UGT og	4
8.1 Draagvermogen grondkering	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT og	UGT bg	1
8.2 Draagvermogen grondkering	UGT	$E_{k,low} / 1,3$	UGT og	UGT og	2
9a Zetting (vb: ROK)	BGT	$E_{k,low}$	BGT og	BGT og	3
9b Bovenbouw BGT (vb: gebouwen)	BGT	$E_{k,low}$	BGT og	BGT og	
9c Belendingen	BGT	$E_{k,low}$	BGT og	BGT og	

\* Blauw zijn bezwijkmechanismen van de constructie  
 Rood zijn geotechnische bezwijkmechanismen  
 Groen zijn mechanismen die betrekking hebben op de vervormingen van de grond



gemaakt, waarbij de paalstijfheden zijn verlaagd om een gelijke zetting in het SCIA-model te krijgen als in het PLAXIS-model. De reden hiervoor is dat de SCIA-berekening alleen de s1-zetting (paalkop) meeneemt en niet de langeduur zetting s2 (zettingen onder de paalpunt door de paalgroep). De wapening van de vloer is berekend aan de hand van dit tweede model.

### Uitwerking wapening

De onderwaterbetonvloer is in bouwfase ongewapend berekend. Vanwege de toleranties aan de onder- en bovenzijde van de vloer is gerekend met een dikte van 1,0 m, in plaats van 1,25 m (toleranties onderzijde  $\pm 150$  mm en bovenzijde  $\pm 75$  mm).

In de eindfase werkt de onderwaterbetonvloer samen met de in het droge

*Voor de constructieve verificatie van de paal-plaat-fundering zijn een aantal bezwijk-mechanismen getoetst*

