

# RAPPORT

PAALDRUKWEERSTAND (NEN 9997-1: 2017)

PAALTREKWEERSTAND (NEN 9997-1: 2017)

WIJZIGING 1

**Project:**

*Rotterdam*

*Museumpark 3*

*Herstel hekwerk Arminius*

**Projectnummer** : *W2019.162*

**Volgnummer** : *2*

**Datum** : 07 maart 2019

**Opdrachtgever** : *Bouwkundig Adviesburo Baas b.v.*  
*Moltzerhof 20*  
*3052 VA Rotterdam*  
*Tel. 010 - 4224044*

**Opgesteld door** : 

## **1 Inleiding**

Voor de berekening(en) wordt gebruik gemaakt van de volgende voorschriften, aanbevelingen, richtlijnen en software.

### **1.1 Normen (indien toegepast)**

- NEN-EN 206: Beton – Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit;
- NEN – EN 1536: 2010 +A1: 2015 "Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Boorpalen";
- NEN-EN 1990+A1+A1/C2 Eurocode: Ontwerp en berekening van staalconstructies,
  - Grondslagen van het constructief ontwerp;
  - Nationale bijlage;
- NEN-EN 1991-1-1+C1 Eurocode 1: Belastingen op constructies,
  - Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen;
  - Nationale bijlage;
- NEN-EN 1992-2-1+C2 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies,
  - Deel 1.1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - Nationale bijlage;
- NEN-EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies,
  - Deel 1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - Deel 5: Palen en damwanden;
  - Deel 8: Ontwerp en berekening van verbindingen;
- NEN-EN 1994-1-1+C1 Eurocode 4: Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies,
  - Deel 1.1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - NB Nationale bijlage;
- NEN 9997-1+C1: Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels;
- NEN-EN 12063: Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Damwanden;
- NEN-EN 12699: Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen;
- NEN-EN 14199: Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Micropalen;
- NPR 2053: Nationale praktijkrichtlijn NPR 2053 Lasverbindingen met betonstaal en stalen strippen;
- NVN 6724: Voorschriften beton – In de grond gevormde funderingselementen van beton of mortel – maart 2001;
- NEN-6741: Het uitvoeren van houten paalfunderingen;
- NEN-6742: Het uitvoeren van funderingen met geprefabriceerde betonnen palen;
- NEN-EN 8700: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen;
- NEN-EN 8701: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren – Belastingen
- NEN-EN 8707: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Geotechnische constructies;
- NEN-EN 10025: Koudvervaardigde gelaste buisprofielen voor constructiedoeleinden, deel 1 tot en met deel 5;
- NEN-EN 10080: Staal voor het wapenen van beton, Lasbaar betonstaal – Algemeen;
- NEN-EN 10219: Koudvervaardigde gelaste buisprofielen voor constructiedoeleinden, deel 1 tot en met deel 3.

## **1.2 Richtlijnen/ aanbevelingen (indien toegepast)**

- CUR 109: Akoestisch doormeten funderingspalen;
- CUR 114: Toezicht op realisatie van paalfunderingen;
- CUR 162: Construeren met grond;
- CUR 166: Damwandconstructies;
- CUR 223: Meten–monitoren–bouwputten;
- CUR 228: Ontwerprichtlijn door grond horizontaal belaste palen;
- CUR 229 Axiaal draagvermogen van palen;
- CUR 231: Handboek Diepwanden ontwerp en uitvoering;
- CUR 236: Ankerpalen;
- CUR 2004–1: Beoordelingssysteem voor de begaanbaarheid van bouwterreinen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 0501: Betonstaal;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 1710: Het aanbrengen van stalen buissegmentpalen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 1721: Betonnen oplangers;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2302: Houten heipalen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2352/02: Betonnen heipalen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2356,
  - Algemeen: In de grond gevormde palen;
  - Bijlage A: Werkwijze bij het vervaardigen van schroefpalen, type Avegaarpalen;
  - Bijlage B: Werkwijze bij het vervaardigen van buisschroefpalen;
  - Bijlage C: Werkwijze bij het vervaardigen van ingeheide en schokkend of trillend getrokken palen;
  - Bijlage D: Werkwijze bij het vervaardigen van ingeheide palen met uitgeheide voet;
  - Bijlage E: Werkwijze bij het vervaardigen van trillingsvrij in de grond gevormde ingebrachte palen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2357: Heien van geprefabriceerde betonpalen;
- Richtlijnen constructie gemeente Almere, geldigheid vanaf d.d. 01–01–2017;
- Dienst Stadsontwikkeling Gemeente Utrecht, nummer wr 05: Uitvoering van schroefpalen; type Avegaar;
- Gemeente Breda, Richtlijn in de grond gevormde palen 'type avegaarpalen (vervaardiging van in de grond gevormde palen), status 'definitief', uitgave 'augustus 2004';

## **1.3 Software (indien toegepast)**

- Microsoft Office,
  - Excel;
  - Word;
- Deltares Systems,
  - D–Sheet Piling;
  - D–Foundations;
  - D–Settlement;
  - D–Stability;
- Technosoft,
  - Paalfunderingen;
  - Funderingen op staal;
  - Construct;
  - Construct Liggers
  - Construct Raamwerken;
- MatrixFrame® Toolbox.



# PAALDRUKWEERSTANDEN



## Bepaling van de rekenwaarde van de maximum weerstand van de paalfundering

Om aan te tonen dat de paalfundering de rekenwaarde van de belasting met voldoende veiligheid tegen bezwijken op druk kan weerstaan, moet voor alle belastingsgevallen en belastingscombinaties in de uiterste grenstoestand aan onderstaande ongelijkheid zijn voldaan

Bij de verificatie van de uiterste grenstoestand met betrekking tot de vervorming en de bruikbaarheids-grenstoestand moet het effect van de negatieve kleeft wel zijn meegenomen in het analyseren van de verwachte vervormingen.

In geval van negatieve kleeft langs de paalschacht is:

$$F_{c;d} = F_{s;d} + F_{nk;d} \leq R_{c;d}$$

De constructeur bepaalt gewoonlijk de rekenwaarde van de maximale paaldrukbelasting op paalkopniveau,  $F_d$ . De geotechnisch adviseur bepaalt zowel de rekenwaarde van de maximum paaldrukweerstand van de drukpalen,  $R_{c;d}$ , als de rekenwaarde van de maximale negatieve kleeftbelasting langs de paalschacht,  $F_{nk;d}$ . Het is daarom gebruikelijk dat de geotechnisch adviseur de rekenwaarde van de paalweerstand die op paalkopniveau aan de paal kan worden ontleend opgeeft; we noemen dit de rekenwaarde van de netto paaldrukweerstand. De toetsing om aan te tonen dat de paalfundering de rekenwaarde van de belasting met voldoende veiligheid tegen bezwijken op druk kan weerstaan ( $F_{c;d} \leq R_{c;d}$ ) verandert daardoor in:

$$F_d \leq F_{r;net;d} = R_{c;d} - F_{nk;d}$$

De rekenwaarde van de paaldrukweerstand ( $R_{c;d}$ ), op basis van beproeving van grond (sonderingen), moet zijn bepaald uit:

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d}$$

$$R_{b;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} \text{ en } R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

Opmerking: Voor de waarden van  $\gamma_b$  en  $\gamma_s$  (en  $\gamma_t$ ) wordt verwezen naar NEN 9997-1, tabel A.6 voor geheide palen, tabel A.7 voor geboorde palen en tabel A.8 voor schroefpalen van het type avegaar (indien berekend uit sonderingen is  $\gamma_b = \gamma_s = \gamma_t = 1,2$ ).

De karakteristieke waarden van de maximumdrukweerstand, de maximumpuntweerstand en de maximumwrijvingskracht mogen zijn berekend uit:

$$R_{c;k} = (R_{b;k} + R_{s;k}) = \frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\xi} = \frac{R_{c;cal}}{\xi} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{gem}}{\xi_3}; \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

waarbij:  $R_{b;k} = A_b \cdot q_{b;k}$  en  $R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} \cdot q_{s;i;k}$

en waarin  $\xi_3$  en  $\xi_4$  correlatiefactoren zijn die afhankelijk is van het aantal proeven,  $n$ , en de herverdelingscapaciteit van de constructie, c.q. het constructiedeel (het vermogen om belastingen van 'zwakke' naar 'sterke' palen over te dragen), en die zijn toegepast op respectievelijk:

- de gemiddelde waarden  $R_{c;cal;gem} = (R_{b;cal} + R_{s;cal})_{gem} = (R_{b;cal})_{gem} + (R_{s;cal})_{gem}$
- de laagste waarden  $R_{c;cal;min} = (R_{b;cal} + R_{s;cal})_{min}$



Opmerking: Voor de waarden van  $\xi_3$  en  $\xi_4$  wordt in geval van een niet-stijf bouwwerk verwezen naar NEN 9997-1, tabel A.10a, en in geval van een stijf bouwwerk naar NEN 9997-1, tabel A.10b.

## Maximumpaaldrukweerstand van een alleenstaande paal op basis van een sondering

De maximumpaaldraagkracht van de paal bij sondering  $i$  moet als volgt zijn bepaald:

$$R_{c;cal;max;i} = R_{b;cal;max;i} + R_{s;cal;max;i}$$

waarbij :

$$R_{b;max;i} = A_{punt} \cdot q_{b;max;i}$$

en

$$R_{s;cal;max;i} = O_{s; l;gem} \times \int_l \alpha_s \times q_{c;z;a} \times d_z$$

waarin :

- $R_{c;cal;max;i}$  = de maximumdraagkracht van de paal bij sondering  $i$ , in kN;
- $R_{b;cal;max;i}$  = de maximumdraagkracht van de paalpunt bij sondering  $i$  in kN;
- $R_{s;cal;max;i}$  = de maximumschachtwrijvingskracht bij sondering  $i$ , in kN;
- $A_{punt}$  = de oppervlakte van de paalpunt, in m<sup>2</sup>;
- $q_{b;max;i}$  = de maximale puntweerstand bij sondering  $i$  in kN/m<sup>2</sup>;
- $O_{s;\Delta L;gem}$  = de gemiddelde omtrek van het gedeelte van de paalschacht in de laag, waarin de paalvoet is geplaatst, in m;
- $\Delta L$  = de lengte van het deel van de paal, waarvoor geldt dat de schachtwrijving mag zijn meegenomen in de berekening van de maximumdraagkracht, in m, waarbij:
  - in het geval dat zich in de grondlagen boven het paalpunt overwegend zand en verder alleen klei- en leemlagen met sondeerwaarden groter dan 2 MPa, bevinden, gelden dat  $\Delta L$  gelijk is aan de gehele paallengte;
  - in het geval dat de geprefabriceerde palen met verbrede voet zijn toegepast, die meer dan 10 mm buiten de paalschacht uitsteekt, geldt dat  $\Delta L$  niet groter mag zijn dan de lengte van de verbreding van de voet;
- $q_{r;c;z;a}$  = de conusweerstand bepaald volgens NEN 9997-1, art. 7.6.2.3 (i .. k) in zand en/of grind – waarbij pieken in het qc-diagram hoger dan 12 MPa moeten zijn afgesnoten. Als de laag waarin pieken >12 MPa zijn gemeten ten minste 1 m dik is. In dat geval mag worden afgesnoten bij de laagste in die laag gemeten qc-waarde met een maximum van 15 MPa (zie figuur 7.j);
- $z$  = aanduiding van de verticale richting.

## Bepaling van de maximum puntweerstand

De maximale puntweerstand  $q_{b;max;i}$  wordt bepaald met de in NEN 9997–1 gestelde formule:

$$q_{b;max;i} = 1/2 \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \cdot \left( \frac{q_{c;I;gem} + q_{c;II;gem}}{2} + q_{c;III;gem} \right) \leq 15 \text{ MPa}$$

waarin:

- $q_{b;max;i}$  = de maximale puntweerstand in MPa, met een maximum van 15 MPa;
- $q_{c;I;gem}$  = de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I, dat loopt vanaf het paalpuntniveau dat tenminste 0,7 maal  $D_{eq}$  en ten hoogste 4 maal  $D_{eq}$  dieper ligt, in MPa;
- $q_{c;II;gem}$  = gemiddelde waarde van de minimale conusweerstand over het traject II, dat loopt van de onderkant van traject I naar het paalpuntniveau, in MPa;
- $q_{c;III;gem}$  = de gemiddelde waarde van de minimale conusweerstand over het traject III, dat van beneden naar boven wordt doorlopen van paalpuntniveau tot een niveau dat 8 maal  $D_{eq}$  hoger ligt, in MPa;
- $\alpha_p$  = de paalklassefactor, bepaald volgens *Tabel 7.c*, NEN 9997–1;
- $\beta$  = de factor voor de paalvoetvorm, conform NEN 9997–1 art. 7.6.2.3 (g), figuur 7.h;
- $s$  = de factor voor de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoetvorm, conform NEN 9997–1 art. 7.6.2.3 (h). Ronde en vierkante palen  $s = 1$ .

## Bepaling van de maximum schachtwrijving

De maximale paalschachtwrijving  $q_{s;max;z}$  wordt bepaald met behulp van de formule:

$$q_{s;max;z} = \alpha_s \cdot q_{c;z;\alpha}$$

waarin:

- $q_{s;max;z}$  = de maximale paalschachtwrijving in MPa;
- $\alpha_s$  = de factor volgens *Tabel 7.c*, NEN 9997–1 die de invloed van de uitvoering of paaltype in rekening brengt;
- $q_{c;z;\alpha}$  = de conusweerstand bepaald volgens NEN 9997–1, art. 7.6.2.3 (i .. k) in zand en/of grind – waarbij pieken in het  $q_c$ -diagram hoger dan 12 MPa moeten zijn afgesnoten. Als de laag waarin pieken >12 MPa zijn gemeten ten minste 1 m dik is. In dat geval mag worden afgesnoten bij de laagste in die laag gemeten  $q_c$ -waarde met een maximum van 15 MPa (zie figuur 7.j).



