

---

# Funderen op CSM-panelen na proefbelastingen

---

Bij nieuwbouw in het Cosun Park in Breda is het draagvermogen van CSM-barettten getest conform NPR 7201



*Het Cosun Park in Breda is een ambitieus stadsontwikkelingsproject waarbij een voormalig kantorenterrein wordt getransformeerd naar een woonplan. Op het terrein van het voormalige hoofdkantoor van de Suikerunie komen zes woongebouwen en een mogelijkheid tot ondergronds parkeren. Als fundering zijn CSM-panelen toegepast waarvan het draagvermogen vooraf is getest.*

**De zes woongebouwen, Cosun 1 t/m 6, bieden een variatie van koop-, sociale en middenhuurappartementen in een parkachtige omgeving.**

Cosun 1 is het voormalige hoofdkantoor van de Suikerunie en is inmiddels herbestemd tot appartementen. Voor Cosun 2 t/m 6 wordt voorzien in sloop en nieuwbouw. Dit artikel richt zich met name op de fundering van woongebouwen Cosun 4 en 5.

**Constructief ontwerp**

De woongebouwen Cosun 4 en 5 staan met vijf respectievelijk zes bouwlagen op een parkeerkerker van twee bouwlagen (fig. 2). Deze kelder strekt zich buiten beide gebouwen uit en wordt op het dek voorzien van een daktuin. De bovenbouw is opgezet in een ongeschoord raamwerk, uitgevoerd in de bouwmethode wanden-breedplaat. In de lengterichting van de bovenbouw wordt de stabiliteit gehaald uit de momentvaste knopen tussen de bouwmuren en de vloeren. In de dwarsrichting wordt de schijfwerking van de bouwmuren benut. De wandenstructuur vanaf kelderdek staat op een kolomstructuur in de kelder. De kelderbak is op niveau 0 en -1 uitgevoerd in breedplaatvloeren in combinatie met balkbodems en ter plaatse gestorte betonkolommen.

**Ontwerp bouwkuip en fundering**

De twee nieuwe woongebouwen zijn voorzien ter plaatse van het voormalige Cosun 4 en 5, die behoudens de fundering nooit zijn

afgebouwd. Wel waren reeds in de grond gevormde, grondverwijderende avegearpalen (mortelschroefpalen) aangebracht op een ondiep en diep paalpuntniveau. Het paalpuntniveau van de ondiepe palen was min of meer gelijk aan het aanlegniveau van de nieuwe kelder. Deze palen konden tijdens de aanleg van de kelder worden verwijderd. Het paalpuntniveau van de diepe palen reikt tot onder een waterremmende laag in een vast zandpakket. De grondslag rondom deze bestaande palen was tijdens hun installatie dermate verstoord dat een fundering op staal met een plaatfundering in combinatie met grondverbetering geen reële optie was. Een aantal van deze bestaande palen is in de nieuwe fundering opgenomen.

Voor de realisatie van de kelder is rondom een verankerde CSM-wand (cutter soilmix) voorzien (foto 3). Deze reikt tot in de vaste zandlaag, onder de waterremmende laag, waarmee een gesloten bouwkuip is gerealiseerd. CSM-wanden hadden kostentechnisch de voorkeur boven diepwanden. Met het principe van CSM wordt gebruikgemaakt van de ondergrond ter plaatse, zonder dat betonmortel moet worden aangevoerd en grond moet worden afgevoerd. Ook damwanden zijn afgevallen in verband met de kosten. Hierbij speelde bovendien mogelijke hinder bij het aanbrengen en trekken.

Omdat de CSM-stelling toch al aanwezig zou zijn voor de bouwkuipwanden, is besloten het gebouw ook op CSM-panelen en -baretten te funderen (foto 1). Dit had voordelen voor kosten, planning en fasering. →

↓  
**PROJECTGEGEVENS**

- project**  
Cosun Park Breda
- opdrachtgever**  
Reales
- architect**  
EVA architecten
- hoofdconstructeur**  
H4D Raadgevend  
Ingenieurs
- aannemer**  
Ouweland Bouw  
Gorinchem
- onderaannemer**  
CSM-wanden  
BodemBouw
- Geotechnisch adviseur**  
Geosonda
- Advies en uitvoering**  
proefbelastingen  
Allnamics Geotechnical  
Experts



