

VOF De Bund i.o.

Postbus 729  
3300 AS Dordrecht

## Notitie

## 1 Inleiding

### 1.1 Algemeen

In eerder stadium heeft CRUX een funderingsadvies [1] en een analyse van de s<sub>2</sub>-zettingen [2] voor het project De Bund te Rotterdam opgesteld. Het project omvat de realisatie van twee woontorens (tot 70m) met daar tussen laagbouw en onder het hele kavel een éénlaags parkeerkelder.

Recent is door de constructeur de vraag gesteld om de eerder berekende s<sub>2</sub>-zettingen aanvullend voor een aangepaste belastingsverdeling van de gemiddelde zettingsrelevante oppervlaktelasten op funderingsniveau met het bestaande Plaxis 3D-model te berekenen. Naar aanleiding van deze vraag is voorliggende notitie opgesteld, waar de nieuwe contourplot van de s<sub>2</sub>-zetting en de aangepaste paalstijfheden zijn gepresenteerd.

Voorliggende memo kan niet los van de eerder door CRUX opgestelde documenten [1], [2], [4] en [5] worden gelezen omdat de relevante uitgangspunten, berekeningsmethoden en toelichtingen hierin zijn beschreven.

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Documenten

De volgende documenten zijn gebruikt bij het opstellen van deze notitie:

- [1] CRUX Engineering; *NT21281b3 Funderingsadvies De Bund*; projectnummer 21281; d.d. 06-12-2022;
- [2] CRUX Engineering; *NT21281e1 Zettingsanalyse De Bund*; projectnummer 21281; d.d. 26-07-2022;
- [3] Van Der Vorm Engineering; *De Bund – oppervlaktelasten*; d.d. 14 juni 2024;
- [4] CRUX Engineering; *ME23379a4 De Bund reactie op vragen s2-zettingen*; projectnummer 23379; d.d. 6 juni 2024;
- [5] CRUX Engineering; *ME23379a4 De Bund reactie op vragen s2-zettingen*; projectnummer 23379; d.d. 6 juni 2024