## Bepaling van de representatieve waarde van de maximale negatieve kleef

De berekening van de representatieve waarde van de maximale negatieve kleefbelasting geschiedt volgens de methode van een alleenstaande paal. Voor alleenstaande palen, palen geplaatst in een rij of wanneer de onderlinge afstand tussen de palen gelijk is aan 5 meter of meer moet de representatieve waarde van de totale neerwaarts gerichte wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleef,  $F_{s,nk;rep}$  zijn bepaald met de formule:

$$F_{nk;rep} = O_{s,gem} \sum_{j=1}^{j=n} K_{0,j;rep} \tan \delta_{j;rep} \left( \frac{\sigma'_{v,j-1;rep} + \sigma'_{v,j;rep}}{2} \right)$$

Met  $K_{0;j;k} = (1 - \sin \varphi_{j;k})$ ,

waarin:

- $F_{s,nk;rep}$  = de representatieve waarde van de belasting ten gevolge van de negatieve kleef, in kN;
- $O_{s,gem}$  = gemiddelde omtrek van de paalschacht, in m;
- Voor houten palen de gemiddelde omtrek van de paalschacht;
  - Voor in de grond gemaakte palen de omtrek van de buitenonderrand van de buis, of de omtrek van de avegaar;
- $h_j$  = de dikte van de grondlaag  $j$ , in m;
- $n$  = aantal grondlagen waarin de negatieve kleef werkt;
- $K_{0;j;k}$  = de karakteristieke waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag  $j$  bij een horizontaal grondoppervlak en  $OCR = 1$ ;
- $\varphi'_{j;k}$  = de karakteristieke waarde van de effectieve hoek van inwendige wrijving van de grond naast de palen in laag  $j$ , bepaald volgens 3.1 van NEN 9997-1;
- $\delta_{j;k}$  = de karakteristieke waarde van de wrijvingshoek tussen paalschacht en grond in laag  $j$  met:
- voor in de grond gevormde betonpalen:  $\delta_{j;k} = \varphi_{j;k}$ ;
  - voor geprefabriceerde betonpalen, houten palen en palen met een stalen omhulling:  $\delta_{j;k} = 0,75 \varphi_{j;k}$  de omtrek van de buitenonderrand van de buis, of de omtrek van de avegaar;
- Waarbij de waarde van  $(K_{0;j;rep} \tan \delta_{j;rep})$  ten minste 0,25 moet zijn;
- $\sigma'_{v;j;rep}$  = de representatieve waarde van de verticale effectieve verticale spanning onderin de laag  $j$  ( $j$  telt van boven naar beneden); deze waarde moet voor de lagen boven de freatische grondwaterstand zijn bepaald met de representatieve waarden van het volumiek gewicht ( $\gamma_{j;rep}$ ) van de grond van die lagen en voor de lagen onder de freatische grondwaterstand met het volumiek gewicht van de grond van de desbetreffende lagen ( $\gamma'_{j;rep}$ ) onder water.

Tot laag  $j = k$ , waarbij  $k$  het nummer van de laag is waarin zich de grondwaterstand bevindt:

$$\sigma'_{v,j<k;rep} = \rho_{sur;rep} + \sum_{j=1}^{j<k} \gamma'_{j;rep}$$

Voor laag  $j = k$ :

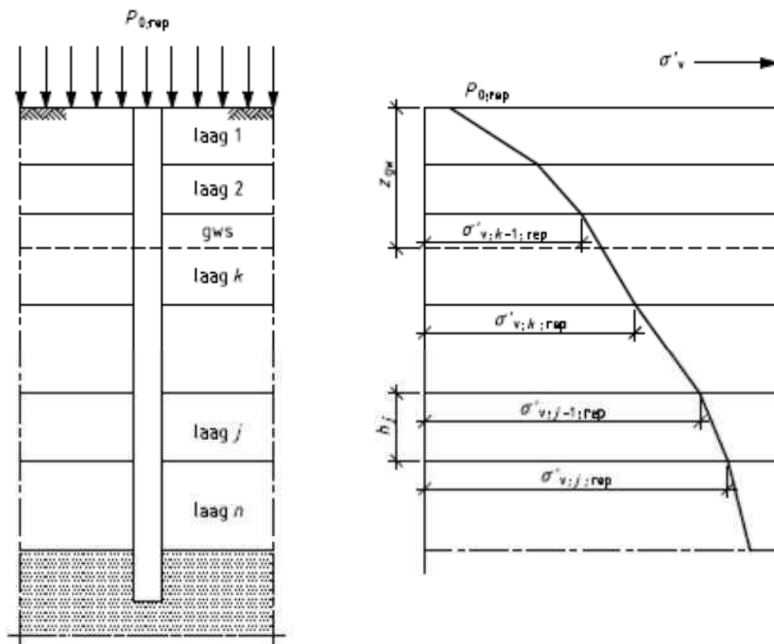
$$\sigma'_{v,j=k;rep} = \sigma'_{v,j=(k-1);rep} + \left( z_{gw} \sum_{j=i}^{j=(k-1)} \gamma'_{j;rep} \right) + \left( \sum_{j=1}^{j=k} z_{gw} \right) \gamma'_{j;rep}$$

Onder laag  $j = k$ :

$$\sigma'_{v,j>k;rep} = \sigma'_{v,k;rep} + \sum_{j=1}^{j=(k-1)} \gamma'_{j;rep}$$

waarin:

- $\gamma'_{j;rep}$  = de karakteristieke waarde van het effectief volumiek gewicht van de grond van laag  $j$  bepaald volgens 3.1 van NEN 9997-1:
- boven de grondwaterstand is  $\gamma'_{j;k} = \gamma_{j;k}$ ;
  - onder de grondwaterstand is  $\gamma'_{j;k} = \gamma_{j;sat;k} - \gamma_w$   
waarbij  $\gamma_w$  is het volumiek gewicht van het grondwater, in  $\text{kN/m}^3$
- $\gamma_{j;sat;k}$  = de karakteristieke waarde van het verzadigd volumiek gewicht van de grond van laag  $j$  bepaald volgens 3.1 van NEN 9997-1, in  $\text{kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{j;k}$  = de karakteristieke waarde van het volumiek gewicht van de grond van laag  $j$  bepaald volgens 3.1 van NEN 9997-1, in  $\text{kN/m}^3$ ;
- $\rho_{sur;rep}$  = de representatieve waarde van de belasting door een grondophoging of ten gevolge van opslag van goederen op het maaiveld, in  $\text{kN/m}^2$ ;
- $z_{gw}$  = de diepte van de freatische grondwaterstand onder het maaiveld, m.



Figuur 7.a — Bepaling van  $\sigma'_v$  bij alleenstaande paal

De waarde van moet tenminste 0,25 zijn, tenzij de paalschacht een speciale gladheidsbehandeling heeft ondergaan, waarbij dan mag zijn gerekend met:

$$F_{s,nk;rep} = O_{sgem} \sum_{j=1}^{j=n} h_j a_{j;rep}$$

waarin:

- $F_{s,nk;rep}$  = de representatieve waarde van de belasting ten gevolge van de negatieve kleef, in kN;  
 $O_{s;gem}$  = gemiddelde omtrek van de paalschacht, in m;  
• voor houten palen de gemiddelde omtrek van de paalschacht;  
• voor in de grond gemaakte palen de omtrek van de buitenonderrand van de buis, of de omtrek van de avegaar;  
 $h_j$  = de dikte van de grondlaag  $j$ , in m;  
 $a_{j;rep}$  = de representatieve waarde van de adhesie van laag  $j$ , in kN/m<sup>2</sup>, met;  
•  $a_{j;rep} = 20 \times 10^3$  N/m<sup>2</sup> voor bentoniet;  
•  $a_{j;rep} = 10 \times 10^3$  N/m<sup>2</sup> voor asfaltmastiek.



|            |                          |       |            |
|------------|--------------------------|-------|------------|
| Projectnr. | W2019.162                | Datum | 06-03-2019 |
| Plaats     | Rotterdam                |       |            |
| Straat     | Museumpark 3             |       |            |
| Project    | Herstel hekwerk Arminius |       |            |

## BEREKENING NEGATIEVE KLEEF

### NEN 9997-1 § 7.3.2.2

versie 19 januari 2018

| NIVEAUS          |            |
|------------------|------------|
| Referentieniveau | NAP        |
| Maaiveld         | NAP - 0,65 |
| G.W.S.           | NAP - 2,50 |
| Putbodern        | NAP - 0,65 |

| SONDERING  |
|------------|
| S01 en S02 |

| BOVENBELASTING    |                                         |
|-------------------|-----------------------------------------|
| Hoogte            | h 0,00 m                                |
| Volumiek gewicht  | $\gamma_{grond}$ 0,00 kN/m <sup>3</sup> |
| Bovenbelasting    | $p_{last}$ 0,00 kN/m <sup>2</sup>       |
| Repres. belasting | $p_{sur,rep}$ 0,00 kN/m <sup>2</sup>    |

| GEGEVENS GRONDLAGEN |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        | KORRELSPANNING                          |                                       |                                        | GLAD                                 |                                        | I.G.G.B.                             |                                        |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------|-----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| nr.                 | BK Laag<br>[m NAP] | OK Laag<br>[m NAP] | $h_i$<br>[m] | Grond-<br>soort | $\gamma'_{j,rep}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\gamma'_{j,sat}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\phi'_{j,rep}$<br>[°] | $\sigma_{ji-1}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{ji}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{gem}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $K_{oi} \times \tan \delta_i$<br>[-] | $F_{s,nk,rep}$<br>[kN/m <sup>1</sup> ] | $K_{oi} \times \tan \delta_i$<br>[-] | $F_{s,nk,rep}$<br>[kN/m <sup>1</sup> ] |
| 1                   | - 0,65             | - 2,50             | 1,85         | Zand            | 17,0                                      | 19,0                                      | 30,0                   | 0,00                                    | 31,45                                 | 15,73                                  | 0,25                                 | 7,27                                   | 0,29                                 | 8,40                                   |
| 2                   | - 2,50             | - 4,50             | 2,00         | Klei            | 15,0                                      | 15,0                                      | 22,5                   | 31,45                                   | 41,45                                 | 36,45                                  | 0,25                                 | 18,23                                  | 0,26                                 | 18,64                                  |
| 3                   | - 4,50             | - 6,50             | 2,00         | Veen            | 13,0                                      | 13,0                                      | 15,0                   | 41,45                                   | 47,45                                 | 44,45                                  | 0,25                                 | 22,23                                  | 0,25                                 | 22,23                                  |
| 4                   | - 6,50             | - 11,00            | 4,50         | Klei            | 14,0                                      | 14,0                                      | 17,5                   | 47,45                                   | 65,45                                 | 56,45                                  | 0,25                                 | 63,51                                  | 0,25                                 | 63,51                                  |
| 5                   | - 11,00            | - 12,00            | 1,00         | Klei            | 17,0                                      | 17,0                                      | 17,5                   | 65,45                                   | 72,45                                 | 68,95                                  | 0,25                                 | 17,24                                  | 0,25                                 | 17,24                                  |
| 6                   | - 12,00            | - 17,50            | 5,50         | Klei            | 15,0                                      | 15,0                                      | 22,5                   | 72,45                                   | 99,95                                 | 86,20                                  | 0,25                                 | 118,53                                 | 0,26                                 | 121,23                                 |
| 7                   |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 8                   |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 9                   |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 10                  |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 11                  |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 12                  |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 13                  |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 14                  |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| 15                  |                    |                    |              |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        |                                      |                                        |                                      |                                        |
| $\Sigma =$          |                    |                    | 16,85        |                 |                                           |                                           |                        |                                         |                                       |                                        | $\Sigma =$                           | 246,99                                 | $\Sigma =$                           | 251,24                                 |

### BEREKENING VAN DE MAXIMALE NEGATIEVE KLEEF, CONFORM § 7.3.2.2 NEN 9997-1

#### NEGATIEVE KLEEFBELASTING OP ALLEEN STAANDE PAAL

| PAALTYPE                 | Gladde paal <sup>1)</sup> | I.G.G. <sup>2)</sup>    |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Representatieve waarde   | $F_{s,nk,rep}$ 247,0      | 251,2 kN/m <sup>1</sup> |
| Partiële belastingfactor | $\gamma_{f,nk}$ 1,0       | 1,0                     |
| Rekenwaarde              | $F_{s,nk,d}$ 247,0        | 251,2 kN/m <sup>1</sup> |

<sup>1)</sup> Geprefabriceerde betonpalen, houten palen en palen met een stalen omhulling.