auteurs



**IR. JURGEN HOUBEN**

Directeur / Adviseur  
H4D Raadgevend  
Ingenieurs



**ING. FRITS  
HUIJBRECHTS**

Geotechnisch Adviseur  
Geosonda



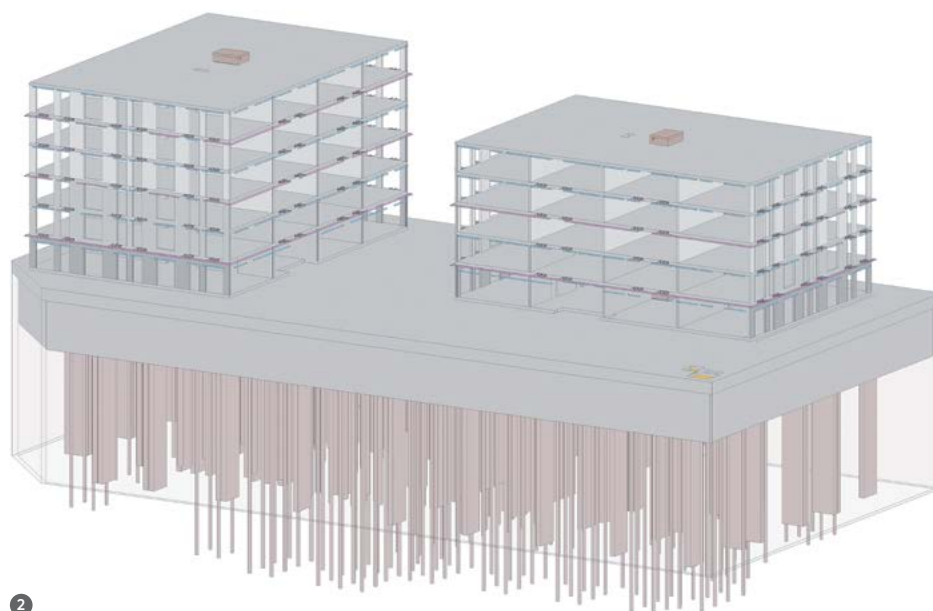
**IR. ROB VAN DORP**

Geotechnisch Adviseur  
Allnamics  
Geotechnical Experts



**ING. OSKAR DE KOK**

Constructeur /  
Bouwkuip Specialist  
BodemBouw



Onder de kolommenstructuur in de kelder zijn enkele CSM-panelen of -baretten van 2, 3 of 4 panelen toegepast. De belastingafdracht ligt tussen de 2000 en 7500 kN per kolom. Op deze CSM-baretten zijn poeren voorzien, als onderdeel van de keldervloer, die de kolomlast gelijkmatig over het CSM-oppervlak verdelen.

### **Draagvermogen en zettingsgedrag**

Voor het bepalen van het draagvermogen van deze baretten is geotechnisch NEN 9997-1+C2 gevolgd. Voor de CSM-panelen en hiermede dus ook de baretten kunnen volgens handboek Soilmix-wanden [1] onderstaande factoren worden aangehouden. De baretten



4

zijn uitgevoerd met een ruimte van 100 mm tussen de CSM-panelen. Als paalafmeting is de omtrek van de baret aangehouden.

→ Paalklassefactor schacht druk:  $\alpha_s = 0,006$

→ Paalklassefactor punt:  $\alpha_p = 0,35$

→ Last-zakkingslijn 3 (conform NEN 9997-1, fig. 6)

Om de puntweerstand te kunnen berekenen zijn diepe sonderingen gemaakt, die conform de gehanteerde rekenmethodiek moesten reiken tot minimaal  $4D_{eq}$  onder het beoogde paalpuntniveau van de baretten. Conform de gehanteerde last-zakkingslijn 3 bedraagt de maximale verplaatsing van de paalpunt 20% van de equivalente paalpuntdiameter.

Bij deze uitgangspunten zou het draagvermogen van de baretten pas toereikend zijn bij 3 en 4 panelen. Bovendien waren aanzienlijke verplaatsingen van de paalpunt te verwachten, die niet opneembaar waren

door de constructie. Zowel het draagvermogen als de verplaatsing van de paalpunt werden als niet-reëel beoordeeld. Besloten werd daarom geschiktheidsproeven uit te voeren op meerdere tweepaneels baretten.