*CRUX staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.*

### Onderwerp

Analyse s<sub>2</sub>-zettingen  
De Bund te Rotterdam

### Projectnummer

23379

### Ons kenmerk

NT23379a1

### Versie

1

### Datum

28 juni 2024

### Pagina's

7

### Opgesteld

### Gecontroleerd

### Vrijgave

### Bijlagen

Geen bijlagen

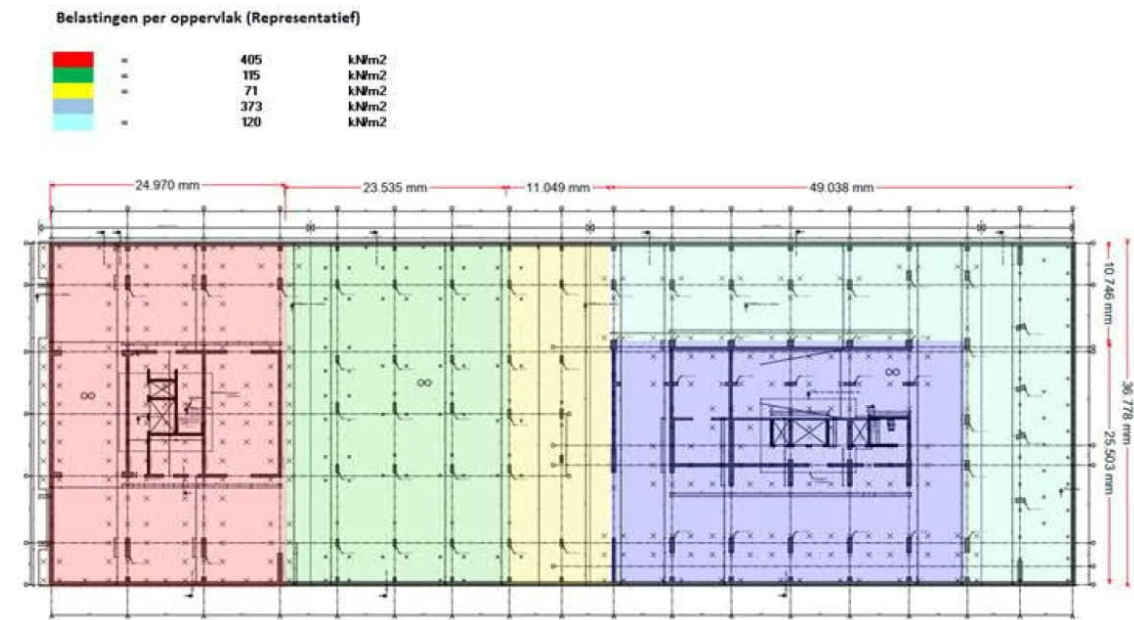
### Formulier

NT-010

## 2.2 Uitgangspunten

De relevante uitgangspunt omtrent gebruikte apparatuur, bodemopbouw, grondwater, grondparameters, geometrie, fasering, aanpak en modellering wordt verwezen naar alle eerder opgestelde documenten [1], [2], [4] en [5].

In Figuur 1 zijn de aangepaste, conform [3], opgegeven representatieve gemiddelde belastingen per oppervlakte op funderingsniveau weergegeven, zonder opwaartse waterdruk.



Figuur 1 Belastingopgave [3], excl. opwaartse waterdruk

## 3 Zettingsanalyse

### 3.1 Algemeen

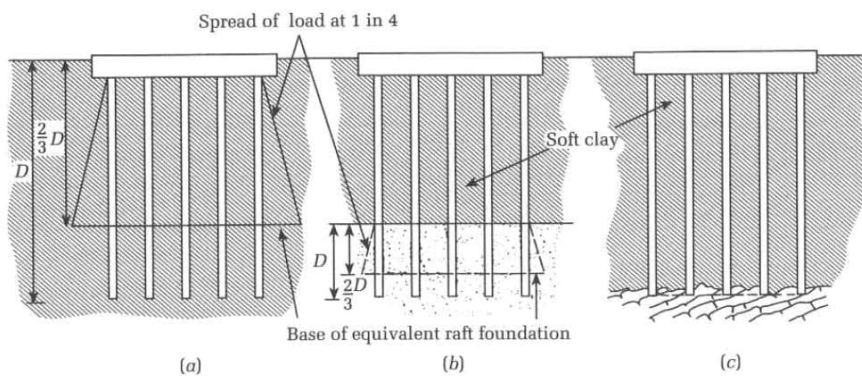
In dit hoofdstuk zijn de zettingen uit de onder het paalpuntniveau gelegen samendrukbare grondlagen rekenkundig gekwantificeerd met het beschikbare PLAXIS 3D-model. Hierbij wordt voor de aangepaste belasting per oppervlakte (zie Figuur 1) de rekenkundig verwachte zakkingsverloop door consolidatie en kruip ten gevolge van de gebouwbelasting van het gebouw na 50 jaar bepaald. Het betreft de zogenaamde  $s_2$ -zettingen onder het puntniveau van de paalgroep.

### 3.2 Modelleringsfunderingsbelastingen

Zoals eerder toegelicht, is voor de palen een paalpuntniveau van NAP-23,5m gehanteerd waarbij de funderingsdruk conform Figuur 1 is aangehouden. Onderstaand wordt voor de volledigheid de gebruikelijke aanpak toegelicht hoe de belastingen in het Plaxis 3D-model in rekening zijn gebracht. De waterdruk tegen onderzijde keldervloer, ten gevolge van een lage stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, bedraagt minimaal 35kN/m<sup>2</sup>. De funderingsdruk in het zettingsmodel is met deze waarde verlaagd.

De diepte waarop het fictief belastingvlak aangrijpt, is bepaald aan de hand van de methode Tomlinson. Op basis van deze methode wordt het niveau van het fictieve belastingvlak gekozen op 2/3 van de paallengte in de draagkrachtige laag, zie ook schematisatie in Figuur 2 (schema b).