<sup>2)</sup> In de grond gevormde palen

#### NEGATIEVE KLEEF BELASTING OP KELDERWAND

| WANDTYPE                 | Glad <sup>3)</sup>                   |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Representatieve waarde   | $F_{s,nk,rep}$ 0,0 kN/m <sup>1</sup> |
| Partiële belastingfactor | $\gamma_{f,nk}$ 1,0                  |
| Rekenwaarde              | $F_{s,nk,d}$ 0,0 kN/m <sup>1</sup>   |

<sup>3)</sup> Beton-, stalen wanden

#### NEGATIEVE KLEEFBELASTING PER PAALTYPE EN AFMETING

| Gladde paal <sup>1)</sup> |       |    | Prefab/GGP-paal <sup>1)</sup> |       |    | In de grond gevormde paal (I.G.G.) <sup>2)</sup> |       |    |
|---------------------------|-------|----|-------------------------------|-------|----|--------------------------------------------------|-------|----|
| Ø                         |       |    | □                             |       |    | Ø                                                |       |    |
| 88,9 mm                   | 69,0  | kN | 180 mm                        | 177,8 | kN | 140,0 mm                                         | 110,5 | kN |
| 114,0 mm                  | 88,5  | kN | 220 mm                        | 217,4 | kN | 180,0 mm                                         | 142,1 | kN |
| 168,3 mm                  | 130,6 | kN | 250 mm                        | 247,0 | kN | 220,0 mm                                         | 173,6 | kN |
| 219,1 mm                  | 170,0 | kN | 290 mm                        | 286,5 | kN | 250,0 mm                                         | 197,3 | kN |
| 273,0 mm                  | 211,8 | kN | 320 mm                        | 316,1 | kN | 300,0 mm                                         | 236,8 | kN |
| 323,9 mm                  | 251,3 | kN | 350 mm                        | 345,8 | kN | 350,0 mm                                         | 276,2 | kN |
| 355,6 mm                  | 275,9 | kN | 380 mm                        | 375,4 | kN | 400,0 mm                                         | 315,7 | kN |
| 406,4 mm                  | 315,3 | kN | 400 mm                        | 395,2 | kN | 450,0 mm                                         | 355,2 | kN |
| 457,2 mm                  | 354,8 | kN | 420 mm                        | 414,9 | kN | 500,0 mm                                         | 394,6 | kN |
| 508,0 mm                  | 394,2 | kN | 450 mm                        | 444,6 | kN | 550,0 mm                                         | 434,1 | kN |
| 558,8 mm                  | 433,6 | kN | 500 mm                        | 494,0 | kN | HBS-paal                                         |       |    |
| 609,6 mm                  | 473,0 | kN | 550 mm                        | 543,4 | kN | Ø 280,0 mm                                       | 217,3 | kN |

## VOORBEELDBEREKENING PAALDRUKWEERSTAND NEN 9997-1: 2017

versie 19 januari 2018

|               |                          |       |            |
|---------------|--------------------------|-------|------------|
| Projectnummer | W2019.162                | Datum | 06-03-2019 |
| Plaats        | Rotterdam                |       |            |
| Straat        | Museumpark 3             |       |            |
| Project       | Herstel hekwerk Arminius |       |            |

## ALGEMENE GEGEVENS

|                                         |       |          |                                      |            |      |
|-----------------------------------------|-------|----------|--------------------------------------|------------|------|
| Aantal palen                            | M     | 1        | Correlatiefact. (niet)stijf bouwwerk | $\xi_3$    | 1,39 |
| Sonderingen                             | N     | 1        | Statistische reductiecoëfficiënt     | $\xi_4$    | 1,39 |
| Slap / Stijf                            | [0/1] | 0        | Materiaalfactor                      | $\gamma_t$ | 1,20 |
| Sondering                               |       | =        | S01                                  |            |      |
| Referentienivo                          |       | R.N.     | =                                    | NAP        |      |
| Ligging maaiveld t.o.v. Referentienivo  |       | Maaiveld | =                                    | - 0,68     | m    |
| Grondwaterspiegel t.o.v. Referentienivo |       | G.W.S.   | =                                    | - 2,50     | m    |
| Paalpunt t.o.v. Referentienivo          |       | P.P.N.   | =                                    | - 20,75    | m    |

## PAALGEGEVENS

|                           |            |   |                                                 |       |  |
|---------------------------|------------|---|-------------------------------------------------|-------|--|
| Paalsysteem               |            | = | Stalen buispaal - geheid                        |       |  |
| Classificatie paalsysteem |            | = | Grondverdringend                                |       |  |
| Type voet                 |            | = | Voetplaat                                       |       |  |
| Nadere specificatie       |            | = | Constante dwarsafmeting; buis met gesloten punt |       |  |
| Wijze van installeren     |            | = | geheid                                          |       |  |
| Schachtdiameter           | dschacht   | = | $\emptyset$ 273,0                               | mm    |  |
| Voetdiameter              | $d_{v,eq}$ | = | $\emptyset$ 290,0                               | mm    |  |
| Hoogte (casing-)voet      | $H_{voet}$ | = | 0,0                                             | mm    |  |
| Inhoud voet               | $I_{voet}$ | = | 0,0                                             | liter |  |

## MAXIMUM PUNTWEERSTAND

|                                           |                        |   |         |                |             |
|-------------------------------------------|------------------------|---|---------|----------------|-------------|
| Paalpunt t.o.v. Referentienivo            | NAP                    | = | - 20,75 | m              |             |
| Verhouding $A_{paalpunt}/A_{paalschacht}$ | $D_{eq}^2/d^2$         | = | 1,13    | —              |             |
| Verhouding voethoogte/paaldoorsnede       | $H_{voet}/D_{eq}$      | = | 0,00    | —              |             |
| Gem. waarde v.d. conusweerst. traject I   | $q_{c,I,gem}$          | = | 18,0    | MPa            |             |
| Gem. waarde v.d. conusweerst. traject II  | $q_{c,II,gem}$         | = | 15,6    | MPa            |             |
| Gem. waarde v.d. conusweerst. traject III | $q_{c,III,gem}$        | = | 6,0     | MPa            |             |
| Reductiefactor t.g.v. ontgraving          |                        | = | 1,00    | —              |             |
| Gem. waarde v.d. conusweerstand           | $q_{c,I,II,III,gem,i}$ | = | 11,40   | MPa            |             |
| Paalklassefactor (NEN 9997 – 1: 2016)     | $\alpha_p$             | = | 0,70    | —              | tabel 7.e   |
| Paalvoetfactor                            | $\beta$                | = | 0,88    | —              | figuur 7.i  |
| Dwarsdoorsnedefactor                      | s                      | = | 1,00    | —              | 7.6.3.2 (h) |
| Maximale puntweerstand                    | $q_{b,max,i}$          | = | 7,0     | MPa            |             |
| Oppervlakte paalpunt                      | $A_{punt}$             | = | 0,0661  | m <sup>2</sup> |             |
| Max. waarde van de paalpunt               | $R_{b,cal,max,i}$      | = | 463,8   | kN             |             |

## MAXIMUM SCHACHTWRIJVINGSKRACHT

|                                                |                       |   |         |                |                  |
|------------------------------------------------|-----------------------|---|---------|----------------|------------------|
| Positieve schachtwrijving vanaf Referentienivo | NAP                   | = | - 17,75 | m              |                  |
| Omtrek schacht/voet                            | $O_{schacht}$         | = | 0,86    | m              |                  |
| Lengte positieve schachtwrijving               | $\Delta L_{schacht}$  | = | 3,00    | m              |                  |
| Oppervlakte paal positieve schachtwrijving     | $A_{schachtwrijving}$ | = | 2,57    | m <sup>2</sup> |                  |
| Gemiddelde conusweerstand                      | $q_{s,z,i}$           | = | 14,0    | MPa            |                  |
| Reductiefactor t.g.v. ontgraving               |                       | = | 1,00    | —              | art. 7.6.3.2 (k) |
| Gereduceerde gemiddelde conusweerstand         | $q_{s,z,i,red}$       | = | 14,0    | MPa            |                  |
| Uitvoeringsfactor                              | $\alpha_s$            | = | 0,010   | —              | tabel 7.e        |
| Gemiddelde paalschachtwrijving                 | $q_{s,cal,gem,i}$     | = | 360,2   | kPa            |                  |
| Gemiddelde paalschachtwrijving                 | $q_{s,cal,gem,i}$     | = | 420,0   | kN/m1          |                  |
| Maximale schachtwrijvingskracht                | $R_{s,cal,max,i}$     | = | 360,2   | kN             |                  |

## MAXIMUM DRAAGKRACHT BIJ SONDERING

|                                                                           |   |                   |   |       |    |
|---------------------------------------------------------------------------|---|-------------------|---|-------|----|
| $R_{b,cal,max,i} + R_{s,cal,max,i}$                                       | = | $R_{c,cal,max,i}$ | = | 824,1 | kN |
| $R_{c,k,i} = R_{c,cal,i} / \xi_3$                                         |   |                   | = | 592,8 | kN |
| Rekenwaarde van de weerstand $R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_t$               |   | $R_{c,d,i}$       | = | 494,0 | kN |
| Rekenwaarde van de negatieve kleef $F_{s,nk,d}$                           |   |                   | = | 211,8 | kN |
| Rekenwaarde van de netto paalweerstand $R_{c,net,d} = R_{c,d} - F_{nk,d}$ |   |                   | = | 282,2 | kN |

## TABEL PAALDRUKWEERSTANDEN NEN 9997-1: 2017

versie 19 januari 2018

| ALGEMENE GEGEVENS |                          |       |            |                                        |                 |
|-------------------|--------------------------|-------|------------|----------------------------------------|-----------------|
| Projectnr.        | W2019.162                | Datum | 07-03-2019 | Aantal palen                           | M 1             |
| Plaats            | Rotterdam                |       |            | Aantal sonderingen                     | N 1             |
| Straat            | Museumpark 3             |       |            | Constructie niet-stijf [0] / Stijf [1] | [0/1] 0         |
| Project           | Herstel hekwerk Arminius |       |            | Correlatiefactoren                     | $\xi_3$ 1,39    |
|                   |                          |       |            | Materiaalfactor                        | $\gamma_t$ 1,20 |

| PROJECTGEVENS                  |                                     |             |          |                                                          |                             |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Paalsysteem                    | Stalen buispaal - geheid            |             |          | Constante dwarsafmeting; buis met gesloten punt, geheid  |                             |
| Classificatie paalsysteem      | Grondverdringend                    |             |          | Oppervlakte voet                                         | $A_v$ 0,0434 m <sup>2</sup> |
| Type voet                      | Voetplaat                           |             |          | Omtrek schacht                                           | $O_s$ 0,6883 m              |
| Diameter schacht               | dschacht                            | $\emptyset$ | 219,1 mm | Omtrek voet                                              | $O_v$ 0,6883 m              |
| Voetdiameter                   | d <sub>v,eq</sub>                   | $\emptyset$ | 235,0 mm | Paalvoetfactor (figuur 7.i)                              | $\beta$ 0,90                |
| Hoogtevoet                     | h <sub>voet</sub>                   |             | 0,0 mm   | Dwarsdoorsnede factor (art. 7.6.3.2 (h))                 | s 1,00                      |
| $A_{paalpunt}/A_{paalschacht}$ | $D_{eq}^2/d^2$                      |             | 1,15     | Paalklassefactor paalpunt (NEN 9997-1: 2016 – tabel 7.e) | $\alpha_p$ 0,70             |
| Voethoogte/paaldoorsnede       | H <sub>voet</sub> / D <sub>eq</sub> |             | 0,00     | Paalklassefactor schachtwrijving (tabel 7.e)             | $\alpha_s$ 0,0100           |

| Referentienivo                   |                         | NAP                         |                              |                                  |                        |                        |                              |                                   |                                  |                                  |                           |                                |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| REKENWAARDE PAALDRUK WEERSTANDEN |                         |                             |                              |                                  |                        |                        |                              |                                   |                                  |                                  |                           |                                |
| Sond.                            | Maaiveld<br>[m tov NAP] | Paalpuntnivo<br>[m tov NAP] | q <sub>bmax,i</sub><br>[kPa] | R <sub>b,cal,max,i</sub><br>[kN] | BK pos.<br>[m tov NAP] | OK pos.<br>[m tov NAP] | ΔL <sub>schacht</sub><br>[m] | q <sub>s,cal,gem,i</sub><br>[MPa] | R <sub>s,cal,max,i</sub><br>[kN] | R <sub>c,cal,max,i</sub><br>[kN] | F <sub>nk,d</sub><br>[kN] | R <sub>c,net,d,i</sub><br>[kN] |
| S01                              | - 0,68                  | - 20,75                     | 7,2                          | 311,5                            | - 17,75                | - 20,75                | 3,00                         | 14,0                              | 289,1                            | 601                              | 170                       | 190                            |
| S02                              | - 0,63                  | - 19,75                     | 7,9                          | 341,5                            | - 17,50                | - 19,75                | 2,25                         | 13,5                              | 209,1                            | 551                              | 170                       | 160                            |
| S02                              | - 0,63                  | - 20,75                     | 9,2                          | 398,9                            | - 17,50                | - 20,75                | 3,25                         | 14,0                              | 313,2                            | 712                              | 170                       | 257                            |

Gelet op de projectgegevens en de opbouw en samenstelling van de ondergrond is een fundering op (inwendig) geheide stalen buispalen, vanuit geotechnisch oogpunt, een goede mogelijkheid. Voorwaarde voor het toepassen een geheid paalsysteem is, dat (enige) heitrillingen en geluidshinder in de (directe) omgeving toelaatbaar moeten zijn. Het verdient echter wel aanbeveling bij de gemeente navraag te doen naar lokale ervaringen en aangaande de uitvoerbaarheid van (inwendig) geheide stalen buispalen.

Voor de uitvoering van de palen wordt verwezen naar de Nederlandse norm:

- NEN 9997-1 "Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels";
- NEN-EN 12699 "Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen";

## TABEL PAALDRUKWEERSTANDEN NEN 9997-1: 2017

versie 19 januari 2018

| ALGEMENE GEGEVENS                      |                          |       |            |  |
|----------------------------------------|--------------------------|-------|------------|--|
| Projectnr.                             | W2019.162                | Datum | 06-03-2019 |  |
| Plaats                                 | Rotterdam                |       |            |  |
| Straat                                 | Museumpark 3             |       |            |  |
| Project                                | Herstel hekwerk Arminius |       |            |  |
| Aantal palen                           | M                        | 1     |            |  |
| Aantal sonderingen                     | N                        | 1     |            |  |
| Constructie niet-stijf [0] / Stijf [1] | [0/1]                    | 0     |            |  |
| Correlatiefactoren                     | $\xi_3$                  | 1,39  |            |  |
| Materiaalfactor                        | $\gamma_t$               | 1,20  |            |  |

| PROJECTGEVENS                  |                                     |          |                                                          |                             |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Paalsysteem                    | Stalen buispaal - geheid            |          | Constante dwarsafmeting; buis met gesloten punt, geheid  |                             |
| Classificatie paalsysteem      | Grondverdringend                    |          | Oppervlakte voet                                         | $A_v$ 0,0661 m <sup>2</sup> |
| Type voet                      | Voetplaat                           |          | Omtrek schacht                                           | $O_s$ 0,8577 m              |
| Diameter schacht               | dschacht $\emptyset$                | 273,0 mm | Omtrek voet                                              | $O_v$ 0,8577 m              |
| Voetdiameter                   | d <sub>v,eq</sub> $\emptyset$       | 290,0 mm | Paalvoetfactor (figuur 7.i)                              | $\beta$ 0,88                |
| Hoogtevoet                     | h <sub>voet</sub>                   | 0,0 mm   | Dwarsdoorsnede factor (art. 7.6.3.2 (h))                 | s 1,00                      |
| $A_{paalpunt}/A_{paalschacht}$ | $D_{eq}^2/d^2$                      | 1,13     | Paalklassefactor paalpunt (NEN 9997-1: 2016 – tabel 7.e) | $\alpha_p$ 0,70             |
| Voethoogte/paaldoorsnede       | H <sub>voet</sub> / D <sub>eq</sub> | 0,00     | Paalklassefactor schachtwrijving (tabel 7.e)             | $\alpha_s$ 0,0100           |

| Referentienivo                   |                         | NAP                         |                              |                                  |                        |                        |                              |                                   |                                  |                                  |                           |                                |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| REKENWAARDE PAALDRUK WEERSTANDEN |                         |                             |                              |                                  |                        |                        |                              |                                   |                                  |                                  |                           |                                |
| Sond.                            | Maaiveld<br>[m tov NAP] | Paalpuntnivo<br>[m tov NAP] | q <sub>bmax,i</sub><br>[kPa] | R <sub>b,cal,max,i</sub><br>[kN] | BK pos.<br>[m tov NAP] | OK pos.<br>[m tov NAP] | ΔL <sub>schacht</sub><br>[m] | q <sub>s,cal,gem,i</sub><br>[MPa] | R <sub>s,cal,max,i</sub><br>[kN] | R <sub>c,cal,max,i</sub><br>[kN] | F <sub>nk,d</sub><br>[kN] | R <sub>c,net,d,i</sub><br>[kN] |
| S01                              | - 0,68                  | - 20,75                     | 7,0                          | 463,8                            | - 17,75                | - 20,75                | 3,00                         | 14,0                              | 360,2                            | 824                              | 212                       | 282                            |
| S02                              | - 0,63                  | - 19,75                     | 7,6                          | 499,2                            | - 17,50                | - 19,75                | 2,25                         | 13,5                              | 260,5                            | 760                              | 212                       | 244                            |
| S02                              | - 0,63                  | - 20,75                     | 8,9                          | 590,9                            | - 17,50                | - 20,75                | 3,25                         | 14,0                              | 390,2                            | 981                              | 212                       | 376                            |

Gelet op de projectgegevens en de opbouw en samenstelling van de ondergrond is een fundering op (inwendig) geheide stalen buispalen, vanuit geotechnisch oogpunt, een goede mogelijkheid. Voorwaarde voor het toepassen een geheid paalsysteem is, dat (enige) heitrillingen en geluidshinder in de (directe) omgeving toelaatbaar moeten zijn. Het verdient echter wel aanbeveling bij de gemeente navraag te doen naar lokale ervaringen en aangaande de uitvoerbaarheid van (inwendig) geheide stalen buispalen.