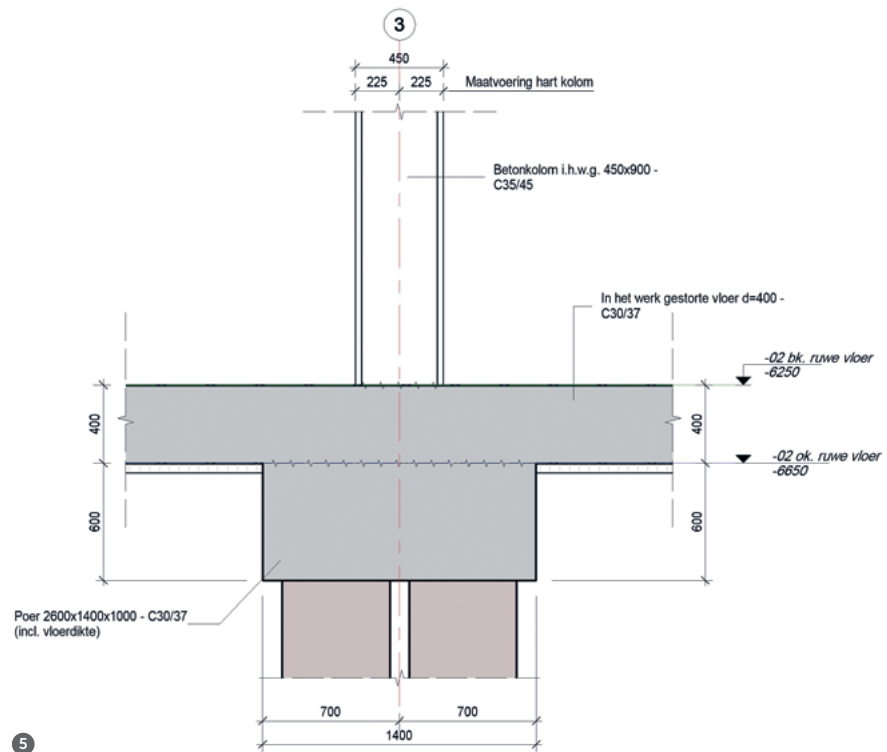
## Geschiktheidsproeven

**Rapid Load Testing (RLT)** Voor de geschiktheidsproeven is gebruikgemaakt van Rapid Load Testing (RLT). Dit is een methode om het draagvermogen van paalfunderingen en de daarbij optredende vervorming te bepalen. De relatief snelle methode wordt reeds tientallen jaren toegepast ter vervanging van en in aanvulling op Statische Proefbelastingen (SLT).

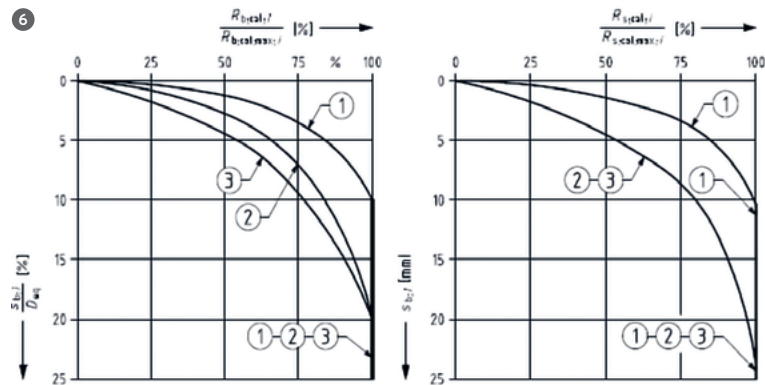
Voor de uitvoering en interpretatie van de resultaten is gebruikgemaakt van ISO 22477-10:2016 [2], NPR 7201:2017 [3] en CUR-rapport 230 [4], die ondubbelzinnig beschrijven op hoe de meetgegevens moeten worden uitgewerkt en beoordeeld. →



Voor de realisatie van de kelder is rondom een verankerde CSM-wand voorzien



5



Legenda

- 1 last-zakkingslijn 1 volgens tabel 7.c
- 2 last-zakkingslijn 2 volgens tabel 7.c
- 3 last-zakkingslijn 3 volgens tabel 7.c

Figuur 7.n — Relatie tussen de kracht op de paalpunt ( $R_{b,act}$ ), in % van de maximumkracht op de paalpunt ( $R_{b,act,max}$ ) bij de uiterste grenstoestand of de bruikbaarheidsgrenstoestand en de zakking van de punt ( $s_{b,act}$ ), in % van  $D_{eq}$

Figuur 7.o — Relatie tussen de schuifkracht op de paalschacht ( $R_{s,act}$ ), in % van de maximumschuifkracht op de paalschacht ( $R_{s,act,max}$ ) bij de uiterste grenstoestand of de bruikbaarheidsgrenstoestand en de zakking van de punt ( $s_{b,act}$ ), in mm

**StatRapid (STR)** StatRapid (STR) is een methode voor het uitvoeren van RLT (fig. 5). Het principe van StatRapid behelst het laten vallen van een valgewicht op een speciaal ontwikkeld modulair verenpakket. Door een geavanceerde combinatie van de massa van het valgewicht en de stijfheid van het veren-

pakket is de tijdsduur van de belasting dusdanig dat de paal zich quasi-statisch gedraagt. Anders gezegd: de gehele paal beweegt zich gelijktijdig in dezelfde richting, waardoor (in tegenstelling tot bij dynamische proefbelastingen) complexe golfinterferentiepatronen niet beschouwd hoeven te worden.

*Omdat de CSM-stelling toch al aanwezig zou zijn voor de bouwkuipwanden is besloten het gebouw ook op CSM-wanden te funderen*



In dit geval is een configuratie ingezet met 40 ton valgewicht. Daarmee kunnen belastingen tot maximaal 10 à 11 MN worden uitgeoefend. Verderop in dit artikel worden de testbelastingen toegelicht die voor het project Cosun zijn toegepast. Voor een paneel met ontwerpbelasting 3300 kN bedroegen deze 5450 kN exclusief toeslag voor het effect van toekomstige ontgraving, en 6370 kN à 9140 kN inclusief deze toeslag.