De belasting is gespreid onder een hoek van 1:4 (hor:ver) gespreid tot een diepte van  $\frac{2}{3}$  van de paallengte.



Figuur 2 Belastingoverdracht bij paalgroepen, volgens "Tomlinson"

De palen onder de nieuwbouw dragen hun belasting af aan het zandpakket beneden NAP-16,5m. De paalcapaciteit wordt voor ongeveer 60% uit de paalpunt en voor 40% uit de paal-grond wrijving (schacht) verkregen. De funderingsdruk is daarom op twee niveaus in de bodem ingeleid. Het aandeel schacht is op NAP-21,2m gemodelleerd op  $\frac{2}{3}$  van de hoogte van het wrijvingstraject (Tomlinson) vanaf bovenzijde zandlaag. Het aandeel puntbelasting is op NAP-23,5m gemodelleerd.

Historische belastingen in de ondergrond door bestaande en voormalige bouw op en rondom de projectlocatie zijn niet in de berekening meegenomen (dit is conservatief, berekende zettingen zijn dus een bovengrens). Rondom de projectlocatie staan pakhuizen en bebouwing met 1 bouwlaag. Deze bebouwing is relatief licht, is al lange tijd aanwezig en heeft hierdoor weinig invloed op de omgeving.

Bij het modelleren van de funderingsdrukken op diepte is conservatief de varianten zonder geboufstijfheid (later slappe plaat genoemd) berekend. Eerder was ook de stijve variant berekend, waarbij afhankelijk van de geboufstijfheid en de daadwerkelijke belastingverdeling vanuit het constructieve (integrale) model de daadwerkelijke vervormingen (zakkingen) tussen deze varianten 'stijve' en 'slappe plaat' zullen liggen.

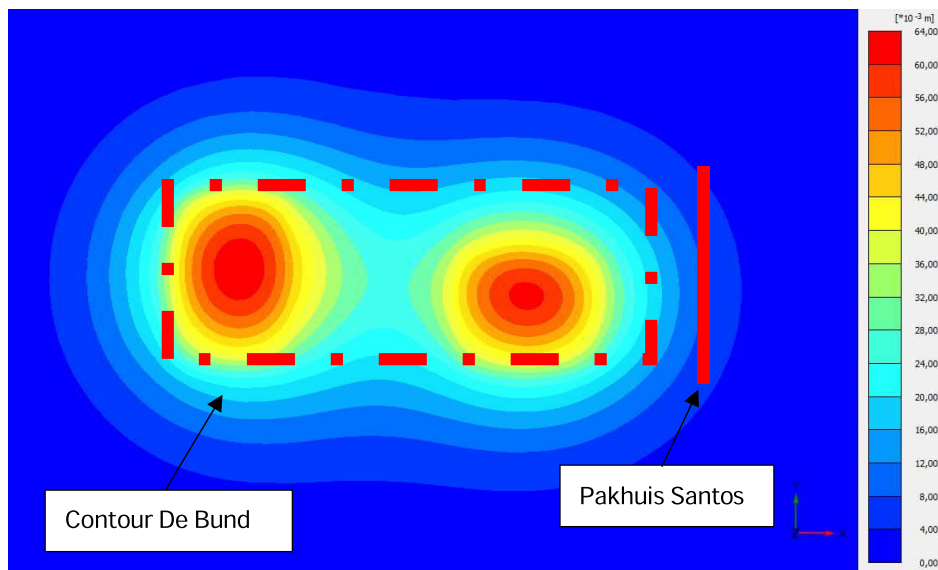
De berekende  $s_2$ -zettingen kunnen als opgelegde vervormingen worden ingevoerd in het constructieve model (optie 1). Daarnaast kan het gedrag van de grond als een bedding onder de palen worden beschouwd (optie 2). De derde optie (3) is om de  $s_2$ -zettingen in de (langtermijn) paalstijfheid te verwerken.