Voor de uitvoering van de palen wordt verwezen naar de Nederlandse norm:

- NEN 9997-1 "Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels";
- NEN-EN 12699 "Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen";



# PAAL*TREK*WEERSTANDEN



## Draagkracht van de grond op trek

Om aan te tonen dat de fundering de rekenwaarde van de belasting met voldoende veiligheid tegen bezwijken op trek weerstand, moet voor alle belastingsgevallen en belastingscombinaties in de uiterste grenstoestand aan onderstaande ongelijkheid zijn voldaan:

$$F_{t;d} \leq R_{t;d}$$

Voor op trek belaste palen moeten twee bezwijkmechanismen zijn beschouwd:

- Het uittrekken van de palen uit de grondmassa;
- Het omhoogkomen van een volume grond met de palen.

De berekening van de trekpalen geschiedt op basis van de NEN-EN 9997-1.

De rekenwaarde van de paal**trek**weerstand ( $R_{t;d}$ ), op basis van beproeving van grond (sonderingen), moet zijn bepaald uit:

$$R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_{s;t}}$$

waarin:

$$R_{t;k} = R_{s;k}$$

*Opmerking:*

Voor de waarde van  $\gamma_{s;t}$  wordt verwezen naar NEN 9997-1, tabel A.6 voor geheide palen, tabel A.7 voor geboorde palen en tabel A.8 voor schroefpalen van het type avegaar (indien berekend uit sonderingen is  $\gamma_{s;t} = 1,35$ ).

De karakteristieke waarden van de maximum**trek**weerstand en de maximumwrijvingskracht mogen zijn berekend uit:

$$R_{t;k} = (R_{s;k}) = \frac{R_{s;cal}}{\xi} = \frac{R_{t;cal}}{\xi} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{s;cal})_{gem}}{\xi_3}; \frac{(R_{s;cal})_{min}}{\xi_4} \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t;cal})_{gem}}{\xi_3}; \frac{(R_{t;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

waarbij:

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} \cdot q_{s;i;k}$$

en waarin  $\xi_3$  en  $\xi_4$  correlatiefactoren zijn die afhankelijk is van het aantal proeven,  $n$ , en de herverdelingscapaciteit van de constructie, c.q. het constructiedeel (het vermogen om belastingen van 'zwakke' naar 'sterke' palen over te dragen), en die zijn toegepast op respectievelijk:

de gemiddelde waarden  $R_{t;cal;gem} = (R_{s;cal})_{gem} = (R_{s;gem})_{gem}$  de laagste waarden  $R_{t;cal;min} = (R_{s;cal})_{min}$

*Opmerking:*

Voor de waarden van  $\xi_3$  en  $\xi_4$  wordt in geval van een niet-stijf bouwwerk verwezen naar NEN 9997-1, tabel A.10a, en in geval van een stijf bouwwerk naar NEN 9997-1, tabel A.10b. Doordat in Nederland is gekozen voor  $\xi_4 = 0,8 \times \xi_3$  is de berekening met  $\xi_3$  altijd bepalend voor de paal**trek**weerstand; mocht dat niet zijn, dan mag niet worden gemiddeld omdat de variatiecoëfficiënt dan groter is dan 0,12 (het omgekeerde hoeft overigens niet het geval te zijn).

## Bepaling trekweerstand uit de resultaten van een sondering

De rekenwaarde van de draagkracht van een op trek belaste paal wordt bepaald met de volgende formule:

$$R_{t;d} = \int_0^L O_{P;gem} \cdot q_{s;z;d} \cdot dz$$

waarbij:

|             |   |                                                                                              |
|-------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_{t;d}$   | = | de rekenwaarde van de trekweerstand van de paal in kN;                                       |
| $O_{p;gem}$ | = | de gemiddelde omtrek van de paal in m (voor MV-paal en staalprofielen de omschreven omtrek); |
| $L$         | = | de lengte waarover schachtwrijving wordt berekend in m;                                      |
| $q_{s;z;d}$ | = | de rekenwaarde van de schachtwrijving op diepte $z$ in kPa;                                  |
| $z$         | = | de aanduiding van diepte.                                                                    |

## Trekweerstand alleenstaande paal

De rekenwaarde van de schachtwrijving van een alleenstaande paal  $q_{c;z;d}$  moet zijn bepaald met:

$$q_{s;z;d} = \alpha_t \cdot q_{c;z;d}$$

waarin:

|             |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha_t$  | = | de factor, vermeld in tabellen 7.g en 7.h, die de invloed van het installatieproces in rekening brengt. In tabel 7.g zijn de waarden voor palen in zand en grindhoudend zand. Voor niet genoemde paaltypen moet $\alpha_t$ worden bepaald aan de hand van proefbelastingen. Voor palen die uitsluitend in kleilagen staan, zijn de factoren volgens tabel 7.h; |
| $q_{c;z;d}$ | = | de rekenwaarde van de conusweerstand op diepte $z$ in kPa. In geval van natuurlijk overconsolidatie of van een ontgraving dient een reductie in rekening te worden gebracht.                                                                                                                                                                                   |

Voor palen die het merendeel van de draagkracht ontleen aan een zandlaag mag het aandeel van cohesieve lagen (klei/silt) worden meegenomen, mits de waarde van  $\alpha_t$  wordt verlaagd tot 0,5  $\alpha_t$ .

De reductie is nodig in verband met het verschil in spannings-rek van zand en cohesieve grond.

Indien de draagkracht wordt ontleend aan cohesieve lagen (klei/silt), dient bovendien rekening gehouden te worden met de aanpassing van de waterspanning door verdringing van de grond. In kleilagen duurt het enige tijd voordat, na de paalinstallatie, de schachtwrijving daardoor zijn maximale waarde heeft bereikt.

## Trekweerstand van een paal in een paalgroep

Bij de paalgroep speelt een tweetal aspecten een rol, waardoor een van de alleenstaande paal afwijkende rekenregel wordt aangehouden:

- het effect van verdichting door installatie van de paalgroep;
- de ontspanning door trekbelasting op de paalgroep.

Deze twee effecten worden de factoren  $f_1$  en  $f_2$  in rekening gebracht. De rekenwaarde van de schachtwrijving van een paal in een paalgroep volgt uit:

$$q_{s;z;d} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_t \cdot q_{c;z;d}$$

waarin:

|             |   |                                                                                                                                                                              |
|-------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q_{s;z;d}$ | = | de rekenwaarde van de conusweerstand op diepte $z$ in kPa. In geval van natuurlijk overconsolidatie of van een ontgraving dient een reductie in rekening te worden gebracht. |
|-------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- $\alpha_t$  = de factor, vermeld in tabellen 7.g en 7.h, die de invloed van het installatieproces in rekening brengt. In tabel 7.g zijn de waarden voor palen in zand en grindhoudend zand. Voor niet genoemde paaltypen moet  $\alpha_t$  worden bepaald aan de hand van proefbelastingen. Voor palen die uitsluitend in kleilagen staan, zijn de factoren volgens tabel 7.h;
- $q_{c;z;d}$  = de rekenwaarde van de conusweerstand op diepte  $z$  in kPa;
- $f_1$  en  $f_2$  = factoren voor het effect van de verdichting respectievelijk het effect van de ontspanning door de trekbelasting van de paalgroep.

De effecten, verdisconteerd in de factoren  $f_1$  en  $f_2$  treden alleen op in de zandgronden. Voor klei- en siltgronden zijn factoren  $f_1$  en  $f_2$  gelijk aan 1.

### Bepaling van de rekenwaarde conusweerstand

De rekenwaarde van de conusweerstand moet zijn bepaald met:

$$q_{c;z;d} = \frac{q_{c;z;a}}{\gamma_{s;t} \cdot \gamma_{m,var;q_c} \cdot \xi}$$

waarin:

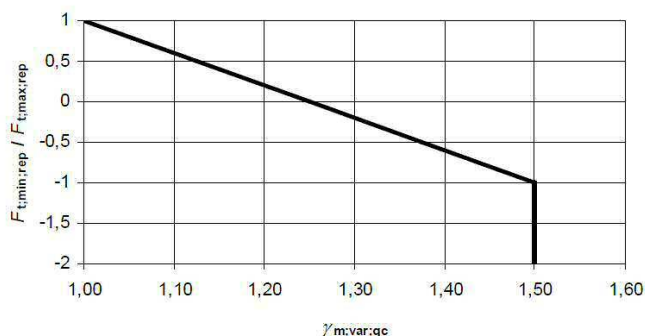
- $q_{c;z;a}$  = is de afgesnuten conusweerstand op diepte  $z$  beneden maaiveld in MPa, rekening houdend met overconsolidatie en/of een ontgraving, bepaald volgens 7.6.2.3 (j) respectievelijk (k);
- $\xi$  = de factor voor het aantal sonderingen en de herverdelingscapaciteit van de constructie, die de invloed van het installatieproces in rekening brengt, zie 7.6.2.3 ( $\xi = \xi_3$  respectievelijk  $\xi = \xi_4$ );
- $\gamma_{s;t}$  = is de partiële factor voor op trek belaste palen volgens art. 2.4.7. van NEN-EN 9997-1;
- $\gamma_{m,var;q_c}$  = is een factor, die de invloed van het wisselen van belastingen weergeeft. De belastingvariaties bij de bepaling  $\gamma_{m,var;q_c}$  moeten quasi-statisch van aard zijn.

De factor  $\gamma_{m,var;q_c}$  moet zijn bepaald met:

$$\gamma_{m,var;q_c} = 1 + 0,25 \cdot \frac{F_{t,max;rep} - F_{t,min;rep}}{F_{t,max;rep}} \leq 1,5$$

waarin:

- $F_{t,max;rep}$  = is de maximale representatieve waarde van de trekbelasting in kN (trek > 0);
- $F_{t,min;rep}$  = is de minimale representatieve waarde van de belasting in kN. (trek > 0). Als de paal ook op druk wordt belast, is de minimale optredende belasting negatief (druk < 0);



Figuur 7.k — Grootte van  $\gamma_{m,var;q_c}$  als functie van de variatie in de belasting

**Effect van installatie (factor  $f_1$ )**

De factor  $f_1$  wordt bepaald uit de mate van verdichting door het installeren van het palenveld. Dit wordt uitgedrukt in een toename van de toename van de relatieve dichtheid  $R_e$ . De factor  $f_1$  kan worden bepaald volgens:

$$f_1 = e^{3 \cdot \Delta R_e}$$

waarin:

$\Delta R_e$  = de toename van de relatieve dichtheid door paalinstallatie.

De waarde van  $\Delta R_e$  kan bepaald worden volgens:

$$\Delta R_e = \frac{\sum_1^n \Delta e}{(e_{\max} - e_{\min})}$$

waarin:

$\Delta e$  = de afname van het poriëngetal ten gevolge van het inbrengen van een grondverdringende paal binnen een afstand van  $6 \cdot D_{eq}$ ;

$e_0$  = het initiële poriëngetal van de grond;

$e_1$  = het poriëngetal van de grond na paal installatie;

$e_{\max}$ ,  $e_{\min}$  = maximale en minimale poriëngetal van de grond. De invloed van deze parameters is beperkt, zodat kan worden volstaan met een globale schatting. Voor normaal geconsolideerde zanden in Nederland kan in de meeste gevallen worden uitgegaan van  $e_{\max} = 0,80$  en  $e_{\min} = 0,40$ ;

$n$  = het aantal palen binnen een afstand van  $6 \cdot D_{eq}$

De waarde van  $e_0$  kan worden bepaald volgens:

$$e_0 = -R_e(e_{\max} - e_{\min}) + e_{\max}$$

waarin:

$R_e$  = de initiële waarde van de relatieve dichtheid van de grond

De waarde  $R_e$  kan uit de conusweerstand  $q_{c;z}$  en de verticale effectieve spanning  $\sigma'_{v;z}$  worden bepaald volgens:

$$\sum_1^n \Delta e = 0,34 \cdot \ln \frac{q_{c;z}}{61 \cdot (\sigma'_{v;z,0})^{0,71}}$$

waarin:

$q_{c;z}$  = de gemeten waarde van de conusweerstand op diepte  $z$  in kPa;

$\sigma'_{v;z,0}$  = de initiële effectieve verticale spanning op diepte  $z$  in kPa;

De berekening van  $R_e$  geschiedt met representatieve waarden van de conusweerstand en de effectieve verticale spanning.