De belasting op de paal wordt verondersteld te voldoen aan een Rapid Load, wanneer wordt voldaan aan:

$$10 < \frac{T_f}{L/c_p} \leq 1000$$

Waarin:

$T_f$  de tijdsduur van de belasting

$L$  de paallengte

$c_p$  de golfvoortplantingssnelheid in het paalmateriaal

Het StatRapid-apparaat heeft een ingebouwd hydraulisch hijsmechanisme, waarmee de valhoogte kan worden ingesteld. Vervolgens wordt het valgewicht hydraulisch ont- →



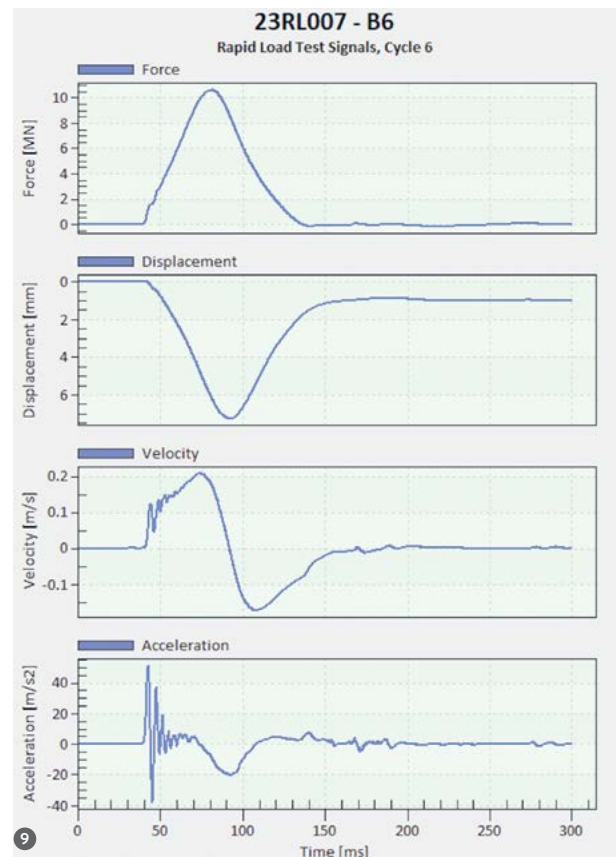
## MONITORING

Om het draagvermogen te bepalen worden bij StatRapid de volgende acties uitgevoerd (zie ook fig. 8, aanduidingen hieronder aangegeven):

- De kracht wordt gemeten met load cells (A).
  - De verplaatsing van een reflectorplaat (B) wordt gemeten met het zelfkalibrerende optisch meetsysteem Reyca (C).
  - De versnelling wordt gemeten met een gevoelige accelerometer (D).
- Via numerieke integratie volgt hieruit ook de verplaatsing.
- Als back-up wordt met een optische waterpas de blijvende zakking na de test bepaald.

De load cells zijn geplaatst op een stalen plaat (E) om de kracht gelijkmatig verdeeld over te kunnen brengen naar de paal. De load cells en accelerometer zijn verbonden met het Allnamics PDR-systeem (F), het data-acquisitiesysteem.

Figuur 9 bevat een voorbeeld van de grafische veldresultaten van één belastingcyclus.



grendeld en nadat het valgewicht voor de eerste keer terug omhoog stuitert van het veerpakket op de paalkop, wordt deze weer hydraulisch gevangen. Hiermee wordt voorkomen dat het valgewicht voor een tweede keer op de paalkop neerkomt, zodat eenvoudig een cyclische proef met in grootte toenemende belastingstappen kan worden uitgevoerd. Voor een volgende belastingstap

wordt dan een grotere valhoogte ingesteld.

Tijdens de test worden de kracht op en de verplaatsing en versnelling van de paalkop gemeten. Uit de meetgegevens kunnen conform de Unloading Point Method (UPM) de paalstijfheid, het last-zakkingsgedrag en het maximaal gemobiliseerd statische draagvermogen worden afgeleid. De UPM wordt beschreven in ISO 22477-10:2016.



## Uitvoering proefbelasting conform NPR 7201

Voor uitvoering van proefbelastingen bestaat sinds 2017 praktijkrichtlijn NPR 7201. In die richtlijn staan vijf klassen (A1, A2, B, C en D) voor opzet en uitvoering (tabel 1 in de richtlijn). Opgenomen zijn bijbehorend toepassingsgebied, minimaal aan te brengen testbelasting, vereiste of toegestane testmethode en benodigde instrumentatie. Rapid Load Testing wordt in alle gevallen toegepast, behalve voor klasse A1.