### 3.3 Berekeningsresultaten zettingen $s_2$

De berekende eindzetting is uitgelezen op NAP-26,0 (circa gelijk aan het niveau van  $4 \cdot D_{eq}$  onder paalpuntniveau) en zijn weergegeven in Figuur 3 (slappe plaat = geen geboufstijfheid).

De op basis van de aangepaste belastingverdeling berekende maximale zetting voor de slappe plaat bedraagt circa 6 à 7cm na 50 jaar consolidatie voor de twee gebouwdelen met circa 400 kPa funderingsdruk. Gezien het uitgangspunt van een slappe plaat betreft dit een bovengrens.

De berekende  $s_2$ -zettingen voor nieuwbouw en zettingsverschillen in de contourplot tussen de bouwdelen dienen beoordeeld te worden door de constructeur.



Figuur 3 Zetting  $s_2$  op NAP-26,0m (4D onder PPN), slappe plaat

In de eerder verstrekte memo ME23379a4 [5] is de schadeklasse van Pakhuis Santos beoordeeld. Met het resultaat van de berekende zettingen op basis van de aangepaste verdeling van de belasting valt het Pakhuis Santos nu op de grens tussen de schadeklassen "licht" en "zeer licht".

## 4 Paalstijfheid inclusief $s_2$ -zetting

Door de constructeur is eerder gevraagd om de statische veren  $k_{v,2}$  benodigd voor het constructief model inclusief een aandeel van de zogenaamde  $s_2$ -zettingen op basis van de paalkopzakking ( $s_1 + s_2$ ) te berekenen.

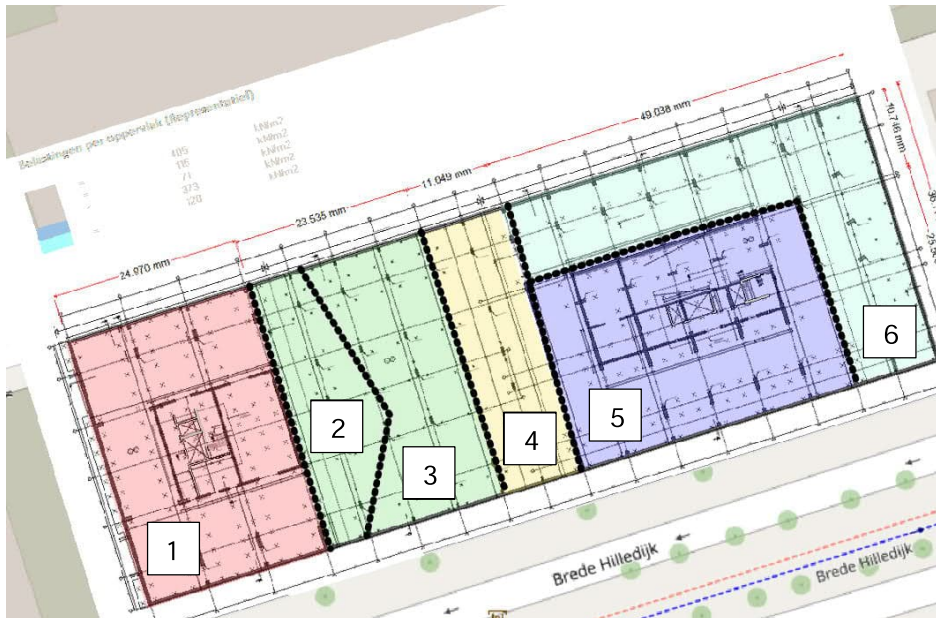
Derhalve zijn deze statische veren  $k_{v,2}$  opnieuw bepaald in Tabel 1 conform de eerder genoemde uitgangspunten, en de zones op basis van de paalgroepen [1] en belastingvlakken [3]. Ter plaatse van de torens (zone 5) is onderscheid gemaakt tussen de kern (met toevoeging "a") en de zijanten (met "b") om de verschillen in zetting en dus statische veren te kwantificeren.