De waarde van  $\Delta_e$  bij de te beschouwen (of het beschouwde punt) kan worden berekend uit de sommatie van de verdichtingseffecten van de omringende palen. Er kan hiermee onderscheid worden gemaakt tussen veldpalen, rand-, of hoekpalen.

$$\sum_1^n \Delta_e = -\frac{(r-6)}{5,5} \cdot \frac{(1+e_0)}{50}$$

waarin:

- $r$  = h.o.h.-afstand uitgedrukt in  $D_{eq}$  van een paal tot de beschouwen paal (of een ander willekeurig gelegen punt) met een maximum van  $r = 6$ . Indien  $r > 6$ , dan wordt er geen verdichtingseffect verondersteld;
- $n$  = de het aantal palen binnen een afstand van  $6 \cdot D_{eq}$ .

### Effect van aanbrengen trekbelasting [factor $f_2$ ]

Door het belasten van de paalgroep treedt een afname van de korrelspanning op in de lagen waaraan de paal zijn draagkracht op trek ontleent. Deze afname wordt eveneens op de conusweerstand in rekening gebracht en wel door middel van een factor  $f_2$ , welke wordt bepaald uit de rekenwaarden van de parameters.

Voor de berekening van  $f_2$  wordt de grond over de gehele lengte van de paal opgedeeld in lagen met constante conusweerstand  $q_{c,z,1}$ , elk met een dikte van ten hoogste 1 m. De waarde van  $f_2$  wordt per laag  $i$  berekend volgens:

$$f_{2,i} = \frac{-M_i + \sqrt{M_i^2 + (2\sigma'_{v,d;j;0} + \gamma'_{d;i} \cdot d_i) \cdot (2\sigma'_{v,d;j;0} + \gamma'_{d;i} \cdot d_i - 2 \sum_{n=0}^{i-1} q_{t,d;n})}}{(2\sigma'_{v,d;j;0} + \gamma'_{d;i} \cdot d_i)}$$

met

$$M_i = \frac{f_{1,i} \cdot O_{p,i} \cdot \alpha_t \cdot q_{c,d;i} \cdot d_i}{A}$$

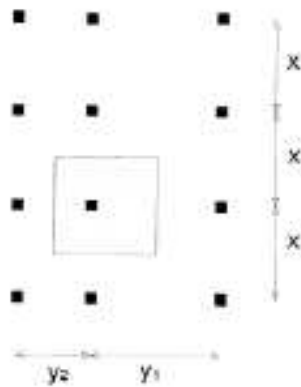
$$q_{d;i} = M_i \cdot f_{2,i}$$

waarin:

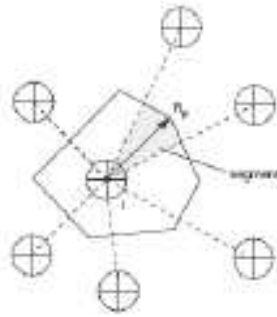
- $M_i$  = hulpfactor van laag  $i$  in kPa;
- $q_{d;i}$  = rekenwaarde van de bijdrage van de draagkracht op trek van laag  $i$  in kN/m<sup>2</sup>;
- $\sigma'_{v,d;j;0}$  = rekenwaarde van de effectieve verticale korrelspanning na ontgraven (indien van toepassing) in laagscheiding  $j$  in kN/m<sup>2</sup>;
- $O_{p,gem;i}$  = gemiddelde omtrek van de paal in m<sup>1</sup>;
- $q_{c,d;i}$  = rekenwaarde van de gemiddelde conusweerstand in laag  $i$  in MPa;
- $d_i$  = dikte van de laag  $i$  in m<sup>1</sup>;
- $\gamma'_{d;i}$  = rekenwaarde van het effectief volumiek gewicht van laag  $i$  in kN/m<sup>3</sup>;
- $A$  = invloedsoppervlak van de paal in m<sup>2</sup>;

Het invloedsoppervlak waarover de spanning zich verspreidt rondom een paal binnen een paalgroep is gelimiteerd tot het vlak dat de halve hart-op-hart-afstand tot de volgende funderingspaal beslaat.

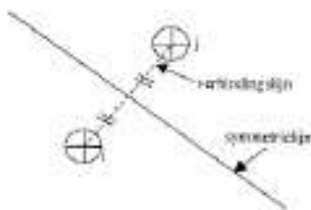
Voor een palenstramien/invloedsgebied van een paal (zie onderstaand figuur).



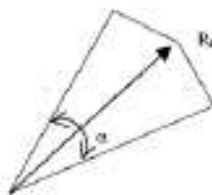
a palenstramien met invloedsgebied



b bepaling invloedsgebied voor paal i



c constructie symmetrische lijn



d segment

$$A = \left( \frac{1}{2} \cdot Y_1 + \frac{1}{2} \cdot Y_2 \right) \cdot X - A_{paal}$$

waarin:

|                   |   |                                                                                  |
|-------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------|
| A                 | = | spreidingsgebied rondom de paal in m <sup>2</sup> ;                              |
| Y <sub>1</sub>    | = | hart-op-hart-afstand tot de eerste naastgelegen palenrij in m <sup>1</sup> ;     |
| Y <sub>2</sub>    | = | hart-op-hart-afstand tot de tweede naastgelegen palenrij in m <sup>1</sup> ;     |
| X                 | = | hart-op-hart-afstand in de richting loodrecht op de palenrij in m <sup>1</sup> ; |
| A <sub>paal</sub> | = | oppervlak van de paaldoorsnede in m <sup>2</sup> ;                               |

De korrelspanning wordt berekend met de rekenwaarde van het eigen gewicht volgens:

$$\sigma'_{v;d;j;0} = \sum_{n=0}^{i-1} \gamma'_{d;n} \cdot d_n$$

waarin:

|                     |   |                                                                                                                                              |
|---------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma'_{v;d;j;0}$ | = | rekenwaarde van de effectieve verticale korrelspanning na ontgraven (indien van toepassing) in laagscheiding <i>j</i> in kN/m <sup>2</sup> ; |
| $\gamma'_{dj}$      | = | rekenwaarde van het effectief volumiek gewicht van laag <i>i</i> in kN/m <sup>3</sup> ;                                                      |
|                     |   | boven de freatische grondwaterstand : $\gamma'_d = \frac{\gamma}{\gamma_{m,g}}$                                                              |
|                     |   | onder de freatische grondwaterstand : $\gamma'_d = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{m,g}} - \gamma_{water}$                                       |

### Bepaling van het kluitgewicht

Aangenomen wordt dat aan de onderzijde van een paalgroep niet het volledige gewicht van het zand kan worden gemobiliseerd voor het ontwikkelen van de paaltrekkkracht van de paal. Er wordt vanuit gegaan dat vanaf de paalpunt een



kegelvormig breukvlak kan ontstaan. Dit effect wordt in rekening gebracht door het gewicht van de grond in de kegel en cilindervorm te toetsen aan de berekende draagkracht van de paal in de paalgroep volgens:

$$R_{t;kluit;d} = (V_{kegel} + V_{cilinder}) \cdot \gamma' d$$

waarin:

- $R_{t;kluit;d}$  = het kluitgewicht, exclusief het gewicht van de paal, in kN;
- $V_{kegel}$  = volume van het kegelvormige grondvolume onder aan de paal, exclusief het volume van de paal, in m<sup>3</sup>;
- $V_{cilinder}$  = volume van het geschematiseerde "cilindervormige" grondvolume rondom het overige deel van de paal, exclusief het volume van de paal, in m<sup>3</sup>;
- $\gamma'_{di}$  = rekenwaarde van het effectief volumiek gewicht van de grond, exclusief het in kN/m<sup>3</sup>;  
Bij gelaagde bodemopbouw moet het gewicht per laag in rekening worden gebracht.

De halve tophoek van de kegel is afhankelijk van het paaltype. Bovendien is de tophoek binnen de paalgroep groter dan aan de buitenzijde van de paalgroep.

De grootte van de aan te houden tophoek is gegeven in onderstaande tabel.

*Tabel 7.i van NEN-EN 9997-1: Grootte van de tophoek van de grondkegel aan de onderzijde van de paal.*

| Paalsoort<br>(zie indeling in tabel 7.g)                                            | Halve tophoek binnen de paalgroep<br>[360°] | Halve tophoek buiten de paalgroep<br>[360°] |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Grondverdringende palen                                                             | 45                                          | 30                                          |
| Weinig grondverdringende palen                                                      | $2/3 \varphi'$                              | $1/2 \varphi'$                              |
| Grondverwijderende palen                                                            | $2/3 \varphi'$                              | $1/2 \varphi'$                              |
| $\varphi'$ is de hoek van inwendige wrijving van de grond op de diepte van de kegel |                                             |                                             |

*Opmerking:*

*De vorm van de kegel onder aan de punt kan onregelmatig zijn, afhankelijk van de vorm van het palenplan. Het onregelmatige spanningspreidingoppervlak tussen de palen mag omgerekend worden naar een cirkelvormig oppervlak dat als basis voor de kegel dient.*





## Bepaling van het paalgewicht

De totale berekende draagvlak op trek mag voor grondverdringende palen worden verhoogd met het effectieve eigen gewicht van de paal volgens:

$$G_{stb;paal;d} = V_{paal} \cdot \gamma'_{paal;d}$$

en

$$\gamma'_{paal;d} = \frac{\gamma_{paal}}{\gamma_{\gamma}} - \gamma_{water}$$

waarin:

$G_{stb;paal;d}$  = rekenwaarde van het effectief gewicht van de paal in kN;

$V_{paal}$  = volume van de paal in m<sup>3</sup>;  
voor een open stalen buispaal is dit het volume van het staaloppervlak per meter paallengte. Voor een met beton gevulde paal is dit gelijk aan het volume van het staal en beton per meter paallengte;

$\gamma_{paal}$  = volumiek gewicht van de paal in kN/m<sup>3</sup>;  
volumiek gewicht van staal is 78 kN/m<sup>3</sup>;  
volumiek gewicht van beton is 24 kN/m<sup>3</sup>;

$\gamma'_{paal;d}$  = rekenwaarde van het effectief volumiek gewicht van de paal in kN/m<sup>3</sup>;

$\gamma_{water}$  = volumiek gewicht van het grondwater in kN/m<sup>3</sup>;

$\gamma_{\gamma}$  = partiële factor voor het volumiek gewicht van het paalmateriaal, in dit geval  $\gamma_{\gamma} = 1,1$ ;

—



# PAALTREKWEERSTAND

## NEN 9997-1

|               |                          |       |                |
|---------------|--------------------------|-------|----------------|
| Projectnummer | W2019.162                | Datum | 07 - 03 - 2019 |
| Plaats        | Rotterdam                |       |                |
| Straat        | Museumpark 3             |       |                |
| Project       | Herstel hekwerk Arminius |       |                |

|           |            |
|-----------|------------|
| Sondering | S01 en S02 |
|-----------|------------|

versie 10 december 2016

| Paaltype                    | Stalen buispaal - geheid |                         |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Paalvorm                    | R                        |                         |
| Paalafmeting                | Ø                        | 219,0 mm                |
| Voetafmeting                | Ø                        | 229,0 mm                |
| Paalomtrek                  | O <sub>s,igem</sub>      | 688,0 mm                |
| Invloedsfactor uitvoering   | α <sub>t</sub>           | 0,0070                  |
| Vol. gewicht materiaal paal | γ <sub>paal</sub>        | 24,00 kN/m <sup>3</sup> |
| Materiaalfactor e.g.        | γ <sub>γ</sub>           | 0,90                    |

| Paalgegevens    |     |           |
|-----------------|-----|-----------|
| Paalkop t.o.v.  | NAP | - 0,65 m  |
| Paalpunt t.o.v. | NAP | - 19,75 m |
| Paallengte      |     | 19,10 m   |

| Niveaus                  |        |                   |
|--------------------------|--------|-------------------|
| Referentieniveau         | [R.N.] | NAP               |
| Maaiveld t.o.v.          | NAP    | - 0,65 m          |
| Grondwaterstand t.o.v.   | NAP    | - 2,50 m          |
| Putbodembodem t.o.v. NAP | NAP    | - 0,65 m          |
| Breedte putbodembodem    |        | 0,00 m            |
| Ontlasting putbodembodem |        | kN/m <sup>2</sup> |

| Reductieconusweerstand door ontgraven       |   |   |
|---------------------------------------------|---|---|
| Installatie voor ontgraving of trillingsarm | j |   |
| Maximale reductie                           | W | % |

| Statistische reductiecoëfficiënt en materiaalfactor |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------|------------------|------|-------|
| Aantal sonderingen                                  | N                | 1    | sond. |
| Niet-stijf [0] / stijf bouwwerk [1]                 | [0 / 1]          | 0    |       |
| Correlatiefactoren (niet)stijf bouwwerk             | ξ <sub>3</sub>   | 1,39 |       |
|                                                     | ξ <sub>4</sub>   | 1,39 |       |
|                                                     | γ <sub>s,t</sub> | 1,35 |       |

| Invloed wisselende belasting                    |                        |            |
|-------------------------------------------------|------------------------|------------|
| Maximale belasting                              | F <sub>t,max,rep</sub> | 20 kN ↑    |
| Minimale belasting                              | F <sub>t,min,rep</sub> | - 250 kN ↓ |
| F <sub>t,min,rep</sub> / F <sub>t,max,rep</sub> |                        | -12,50     |
| Factor wisselende belasting                     | γ <sub>m,var,qc</sub>  | 1,50       |

| Paalgroep van trekpalen met de naastgelegen trekpalen op h.o.h.-afstanden |        |                        |        |
|---------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------|--------|
| Paalgroep ( J/N )                                                         | n      | Heiverdichting ( J/N ) | N      |
| 1e palenrij X <sub>1</sub>                                                | 0,00 m | Y <sub>1</sub>         | 0,00 m |
| 2e palenrij X <sub>2</sub>                                                | 0,00 m | Y <sub>2</sub>         | 0,00 m |

| Effect van installatie (f1) |       |                        |   |
|-----------------------------|-------|------------------------|---|
| Aantal palen Ni op          |       | h.o.h. afstand Ri [m]: |   |
| N <sub>1</sub>              | stuks | R <sub>1</sub>         | m |
| N <sub>2</sub>              | stuks | R <sub>2</sub>         | m |
| N <sub>3</sub>              | stuks | R <sub>3</sub>         | m |
| N <sub>4</sub>              | stuks | R <sub>4</sub>         | m |