Het voornaamste onderscheid tussen de vijf klassen schuilt in de doelstelling van de proef:

→ Klassen A1/A2/B zijn gericht op wat de paal **maximaal** kan presteren, door deze tot grondmechanisch bezwijken te belasten. Het resultaat wordt gebruikt als input voor het ontwerp.

→ Bij klassen C/D wordt – op projectbasis – gecontroleerd of de paalfundering **voldoende** draagvermogen heeft voor het betreffende project, door de proefpalen tot een vooraf bepaalde belasting te beproeven. Het resultaat wordt gebruikt als controle van het ontwerp.

Bij klasse C gaat het om een representatief aantal individuele palen, op basis waarvan de gehele fundering zal worden beoordeeld. In het geval van D betreft het een individuele paal, waarvan in principe alleen het eigen functioneren zal worden beoordeeld.

Bij Cosun Park is klasse C aangehouden. De filosofie van deze klasse komt hierop neer:

→ Het funderingsadvies voorspelt wat het minimaal beschikbare draagvermogen is, bij een bepaalde combinatie van schachtafmetingen en paalpuntniveau.

→ Met een test conform klasse C wordt gecontroleerd of dit draagvermogen inderdaad beschikbaar is. Hiervoor worden tenminste drie representatieve palen getest.

→ Er is sprake van een positief testresultaat wanneer geen van de testpalen grondmechanisch bezwijken vertoont. In dat geval is de ontwerpmethode (op projectbasis) bevestigd, hetgeen betekent dat de gehanteerde rekenmethode het minimaal beschikbare draagvermogen voor alle palen correct voorspelt.

Volgens NEN 9997-1+C2 is arbitrair bepaald dat voor grondverdringende paalsystemen het maximale paal draagvermogen is bereikt bij een maximale paalpuntverplaatsing ter grootte van 10% van de paalpunt diameter. Deze paalpuntverplaatsing wordt doorgaans gelijk gesteld aan de blijvende paalkopverplaatsing na ontlasten (definitie 1). Feitelijk is sprake van grondmechanisch bezwijken wanneer de belasting op de paalkop niet verder kan worden opgevoerd bij snel toenemende zakking van de paal (definitie 2). Een dergelijk bezwijkpunt is niet altijd eenduidig vast te stellen, maar wordt vaak gekozen als het snijpunt van de raaklijn voor de trendbreuk en de raaklijn na de trendbreuk. Dit is het punt waar de last-zakkingslijn overgaat van de kromme naar de verticale lijn. Bij palen met een zeer grote equivalente voetdiameter heeft definitie 2 de voorkeur boven definitie 1.

## Basiswaarde testbelasting

Bij uitvoering van proefbelastingen conform klasse C moet de testbelasting worden bepaald aan de hand van de formule in hoofdstuk 5.3.3 van NPR 7201:

$$F_{\text{test;RLT}} = (\kappa F_d + 2 F_{\text{nk;d}}) / (\eta / \xi_{\text{RLT}})$$

Waarin:

$F_{\text{test;RLT}}$  Testbelasting

$\kappa$  Product van partiële factor totale draagvermogen  $g_t$  en correlatiefactor  $\xi_1$

$F_d$  Rekenwaarde externe belasting

$F_{\text{nk;d}}$  Rekenwaarde negatieve kleef

$\eta$  Loading rate factor voor palen in zand conform NPR 7201;  $\eta = 0,94$

$\xi_{\text{RLT}}$  Partiële veiligheidsfactor voor Rapid Load Testing ( $\xi_{\text{RLT}} = 1,10$ )

De factor  $\kappa$  is bedoeld om onzekerheid over variatie van de grondslag in rekening te brengen. Dit op exact dezelfde wijze als de factor  $\xi$  voor paalberekningen op basis van sonderingen. Tabel 2 van NPR 7201 (tabel 1 in dit artikel) geeft, afhankelijk van het vermogen van de constructie om belasting te herverdelen, waarden voor  $\kappa$ , als functie van het aantal proefpalen. Voor proefbelasting van zes palen en een stijf bouwwerk geldt  $\kappa = 1,40$ . →

*Besloten werd  
geschiktheidsproeven  
uit te voeren*



**Tabel 1** Waarden voor  $\kappa$  conform tabel 2 uit NPR 7201

aantal te beproeven palen per project	proefbelasting - factor $\kappa$	
	niet-stijf bouwwerk	stijf bouwwerk
3	1,56	1,42
4	1,54	1,40
5	1,54	1,40
7	1,52	1,38
$\geq 10$	1,50	1,37