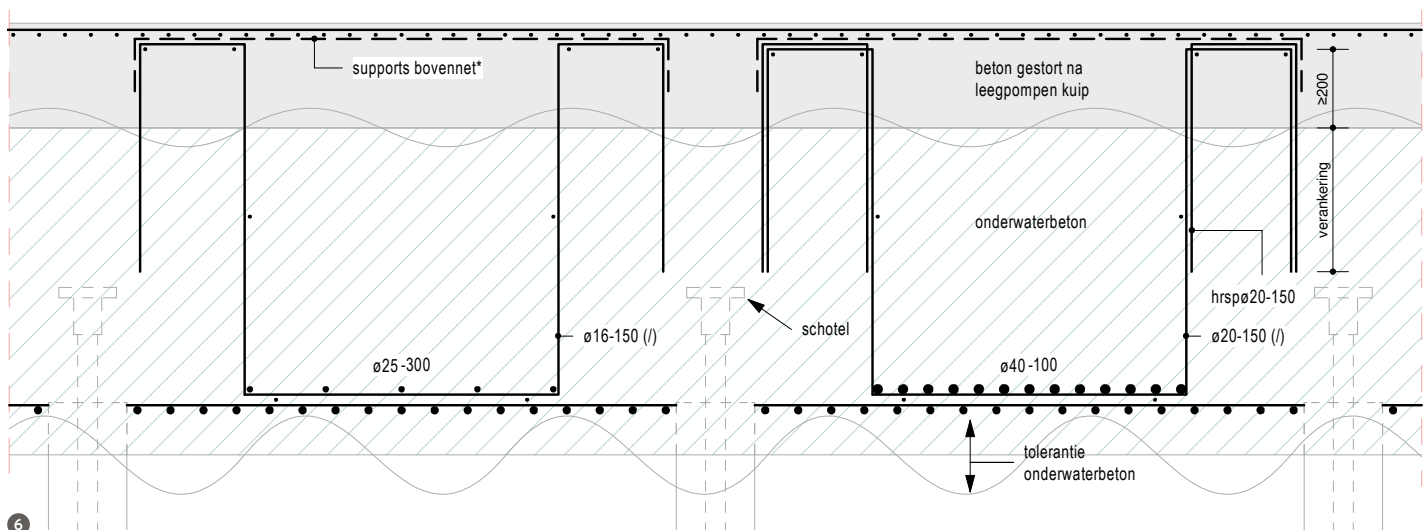


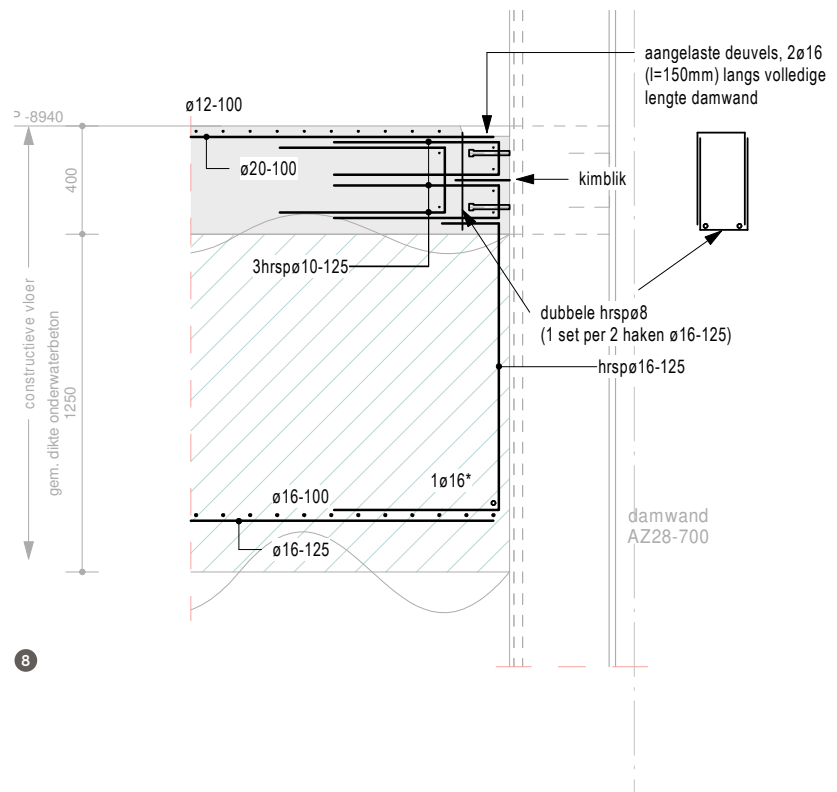
gestorte vloer van 0,4 m dik. Om deze samenwerking te kunnen bewerkstelligen is de benodigde onderwapening, dwarskrachtwapening en afschuifwapening in het onderwaterbeton ingestort (foto 5).

De uitwerking van de wapening vergde de nodige aandacht, omdat de wapening onder water moest worden aangebracht en een juiste configuratie moest hebben om het storten van het beton mogelijk te maken.

Het storten van het beton is gedaan met de Hop-dobbermethode. De Hop-dobber heeft aan de onderzijde van de stortbuis een schotel met een diameter van 1,0 m die

vlak boven de onderwapening moet kunnen komen om het beton goed te kunnen laten uitvloeien en om ontmenging van het beton tegen te gaan. Om dit mogelijk te maken zijn U-korven met een breedte van 1,2 m ontworpen waartussen de Hop-dobber kon bewegen (fig. 6, foto 7). Deze U-korven zijn hart op hart 2,4 m aangebracht, hetgeen overeenkomt met de h.o.h.-afstand van de trekankers waardoor geen conflict ontstaat met de schotels van de trekankers. De wapening van de U-korven is opgebouwd uit de bijlegonderwapening van de hoofdwapeningsrichting, de dwarskrachtwapening →





*Er zijn 1,2 m brede U-korven ontworpen waartussen de Hop-dobber kon bewegen*

en de benodigde schuifwapening tussen de op verschillende tijdstippen gestorte vloeren.

De overige onderwapening is aangebracht met (eerder aangebrachte) netten. De basiswapening hiervan is  $\text{Ø}32-125$  in hoofdrichting en  $\text{Ø}16-100$  in andere richting. De netten en U-korven samen – in de korven bevinden zich op enkele plaatsen staven  $\text{Ø}40-100$  – resulteren in een aanzienlijke hoeveelheid wapening die onder water moest worden geplaatst, met de kans dat het beton niet overal kon komen. Door plaatsingsproeven op het droge uit te voeren is dit in beeld gebracht en is het risico beheerst.

### Aansluiting vloer damwand

In de bouwfase is de fixatie van de onderwaterbetonvloer met de damwand gerealiseerd door wrijving ten gevolge van de stempeldruk van de damwand. In eindfase is de koppeling voorzien in het later gestorte deel van de constructievloer. Hierbij is rekening gehouden met de krachtswerking volgens de geotechnische modellen met verschillende

beddingen en paalstijfheden. In de ene situatie moet kracht worden overgedragen van de dragende damwand naar de constructievloer en in de andere situatie andersom.

De koppeling is gemaakt met twee rijen aangelaste deuvls en haarspelden (fig. 8). Voor een langere lekgeweg is een 'kimblik' toegepast. Dit kimblik is gemaakt met een stalen strip van 12 mm dik die rondom aan de damwand is vastgelast. Bepalend voor de dikte van de stalen strip is het voorkomen van kromtrekken door de warmte die ontstaat bij het lassen.

### Geslaagd concept

Met het toepassen van een paal-plaatfundering met zettingsremmers is optimaal gebruikgemaakt van de omstandigheden in de projectlocatie. De technische uitwerking was alleen mogelijk door een goede samenwerking tussen IMd Raadgevende Ingenieurs, CRUX Engineering en Heddes Bouw & Ontwikkeling. De keldervloer is inmiddels uitgevoerd en de ervaringen zijn zeer positief. Het is een geslaagd concept dat vaker kan worden toegepast. ●

### LITERATUUR

1 Paal-plaat funderingen – Ontwerppraktijk, CROW, [www.crow.nl/publicaties/paal-plaat-funderingen](http://www.crow.nl/publicaties/paal-plaat-funderingen).