Heiverdichting moet na het heien worden aangetoond !

| GEGEVENS GRONDLAGEN |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             | TREK              |                 | KORRELSPANNING                                   |                                                    |                                 | R <sub>t,d</sub> (incl. G <sub>paal,d</sub> ) |                                 |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| Laag nr.            | BK <sub>laag</sub><br>[m tov NAP] | OK <sub>laag</sub><br>[m tov NAP] | γ <sub>t,rep</sub><br>[kN/m <sup>3</sup> ] | h <sub>i</sub><br>[m] | q <sub>s,k;igem</sub><br>[MPa] | Grond-soort | Trek<br>( J / N ) | Bijdrage<br>[%] | σ' <sub>v,z,i;igem</sub><br>[kN/m <sup>2</sup> ] | σ' <sub>v,z,i;ontgr.</sub><br>[kN/m <sup>2</sup> ] | q <sub>c,i;corr.</sub><br>[MPa] | ΣF <sub>r,at1,d</sub><br>[kN]                 | ΣF <sub>r,Gmax1,d</sub><br>[kN] |
| 1                   | - 0,65                            | - 2,50                            | 17,0                                       | 1,85                  | 4,0                            | Z           | N                 | 0               | 15,73                                            | 15,73                                              | 4,00                            | 2                                             | 50                              |
| 2                   | - 2,50                            | - 4,50                            | 15,0                                       | 2,00                  | 1,0                            | K           | N                 | 0               | 36,45                                            | 36,45                                              | 1,00                            | 2                                             | 324                             |
| 3                   | - 4,50                            | - 6,50                            | 13,0                                       | 2,00                  | 0,6                            | V           | N                 | 0               | 44,45                                            | 44,45                                              | 0,60                            | 3                                             | 898                             |
| 4                   | - 6,50                            | - 11,00                           | 14,0                                       | 4,50                  | 0,4                            | K           | N                 | 0               | 56,45                                            | 56,45                                              | 0,40                            | 5                                             | 3494                            |
| 5                   | - 11,00                           | - 12,00                           | 17,0                                       | 1,00                  | 1,0                            | K           | N                 | 0               | 68,95                                            | 68,95                                              | 1,00                            | 6                                             | 4357                            |
| 6                   | - 12,00                           | - 17,50                           | 15,0                                       | 5,50                  | 0,6                            | K           | N                 | 0               | 86,20                                            | 86,20                                              | 0,60                            | 8                                             | 11476                           |
| 7                   | - 17,50                           | - 18,00                           | 20,0                                       | 0,50                  | 9,0                            | Z           | J                 | 100             | 102,45                                           | 102,45                                             | 9,00                            | 16                                            | 12350                           |
| 8                   | - 18,00                           | - 18,50                           | 20,0                                       | 0,50                  | 13,0                           | Z           | J                 | 100             | 107,45                                           | 107,45                                             | 13,00                           | 27                                            | 13268                           |
| 9                   | - 18,50                           | - 19,00                           | 20,0                                       | 0,50                  | 15,0                           | Z           | J                 | 100             | 112,45                                           | 112,45                                             | 15,00                           | 40                                            | 14231                           |
| 10                  | - 19,00                           | - 19,75                           | 20,0                                       | 0,75                  | 16,0                           | Z           | J                 | 100             | 118,70                                           | 118,70                                             | 16,00                           | 60                                            | 15766                           |
| 11                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 12                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 13                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 14                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 15                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 16                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 17                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 18                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 19                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 20                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 21                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 22                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 23                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 24                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 25                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 26                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 27                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 28                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                  |                                                    |                                 |                                               |                                 |

| Rekenwaarde trekweerstand alleenstaande paal |       |
|----------------------------------------------|-------|
| R <sub>t,alleenstaand,d</sub>                | 60 kN |

| Rekenwaarde trekweerstand alleenstaande paal |       |
|----------------------------------------------|-------|
| $R_{t,d} \leq (R_{t,kluit,d} + G_{paal,d})$  |       |
| $( 50,9 \leq 15757,3 ) + 9 =$                |       |
| R <sub>t,paalgroep,d</sub>                   | 60 kN |

# PAALTREKWEERSTAND

## NEN 9997-1

|               |                          |       |                |
|---------------|--------------------------|-------|----------------|
| Projectnummer | W2019.162                | Datum | 06 - 03 - 2019 |
| Plaats        | Rotterdam                |       |                |
| Straat        | Museumpark 3             |       |                |
| Project       | Herstel hekwerk Arminius |       |                |

|           |            |
|-----------|------------|
| Sondering | S01 en S02 |
|-----------|------------|

versie 10 december 2016

| Paaltype                                    |                     |         | Stalen buispaal - geheid |  |
|---------------------------------------------|---------------------|---------|--------------------------|--|
| Paalvorm                                    |                     |         | R                        |  |
| Paalafmeting                                | Ø                   | 273,0   | mm                       |  |
| Voetafmeting                                | Ø                   | 283,0   | mm                       |  |
| Paalomtrek                                  | O <sub>s, gem</sub> | 857,7   | mm                       |  |
| Invloedsfactor uitvoering                   | α <sub>t</sub>      | 0,0070  |                          |  |
| Vol. gewicht materiaal paal                 | γ <sub>paal</sub>   | 24,00   | kN/m <sup>3</sup>        |  |
| Materiaalfactor e.g.                        | γ <sub>γ</sub>      | 0,90    |                          |  |
| Paalgegevens                                |                     |         |                          |  |
| Paalkop t.o.v.                              | NAP                 | - 0,65  | m                        |  |
| Paalpunt t.o.v.                             | NAP                 | - 19,75 | m                        |  |
| Paallengte                                  |                     | 19,10   | m                        |  |
| Niveaus                                     |                     |         |                          |  |
| Referentieniveau                            | [R.N.]              | NAP     |                          |  |
| Maaiveld t.o.v.                             | NAP                 | - 0,65  | m                        |  |
| Grondwaterstand t.o.v.                      | NAP                 | - 2,50  | m                        |  |
| Putbodembodem t.o.v. NAP                    | NAP                 | - 0,65  | m                        |  |
| Breedte putbodembodem                       |                     | 0,00    | m                        |  |
| Ontlasting putbodembodem                    |                     |         | kN/m <sup>2</sup>        |  |
| Reductieconusweerstand door ontgraven       |                     |         |                          |  |
| Installatie voor ontgraving of trillingsarm |                     | j       |                          |  |
| Maximale reductie                           |                     | W       | %                        |  |

| Statistische reductiecoëfficiënt en materiaalfactor                       |                        |                        |       |                       |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------|-----------------------|
| Aantal sonderingen                                                        | N                      | 1                      | sond. |                       |
| Niet-stijf [0] / stijf bouwwerk [1]                                       | [0 / 1]                | 0                      |       |                       |
| Correlatiefactoren (niet)stijf bouwwerk                                   |                        | ξ <sub>3</sub>         | 1,39  |                       |
|                                                                           |                        | ξ <sub>4</sub>         | 1,39  |                       |
|                                                                           |                        | γ <sub>s,t</sub>       | 1,35  |                       |
| Invloed wisselende belasting                                              |                        |                        |       |                       |
| Maximale belasting                                                        | F <sub>t,max,rep</sub> | 20                     | kN ↑  |                       |
| Minimale belasting                                                        | F <sub>t,min,rep</sub> | - 250                  | kN ↓  |                       |
| F <sub>t,min,rep</sub> / F <sub>t,max,rep</sub>                           |                        | -12,50                 |       |                       |
| Factor wisselende belasting                                               | γ <sub>m,var,qc</sub>  | 1,50                   |       |                       |
| Paalgroep van trekpalen met de naastgelegen trekpalen op h.o.h.-afstanden |                        |                        |       |                       |
| Paalgroep ( J/N )                                                         | n                      | Heiverdichting ( J/N ) |       | N                     |
| 1e palenrij                                                               | X <sub>1</sub>         | 0,00                   | m     | Y <sub>1</sub> 0,00 m |
| 2e palenrij                                                               | X <sub>2</sub>         | 0,00                   | m     | Y <sub>2</sub> 0,00 m |
| Effect van installatie (f1)                                               |                        |                        |       |                       |
| Aantal palen Ni op                                                        |                        | h.o.h. afstand Ri [m]: |       |                       |
| N <sub>1</sub>                                                            | stuks                  | R <sub>1</sub>         |       | m                     |
| N <sub>2</sub>                                                            | stuks                  | R <sub>2</sub>         |       | m                     |
| N <sub>3</sub>                                                            | stuks                  | R <sub>3</sub>         |       | m                     |
| N <sub>4</sub>                                                            | stuks                  | R <sub>4</sub>         |       | m                     |
| Heiverdichting moet na het heien worden aangetoond !                      |                        |                        |       |                       |

| GEGEVENS GRONDLAGEN |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             | TREK              |                 | KORRELSPANNING                                  |                                                    |                                 | R <sub>t,d</sub> (incl. G <sub>paal,d</sub> ) |                                 |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| Laag nr.            | BK <sub>laag</sub><br>[m tov NAP] | OK <sub>laag</sub><br>[m tov NAP] | γ <sub>t,rep</sub><br>[kN/m <sup>3</sup> ] | h <sub>i</sub><br>[m] | q <sub>s,k;igem</sub><br>[MPa] | Grond-soort | Trek<br>( J / N ) | Bijdrage<br>[%] | σ' <sub>v,z,i;gem</sub><br>[kN/m <sup>2</sup> ] | σ' <sub>v,z,i;ontgr.</sub><br>[kN/m <sup>2</sup> ] | q <sub>c,i;corr.</sub><br>[MPa] | ΣF <sub>r,at1,d</sub><br>[kN]                 | ΣF <sub>r,Gmax1,d</sub><br>[kN] |
| 1                   | - 0,65                            | - 2,50                            | 17,0                                       | 1,85                  | 4,0                            | Z           | N                 | 0               | 15,73                                           | 15,73                                              | 4,00                            | 2                                             | 50                              |
| 2                   | - 2,50                            | - 4,50                            | 15,0                                       | 2,00                  | 1,0                            | K           | N                 | 0               | 36,45                                           | 36,45                                              | 1,00                            | 4                                             | 324                             |
| 3                   | - 4,50                            | - 6,50                            | 13,0                                       | 2,00                  | 0,6                            | V           | N                 | 0               | 44,45                                           | 44,45                                              | 0,60                            | 5                                             | 898                             |
| 4                   | - 6,50                            | - 11,00                           | 14,0                                       | 4,50                  | 0,4                            | K           | N                 | 0               | 56,45                                           | 56,45                                              | 0,40                            | 8                                             | 3494                            |
| 5                   | - 11,00                           | - 12,00                           | 17,0                                       | 1,00                  | 1,0                            | K           | N                 | 0               | 68,95                                           | 68,95                                              | 1,00                            | 9                                             | 4357                            |
| 6                   | - 12,00                           | - 17,50                           | 15,0                                       | 5,50                  | 0,6                            | K           | N                 | 0               | 86,20                                           | 86,20                                              | 0,60                            | 13                                            | 11476                           |
| 7                   | - 17,50                           | - 18,00                           | 20,0                                       | 0,50                  | 9,0                            | Z           | J                 | 100             | 102,45                                          | 102,45                                             | 9,00                            | 22                                            | 12350                           |
| 8                   | - 18,00                           | - 18,50                           | 20,0                                       | 0,50                  | 13,0                           | Z           | J                 | 100             | 107,45                                          | 107,45                                             | 13,00                           | 37                                            | 13268                           |
| 9                   | - 18,50                           | - 19,00                           | 20,0                                       | 0,50                  | 15,0                           | Z           | J                 | 100             | 112,45                                          | 112,45                                             | 15,00                           | 53                                            | 14231                           |
| 10                  | - 19,00                           | - 19,75                           | 20,0                                       | 0,75                  | 16,0                           | Z           | J                 | 100             | 118,70                                          | 118,70                                             | 16,00                           | 78                                            | 15766                           |
| 11                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 12                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 13                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 14                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 15                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 16                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 17                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 18                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 19                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 20                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 21                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 22                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 23                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 24                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 25                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 26                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 27                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |
| 28                  |                                   |                                   |                                            |                       |                                |             |                   |                 |                                                 |                                                    |                                 |                                               |                                 |

## Rekenwaarde trekweerstand alleenstaande paal

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| R <sub>t,alleenstaand,d</sub> | 78 kN |
|-------------------------------|-------|