**Tabel 2** Relevante gegevens zes dubbele panelen

paneel	sondering	B x D [mm]	paalpunt-niveau m t.o.v. NAP	lengte <sup>1)</sup> [m]	10 L/c <sup>6)</sup> [ms]	$F_{s,d}$ [kN]	klasse C $F_{test,RLT(0)}$ <sup>2)</sup> [kN]	klasse C $F_{test,RLT(1)}$ <sup>3)</sup> [kN]	klasse C $F_{test,RLT(2)}$ <sup>4)</sup> [kN]
as B/as 3	103	1200 x 2400	-16,0	18,5	87	3300	5435	6370	9140
as B/as 6	15	1200 x 2400	-16,0	18,5	87	3300	5435	6370	9140
as C/as 7	158	1200 x 2400	-16,0	18,5	87	3300	5435	6370	6370 <sup>5)</sup>
as E/as 2	102	1200 x 2400	-16,0	18,5	87	3300	5435	6370	9140
as G/as 6a	111	1200 x 2400	-16,0	18,5	87	3300	5435	6370	6370 <sup>5)</sup>
as G/as 6b	111	1200 x 2400	-16,0	18,5	87	3300	5435	6370	6370 <sup>5)</sup>

- <sup>1)</sup> Lengte tijdens testen; inclusief opstorting/preparatie paalkop  
<sup>2)</sup> Basiswaarde exclusief correcties voor toekomstige ontgraving  
<sup>3)</sup> Waarde incl. correctie schachtwrijvingslengte  
<sup>4)</sup> Waarde incl. correctie schachtwrijvingslengte en effect ontgraving  
<sup>5)</sup> Geen effect ontgraving te verwachten i.v.m. reeds opgetreden reductie conusweerstand  
<sup>6)</sup> Vereiste minimum tijdsduur belasting voor Rapid Load Test

**Tabel 3** Voorstel belastingprotocol en belastingschema StatRapid

cyclus	valgewicht [ton]	voorspelde valhoogte [m]	veerconfiguratie	veerstijfheid [MN/m]	streef $F_{test,SLT}$ [kN]	predictie $F_{test,RLT}$ [kN]
1	40	0,10	16-Y	33,6	$0,5 F_{s,rep} + corr. 1^{a)}$	1900
2	40	0,25	16-Y	33,6	$F_{s,rep}$	3100
3	40	0,40	16-Y	33,6	$F_{s,rep} + corr. 1^{a)}$	3700
4	40	0,80	16-Y	33,6	$F_{s,rep} + corr. 1^{a)}$ & $2^{b)}) / F_{s,d}$	5435
5	40	1,20	16-Y	33,6	$F_{s,d} + corr. 1^{a)}$	6370
6	40	2,80	16-Y	33,6	$F_{s,d} + corr. 1^{a)}$ & $2^{b)}$	9140

- <sup>a)</sup> Waarde incl. correctie voor schachtwrijvingslengte (zie tabel 2)  
<sup>b)</sup> Waarde incl. correctie schachtwrijvingslengte en effect ontgraving (zie tabel 2)

Bij Cosun Park is als rekenwaarde van de ontwerpbelasting van de proefpanelen  $F_d = 3300$  kN en  $F_{nk,d} = 0$  gespecificeerd. Daarmee kan de basiswaarde van de testbelasting voor ieder paneel worden vastgesteld op:

$$F_{test,RLT} = (1,40 \cdot 3300 + 2 \cdot 0) / (0,94 / 1,10) \approx 5435 \text{ kN.}$$

In dit geval moest op de basiswaarde van de testbelasting nog een extra correctie worden toegepast in verband met het effect van de toekomstige ontgraving. Immers, tijdens de test treedt tussen maaiveld en toekomstige ontgravingsdiepte schachtwrijving op, die in de eindsituatie niet zal optreden. Tevens zal

de ontgraving (kunnen) leiden tot ontspanning van de ondergrond, waardoor er tijdens de test sprake kan zijn van hogere eenheidswaarden voor schachtwrijving en/of puntweerstand.

De correctie voor schachtwrijving kan vrij eenvoudig worden bepaald uit de ontwerp- en paalgegevens. De correctie voor afname van de conusweerstand (ontspanning ondergrond) onder invloed van de ontgraving is echter niet zo eenduidig en wordt in de praktijk eigenlijk maar zelden of slechts beperkt geconstateerd (via controlesonderingen).

Bij Cosun 5 was op voorhand reeds sprake van behoorlijk verlaagde conusweerstand.

standen, die in het verleden zijn ontstaan tijdens de installatie van oude avegaarpalen. Nog verdere afname van conusweerstand is in deze zone eigenlijk niet meer mogelijk. Op grond hiervan is besloten om zowel de basiswaarde, als beide correcties op te nemen als belastingstappen in het testprotocol.

## Testprotocol

Bij beproeving conform klasse C door middel van Rapid Load Testing moet conform NPR 7201 het testprotocol tenminste vijf belastingcycli omvatten. De stapgrootte tussen de cycli hoeft niet per se even groot te zijn.

In tabel 2 zijn voor de zes dubbele panelen de relevante gegevens gepresenteerd, waaronder de rekenwaardes voor de ontwerpbelastingen en de bijbehorende basiswaarden voor de testbelasting, exclusief en inclusief de hierboven besproken (mogelijk benodigde) correcties.