Let op: Voor de statische paalveerstijfheden  $k_{v,1}$  (exclusief het aandeel  $s_2$  zetting) wordt verwezen naar paragraaf 3.5 van de notitie [1].

Voor veerstijfheden bij kortdurende belasting (bijvoorbeeld ten gevolge van het aandeel van de windbelasting op de stabiliteitsconstructie, met uitzondering van piekbelastingen door zeer korte windvlagen) kan de veerstijfheid conform onderstaande vergelijking worden gehanteerd.

Let op: input is dan  $k_{v,1}$  omdat vanwege het kortdurende effect de  $s_2$  niet meegenomen hoeft te worden in de bepaling van de kortdurende veerstijfheid:

$$k_{v,kort} = 1,5 * F_{rep;stat} / S_{F;stat} = 1,5 * k_{v,1}$$



Figuur 4 Zones o.b.v. belastingvlakken [3] en paalgroepen [1]

Tabel 1 Statische veer ( $k_{v,2}$ ) per zone (inclusief aandeel  $s_2$ -zetting, slappe plaat)

Zone	Paaldiameter	Dikte vloer [mm]	$s_b$ [mm]	$s_{el}$ [mm]	$s_2$ zetting [mm]	$k_{v,2}$ [MN/m]
1a	Ø560/670	1250	12	10	64	31
1b	Ø560/670	1250	12	10	50	38
2	Ø380/450	800	8	11	44	24
3	Ø380/450	800	7	11	24	34
4	Ø380/450	800	7	11	24	34
5a	Ø560/670	1250	11	9	60	31
5b	Ø560/670	1250	11	9	50	35
6	Ø380/450	800	7	11	36	26
	Ø560/670	1250	11	9		44

## 5 Conclusie

Ten behoeve van het nieuwbouwproject 'De Bund' op de locatie Katendrecht te Rotterdam zijn in deze notitie de berekende (diepe)  $s_2$ -zettingen als gevolg van de nieuwbouw opnieuw berekend, waarbij met een aangepaste verdeling van de representatieve belasting per oppervlak op funderingsniveau is rekening gehouden.

De  $s_2$ -zettingen vanuit de diepe ondergrond zijn voor de paalfundering berekend middels het beschikbare Plaxis 3D-model. Zettingen uit de diepe ondergrond zijn conform NEN9997-1 bepaald op een niveau van 4D onder paalpuntniveau. Deze zettingen zijn additioneel op de zakking van de palen door puntzakking en elastische verkorting ( $s_1$  genoemd).

De maximaal berekende  $s_2$ -zettingen uit de aanwezige samendrukbare lagen beneden paalpuntniveau (= NAP-23,5m) bedragen circa 6 à 7cm na 50 jaar consolidatie. Deze zetting is gebaseerd op een slappe constructie derhalve betreft het een bovengrens.



De berekende  $s_2$ -zettingen (en zettingsverschillen) dienen samen met de  $s_1$ -zettingen uit NT21281b1 beoordeeld te worden door de constructeur.

Verder zijn in deze notitie op verzoek de statische veren  $k_{v,2}$  (inclusief  $s_2$ -zetting) opnieuw bepaald in Tabel 1 conform de eerder genoemde uitgangspunten en de eerder genoemde zeven zones [1].

Voor de statische paalveerstijfheden  $k_{v,1}$  (exclusief het aandeel  $s_2$  zetting) wordt verwezen naar paragraaf 3.5 van de notitie [1].

Voor veerstijfheden bij kortdurende belasting (bijvoorbeeld ten gevolge van het aandeel van de windbelasting op de stabiliteitsconstructie met uitzondering van piekbelastingen door zeer korte windvlagen) kan de statische stijfheid  $k_{v,1}$  (exclusief het aandeel  $s_2$  zetting) met een factor 1,5 worden verhoogd omdat vanwege het kortdurende effect de  $s_2$ -zetting niet hoeft meegenomen te worden in de bepaling.