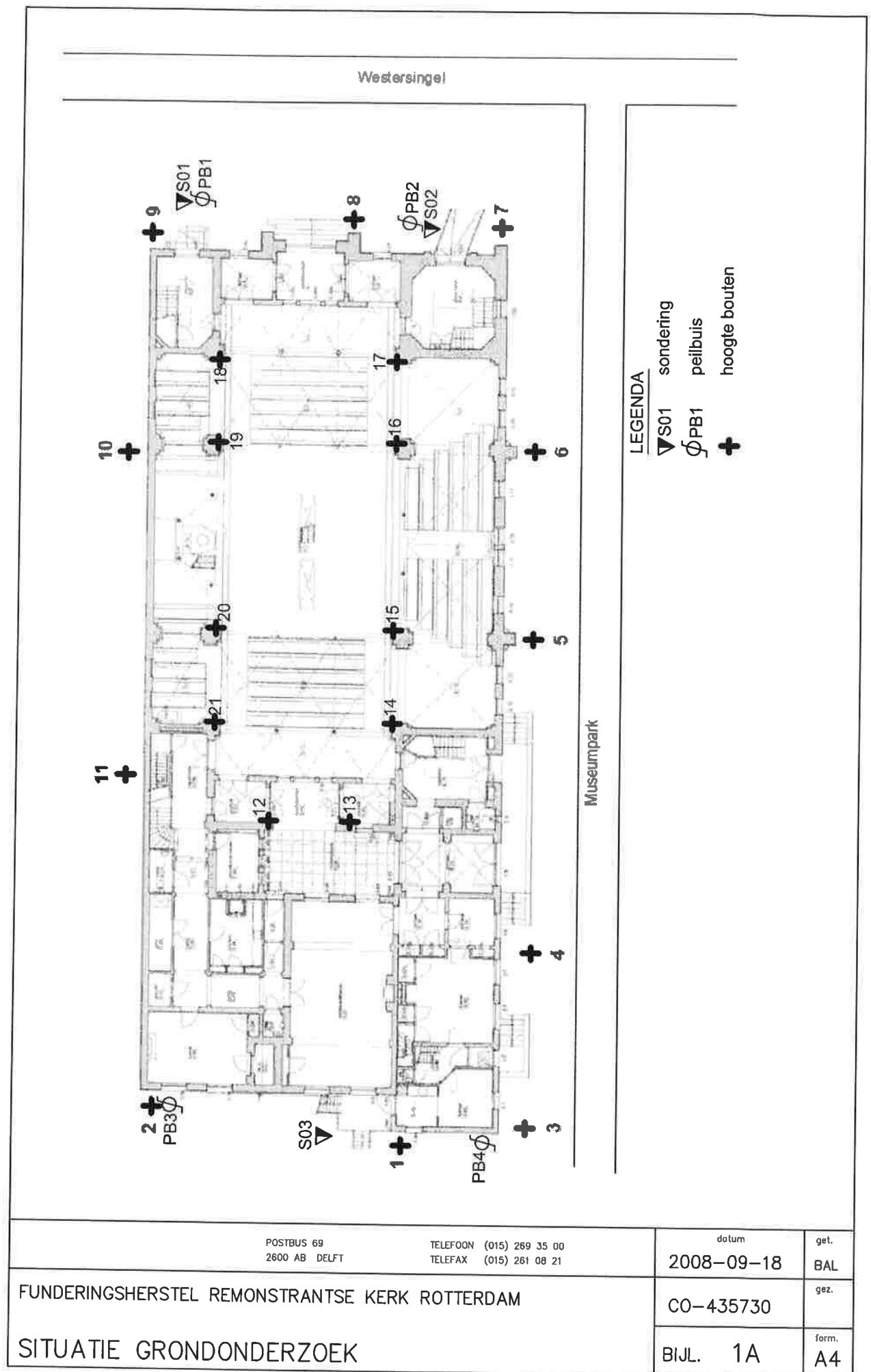
## Rekenwaarde trekweerstand alleenstaande paal

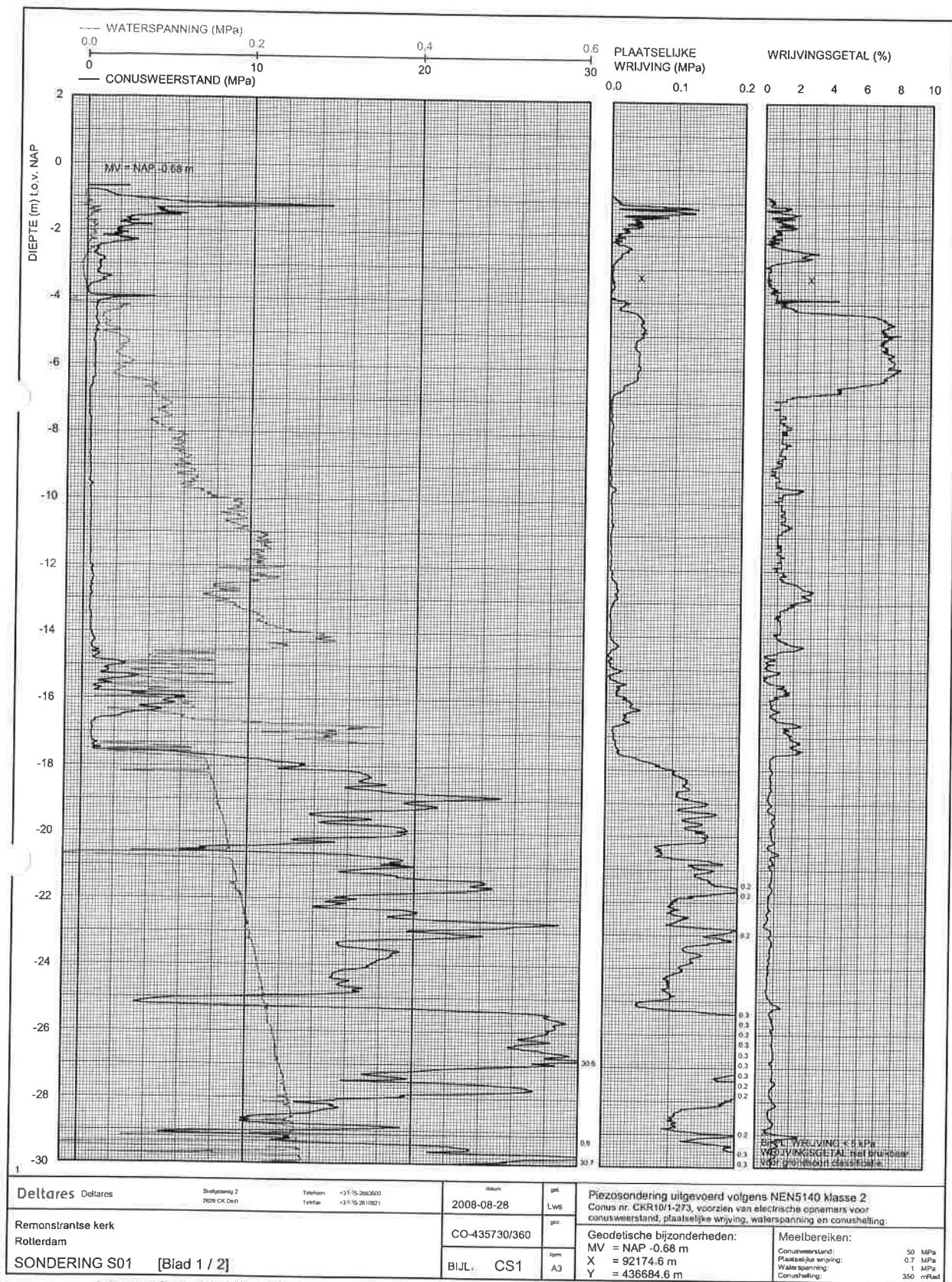
|                                                                    |       |
|--------------------------------------------------------------------|-------|
| R <sub>t,d</sub> ≤ (R <sub>t,kluit,d</sub> + G <sub>paal,d</sub> ) |       |
| ( 63,5 ≤ 15752,3 ) + 14,1 =                                        |       |
| R <sub>t,paalgroep,d</sub>                                         | 78 kN |

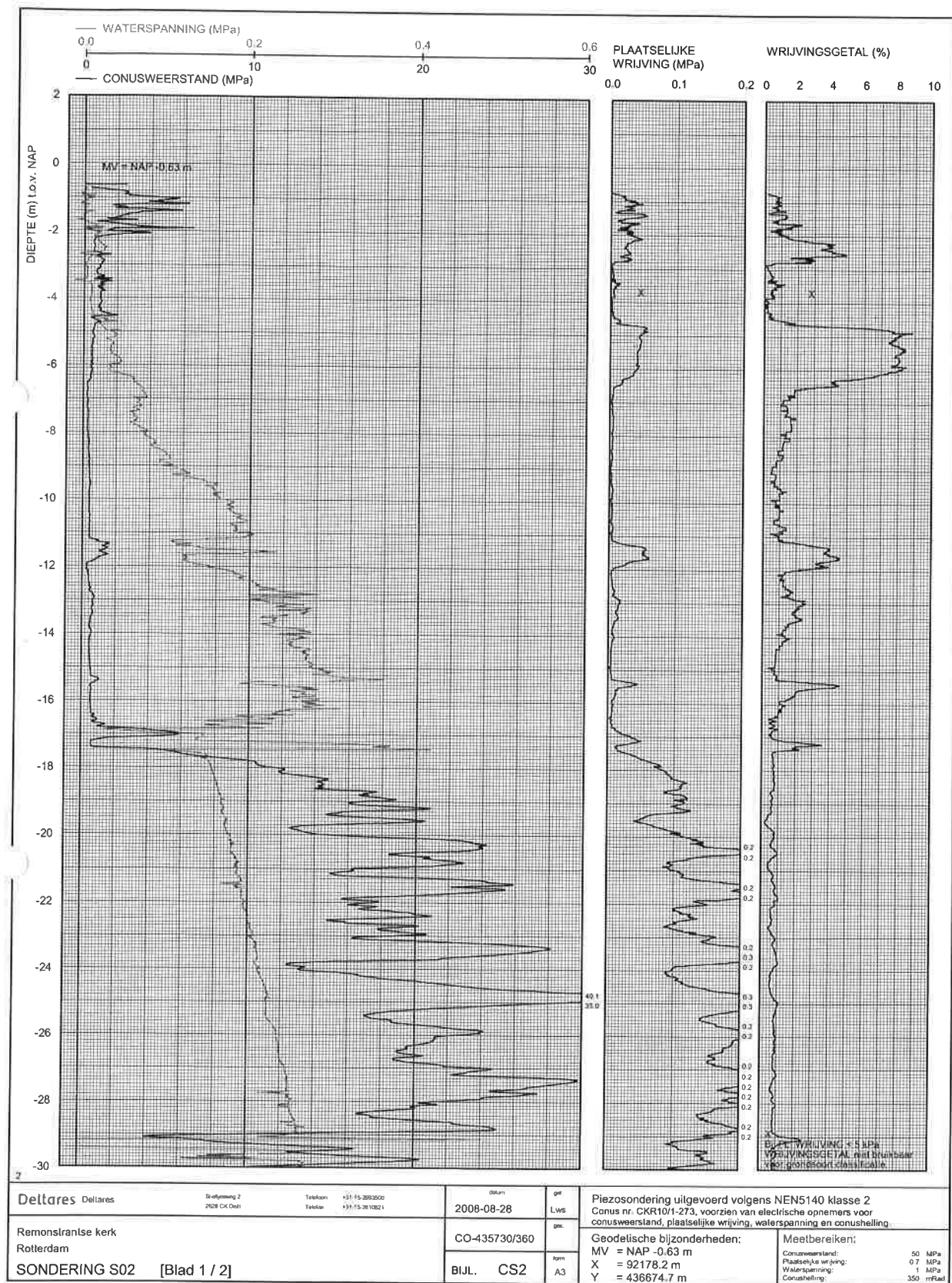


# **BIJLAGE SONDERINGEN**









bijlage 7



# **BIJLAGE**

## **UITVOERINGSRICHTLIJNEN**





## **ALGEMENE RICHTLIJNEN VOOR DE UITVOERING VAN GEHEIDE STALEN BUISPALEN**

### **Inleiding**

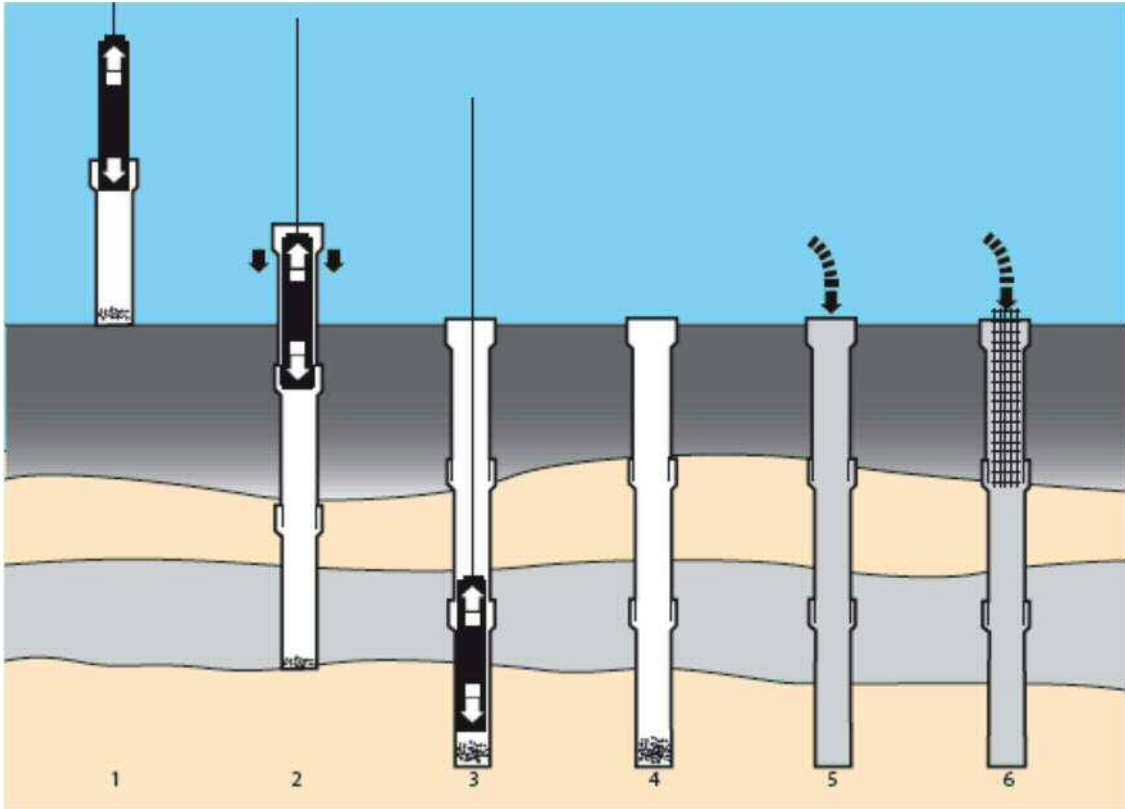
Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van de (inwendig) geheide stalen buispalen, wordt verwezen naar:

- NEN-EN 206: Beton – Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit;
- NEN – EN 1536: 2010 +A1: 2015 "Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Boorpalen";
- NEN-EN 1992-2-1+C2 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies,
  - Deel 1.1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - Nationale bijlage;
- NEN-EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies,
  - Deel 1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - Deel 5: Palen en damwanden;
  - Deel 8: Ontwerp en berekening van verbindingen;
- NEN-EN 1994-1-1+C1 Eurocode 4: Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies,
  - Deel 1.1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
  - NB Nationale bijlage;
- NEN 9997-1+C1: Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels;
- NEN-EN 12699: Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen;
- NPR 2053: Nationale praktijkrichtlijn NPR 2053 Lasverbindingen met betonstaal en stalen strippen;
- NVN 6724: Voorschriften beton – In de grond gevormde funderingselementen van beton of mortel – maart 2001;
- NEN-EN 10025: Koudvervaardigde gelaste buisprofielen voor constructiedoeleinden, deel 1 tot en met deel 5;
- NEN-EN 10080: Staal voor het wapenen van beton, Lasbaar betonstaal – Algemeen;
- NEN-EN 10219: Koudvervaardigde gelaste buisprofielen voor constructiedoeleinden, deel 1 tot en met deel 3.
- CUR 114: Toezicht op realisatie van paalfunderingen;
- CUR 162: Construeren met grond;
- CUR 228: Ontwerprichtlijn door grond horizontaal belaste palen;
- CUR 229 Axiaal draagvermogen van palen;
- CUR 2004-1: Beoordelingssysteem voor de begaanbaarheid van bouwterreinen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 1710: Het aanbrengen van stalen buissegmentpalen.