**Gegevens testpalen** Bij StatRapid kan men de belasting niet nauwkeurig instellen, maar de valhoogte wel. Het belastingprotocol is

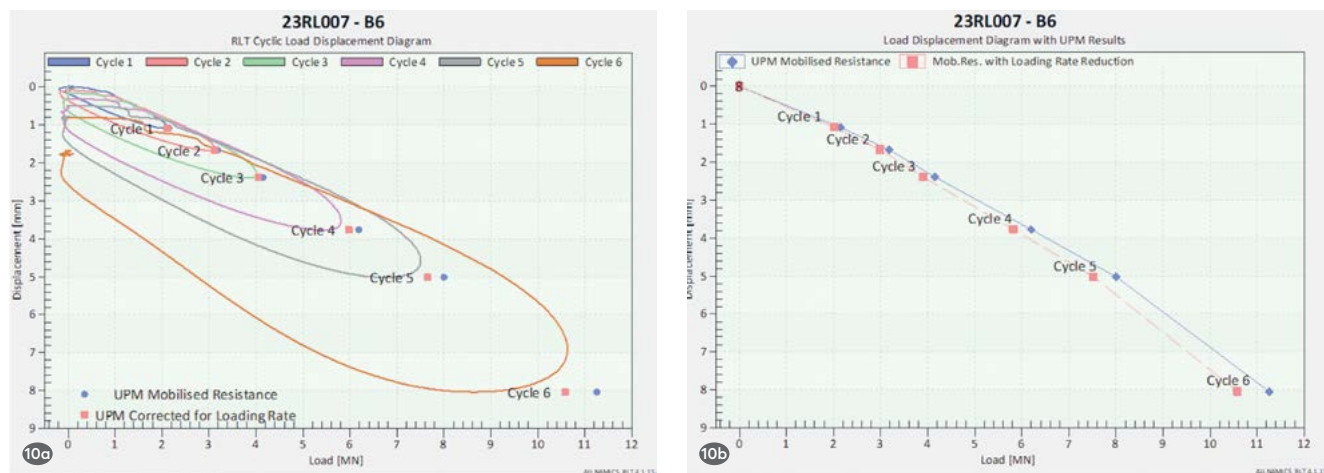
daarom op basis van een predictieberekening vertaald naar corresponderende valhoogtes. Het aldus bepaalde testprotocol staat in tabel 3.

## Testresultaten

Figuur 10 bevat een voorbeeld van de direct gemeten 'ruwe' last-zakkingscurves van alle load cycles van hetzelfde paneel en de afleiding van het statische last-zakkingsdiagram. Deze zijn conform NEN-EN-ISO 22477-10:2016 via de UPM afgeleid, door ze eerst te corrigeren voor de traagheidskracht (blauw, correctie 1) en daarna voor het loading rate effect (rood, correctie 2, met toepassing van  $\eta = 0,85$ ).

Tabel 4 bevat een overzicht van de belangrijkste testresultaten van alle panelen.

Bij alle belastingproeven voldeed de tijdsduur aan het vereiste minimum en is de beoogde testbelasting gehaald, zonder dat er sprake is van overschrijding van het draagvermogen conform definitie 1 of van grondmechanisch bezwijken conform definitie 2. Voor alle beschouwde palen is derhalve voldaan aan de toets conform klasse C. →



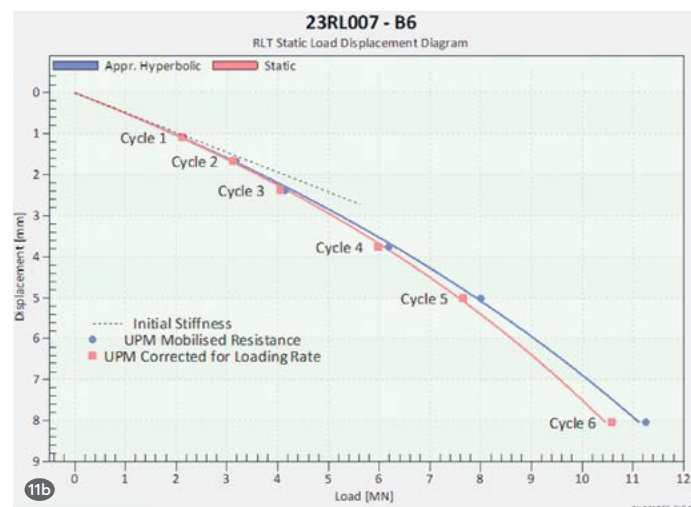
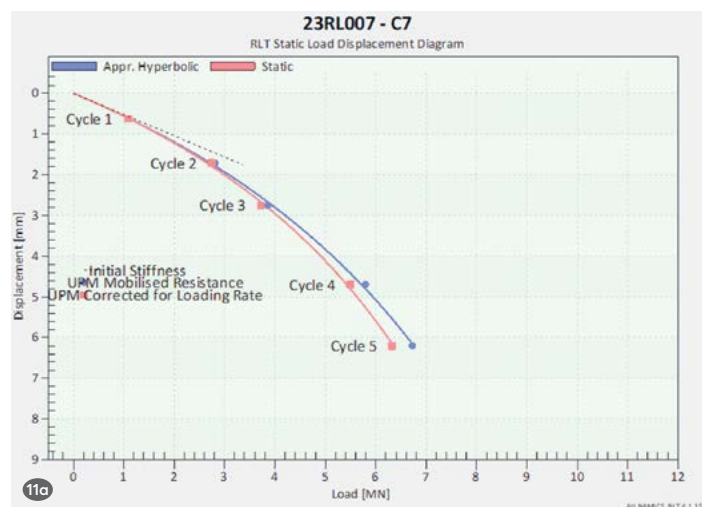
Tabel 4 Testresultaten klasse C

paneel	beoogde $F_{RLT}$ [kN] (tabel 2)	bereikte $F_{RLT}$ [kN]	cyclus	maximale verplaatsing cumulatief [mm]	blijvende verplaatsing cumulatief [mm]	check minimum tijdsduur	resultaat klasse C
as B/as 3	9140	11.669	6	8,2	1,7	ok	ok
as B/as 6	9140	11.262	6	8,0	1,7	ok	ok
as C/as 7	6370	6732	5	6,2	2,5	ok	ok
as E/as 2	9140	10.528	6	7,5	1,6	ok	ok
as G/as 6a	6370	6630	5	5,3	2,0	ok	ok
as G/as 6b	6370	6977	5	4,8	0,6	ok	ok



**Tabel 5** Uit de metingen bepaalde veerstijfheden bij karakteristieke waarde van de belasting

test [-]	paneel [-]	B x D [mm]	L [mm]	$F_{s,d}$ [kN]	$w_{measured}$ [mm] @ $F_{s,d} / 1,35''$	$k_{measured}$ [MN/m]
1	as B/as 3	1200 x 2400	18,5	3300	0,96	3438
2	as B/as 6	1200 x 2400	18,5	3300	0,76	4343
3	as C/as 7	1200 x 2400	18,5	3300	2,93	1126
4	as E/as 2	1200 x 2400	18,5	3300	0,96	3437
5	as G/as 6a	1200 x 2400	18,5	3300	1,13	2926
6	as G/as 6b	1200 x 2400	18,5	3300	1,86	1778



## LITERATUUR

- 1 Handboek Soilmix-wanden - ontwerp en uitvoering, CROW.
- 2 ISO 22477-10:2016 - Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures, Part 10: Testing of piles: rapid load testing.
- 3 NPR 7201:2017+A1:2020 nl - Geotechniek - Bepaling van het axiaal draagvermogen van funderingspalen door middel van proefbelastingen.
- 4 CUR Rapport 230 Guidelines on the interpretation of Rapid Load Testing on piles.

## Veerstijfheden

De karakteristieke belasting kan bij benadering worden bepaald door de opgegeven rekenwaarde voor de belasting (tabel 2) te delen door een overall belastingfactor  $\gamma_G = 1,35$ . Vervolgens kan de paalkopzakking behorende bij deze belasting worden bepaald uit het statisch last-zakkingsdiagram dat uit de meetresultaten is bepaald.

In figuur 11 staan ter illustratie de uit de metingen afgeleide last-zakkingsdiagrammen van de panelen met het stijfste (B6) en het slapste (C7) gedrag. Het stijfheidsverschil is duidelijk te zien.

In tabel 5 zijn de aldus bepaalde veerstijfheden gepresenteerd. Opvallend is dat uit deze tabel blijkt dat er een significant verschil is tussen enerzijds de panelen B3, B6 en E2 (> 3400 MN/m) en anderzijds de panelen C7, G6a en G6b (< 3000 MN/m). Het is geen toeval dat de groep met de lagere veerstijfheden zich bevindt in het gebied met de vooraf reeds verstoorde sondeerwaarden, als gevolg van de aanwezige grondverwijderende avegaarpalen.

## Conclusie

Uit de resultaten blijkt dat bij een belasting van 9 MN een minimale paalkopverplaatsing is waargenomen. Hiermee is aangetoond dat aan de CSM-baretten een hoger draagvermogen kan worden toegekend dan aanvankelijk volgens de norm kon worden bepaald. Dit heeft geleid tot een optimalisatie van het palenplan waarin met aanmerkelijk minder CSM-panelen is volstaan. Afgevraagd kan worden of de huidige manier van berekenen van de puntweerstand voor dit soort afmetingen de juiste is en of de toegekende paalklassefactoren en lastzakkingslijn voor dit type funderingselement correct zijn. Hiervoor is nader onderzoek nodig met ons inziens een kans om met de inzet van CSM-panelen vaker tot een economisch funderingsontwerp te komen. ●