### **Omschrijving paalsysteem (inwendig) geheide stalen buispalen**

Stalen buispalen bestaan uit stalen buissegmenten met een lengte van circa 1,0 à 6,0 meter (lengte is afhankelijk van de situatie en beschikbare ruimte). Het eerste buissegment, voorzien van een aangelaste voetplaat, wordt de grond in geheid middels een inwendig valblok, dan wel met een heiblok op de paal, tot het maaiveld ingeheid. Wanneer de bovenzijde van het buissegment zich vlak boven het werkniveau bevindt, wordt het heien onderbroken. Vervolgens wordt hierop het volgende segment geplaatst en aan het eerste buissegment rondom met een doorgaande elektrisch vastgelast. In de regel is de verbinding een trompverbinding, echter alternatieve verbindingen zijn mogelijk. Deze werkwijze wordt herhaald tot het vereiste paalpuntniveau is bereikt. Tenslotte wordt de (verloren) stalen buis gevuld met beton en wordt, indien nodig, een wapeningskorf (kopnet) geplaatst.



Uitvoering (inwendig) geheide stalen buispalen:

1. Een stalen buis wordt geplaatst op het maaiveld. De buis is in het algemeen aan de onderzijde voorzien van een aangelaste stalen voetplaat. In bepaalde gevallen, vooral bij inwendig geheide buispalen kan ook een heiprop van grind of aardvochtige betonspecie in de voet worden geformeerd;
2. De buis wordt op diepte gebracht door heien. Er kan op de buis worden geheid of er kan gebruik worden gemaakt van een inwendig valblok. Bij een beperkte werkhooft kan de buis in segmenten worden aangebracht, waarbij de verbinding in het algemeen wordt gelast;
3. Vervolgens wordt hierop het volgende segment geplaatst en aan het eerste buissegment rondom met een doorgaande elektrisch vastgelast. In de regel is de verbinding een trompverbinding, echter alternatieve verbindingen zijn mogelijk. Deze werkwijze wordt herhaald tot het vereiste paalpuntniveau is bereikt; Indien het onderste segment geen aangelaste voetplaat heeft, kan desgewenst na het bereiken van het vereiste paalpuntniveau een bolvoet onder de buis worden geformeerd;
4. Het op (gewenste/vereiste) hoogte afbranden of afsnijden van de stalen buis. De palen kunnen, indien de situatie het toelaat direct op hoogte worden geheid. Uitvoering controle op gebreken, verontreinigingen, water en/of grond in de stalen buispaal;
5. De buis wordt gevuld met betonspecie;
6. Aanbrengen van de wapening. Bij lange wapeningslengtes kan deze eerst opgehangen worden en aansluitend kan de buis met betonspecie worden gevuld.

**Voor aanvang van het heiwerk**

De installatie van de palen moet zijn gebaseerd op een palenplan. Het plan behoort de volgende informatie te bevatten en dient voor aanvang van het installeren van de palen bekend te zijn:

- Het palenplan daarop aangegeven paaltype, paalafmetingen, paallengte, paalkop- en paalpuntniveaus ten opzichte van een vast peil, paalnummering en vereiste paal drukweerstand van de paal. Op het palenplan dienen de sondeerlocaties en de gedachte installatievolgorde tevens te zijn aangegeven, locatie en helling van iedere paal, inbegrepen de plaatsing toleranties;



- De relatie tussen maaiveldhoogte, werkhoogte, paalkop – en paalpuntniveaus t.o.v. een vast peil zoals Ref., NAP, etc.;
- Het grondonderzoek en het bijbehorende funderingsadvies;
- In te zetten materieel, valhoogte, (inwendig) valblok, type heiblok en/of snelslaghamer met bijbehorende massa en aantal slagen per minuut;
- De maaiveldhoogten ter plaatse van de te installeren palen en van de sondeerlocaties;
- Segmentlengtes, wanddiktes, staalkwaliteit, voetplaten, voetplaatdiktes, eventuele certificaten van de stalen buissegmenten;
- Gegevens over de wapening: aantal staven, staaflengte, beugels, h.o.h.– afstanden van de beugels, korfdiameter, certificaten, etc.;
- Gegevens over de betonvulling: leverancier, kwaliteit (C-waarde), consistentiegebied, milieuklasse, betondekking, etc.;
- De aanwezigheid van (mogelijke) obstructies in de ondergrond, aanwezigheid van archeologische restanten, mogelijke vervuiling in de ondergrond.

### **Installatievolgorde**

In principe dient het heiwerk per locatie te worden gestart ter plaatse van het diepst geadviseerde paalpuntniveau, en vervolgens dient van het diepste naar het hoogste niveau te worden geheid. De eerste paal dient zo dicht mogelijk bij een sondering te worden geïnstalleerd ("IJken"). Het waargenomen installatiegedrag kan, in combinatie met het sondeerbeeld, een indicatie geven voor de tussen de sondering te installeren palen. Dit kan door de palen tijdens het inheien te kalenderen en de daarbij verkregen kalenderwaarden vervolgens uit te zetten tegen de inheidiepte. Het zo verkregen kalenderbeeld wordt een slagdiagram genoemd. Bij eerste paal en alle overige nabij een sondeerlocatie gesitueerde palen, kalendert men bij voorkeur over een zo groot mogelijk traject tussen het maaiveld en het te bereiken paalpuntniveau. Nadat de kalenderwaarden van de eerste paal zijn verkregen wordt door de heibaas contact opgenomen met de constructeur en/of geotechnisch adviseur om het slagdiagram te beoordelen, dan wel een goedkeuring te verkrijgen. Tevens wordt dan vastgesteld aan de hand van dit slagdiagram, over welk traject de overige palen minimaal moeten worden gekalenderd.

### **Installatie van de palen**

De diameter, gewicht, valhoogte van het blok dient te worden afgestemd op de beschikbare werkhoogte(s),–ruimte(s), buisdiameter en de verwachten zwaarte van het heiwerk, zodanig dat het kapot heien van de palen en/of niet op diepte heien wordt vermeden, dan wel tot een minimum wordt beperkt.

### **Afwijkingen kalenderwaarden tijdens het heien**

Tijdens het inheien van de palen kunnen de kalenderwaarden worden gevonden die beter of slechter zijn dan de vereiste, dan wel verwachte kalenderwaarden. Een afwijkende kalenderwaarde kan worden veroorzaakt door hieronder beschreven factoren, te weten:

- Verandering van de bodemopbouw;
- Verschil in versheid van de heiprop;
- Wijziging lengte en/of samenstelling en/of vochtigheid van de heiprop;
- Scheefstand en/of kromheid van de paal;
- Optreden tijdelijke wateroverspanning op tijdens het heien;
- Verdichting zandpakket;





- Paalbreuk;
- Wisselde valhoogte heiblok.

### **Relatief lage kalenderwaarden**

Een relatief lage waarde van de (eind-) kalender hoeft niet direct aanleiding te zijn dat er sprake kan zijn van een te lage draagkracht. Wateroverspanning als gevolg van het heien van de paal kan de oorzaak zijn. Bij twijfel is het noodzakelijk contact op te nemen met de constructeur en/of de grondmechanisch adviseur. Het eventueel optreden van wateroverspanning verdient bij het heien naast belendingen extra aandacht, omdat het optreden van wateroverspanning kan leiden tot het tijdelijk afnemen van het draagvermogen van de bestaande (paal-)fundering.

In onderling overleg kan dan tot één of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

- Naheien van de paal (na circa 1 à 8 uur) en te kalenderen over een traject van 2 tochten van 0,05 m; op deze wijze kan worden onderzocht in hoeverre wateroverspanning de oorzaak is;
- Uitvoeren van controlesonderingen, liefst binnen 1 m van de paal, om te onderzoeken in hoeverre een afwijkende bodemopbouw de oorzaak is;
- De stalen buispaal visueel inspecteren om een mogelijke paalbreuk vast te stellen;
- Het installeren van één of meer extra palen;
- Uitvoeren van een statische en/of dynamische proefbelasting om de daadwerkelijke paaldrukweerstand van de paal vast te stellen.

### **In acht te nemen punten**

Bij de installatie van de palen dienen de volgende punten in acht te worden genomen:

- Van de eerste paal en alle overige dichtst nabij sondeerlocatie gesitueerde palen, dient een volledig slagdiagram gemaakt te worden;
- Voor de overige palen moet worden gekalenderd vanaf een zodanig niveau dat de overgang naar de draagkrachtige laag waarneembaar is of over een hoogte van minimaal  $8 \times D_{eq}$ . Zodoende ontstaat door een onderlinge vergelijking inzicht in de betrouwbaarheid van de inheiddiepte van palen tussen de sonderingen;
- Bij een verschil in inheiniveau tussen sonderingen dient bij voorkeur van "laag naar hoog" te worden gewerkt. Hiermee wordt voor de palen tussen deze sonderingen, een zo betrouwbaar mogelijk inheiniveau bereikt;
- Bij het nabij belendingen inheien van palen verdient het (veelal) de voorkeur het installeren van de palen te starten op de kleinste afstand van de belendingen en/of belendende funderingen en vervolgens een installatievolgorde te hanteren met, ten opzichte van de belendingen en/of belendende funderingen, toenemende afstand;
- Indien de funderingsgrondslag tussen de sondeerlocaties kan variëren, is controle hierop gewenst. Dit kan door om van de palen het aantal slagen per 0,25 m indringing vervolgens uit te zetten tegen heiddiepte; het verkregen diagram wordt een slagdiagram genoemd. Bij een goede keuze van heiblok (met voldoende slagenergie) zal onder gelijke omstandigheden meestal een duidelijke correlatie te zien zijn tussen slag- en sondeerdiagram;
- Opslag, transport en het onder de stelling brengen van de stalen buizen dient te geschieden conform de verwerkingsrichtlijnen van de leverancier;
- De stalen buizen dienen vooraf te worden gecontroleerd op (zichtbare) gebreken, de rechtheid van de buizen, de rondte van de stalen buizen, de voetplaat, etc.;
- Tijdens het heien van de palen dient gelet te worden op het in verticale zin verlopen en/of in horizontale vlak wegvloeden van de paal. Als gevolg van obstakels in de grond, gelaagdheid van de ondergrond, verschil in pakkingsdichtheid van de zandpakketten, kan de paalpunt uit de goede richting verlopen. De stalen buispaal kan





dan "gekromd" in de grond komen te staan. Een zekere afwijking van de ideale verticale lijn kan worden geaccepteerd (zie art. 5.12 BRL 1710). De controle op de grootte van de kromming van de paal kan worden uitgevoerd door het in de stalen buis laten zakken van een (zak-)lamp. Een gedeelte van de op de bodem van de stalen buispaal aanwezige heiprop moet nog te zien zijn. Door een berekening kan worden aangetoond dat de stalen buispaal voldoende capaciteit heeft of er aanvullende maatregelen nodig zijn.

- Om nodeloos zwaar heiwerk te vermijden dient sluitend geheid te worden. Bij bouwputten, paalgroepen, e.d. moet dus bij voorkeur van binnen naar buiten worden geheid;
- De heiprop is een buffer tussen de voetplaat en het valgewicht, dat als doel heeft de voetplaat te beschermen tegen de grote impact van het inwendige valblok. De heiprop dient te bestaan uit grind, met een mogelijke toevoeging van cement;
- De heiprop moet zo vaak als nodig worden "ververst" om de paal op diepte te kunnen heien;
- Stalen buispalen worden doorgaans op diepte geheid middels een inwendig valblok. De diameter van het valblok kan daarom niet groter zijn dan de inwendige diameter van de stalen buis. De diameter van het valblok moet niet te groot worden gekozen aangezien anders hei-energie verloren gaat, door wrijving van het blok langs de buiswand en/of doordat de lucht niet voldoende snel langs het valblok kan ontsnappen (luchtkussen- en/of zuigereffect). Het benodigde gewicht van het valblok moet daarom gezocht worden in de lengte, eventueel het toepassen van schakelblokken, mogelijk in combinatie met een loden kern stalen
- De volgorde van uitvoering dient zodanig te zijn dat door het aanbrengen van een paal, de positie, de draagkracht en de integriteit van nabij gelegen palen niet negatief wordt beïnvloed;
- Bij de overige palen kan worden volstaan met een slagdiagram waaruit de overgang naar de draagkrachtige (zand-)formatie blijkt en dat wordt doorgezet tot het paalpuntniveau. De slagdiagrammen dienen te worden vergeleken met de slagdiagrammen van de bijbehorende sondering(-en), waarbij de maximale afwijking in ongunstige zin van 1/3 is toegestaan;
- Als de stalen buispaal het gewenste paalpuntniveau heeft bereikt, dient de stalen buis te worden gevuld met beton en een wapeningskorf te worden aangebracht. Voordat de beton wordt gestort, dient de buis te worden gecontroleerd dat de paal schoon is en/of dat er geen water in de paal staat. In een buis waar meer dan 0,25 m water staat mag niet met beton worden gevuld. De stalen buis kan voor het heien al een gebrek hebben gehad, tijdens de installatie zijn lek geraakt, van bovenaf ingestroomd water, etc. In principe is het niet altijd nodig om de paal af te keuren. Er zijn diverse methodes om de paal te dichten en aansluitend de stalen buis leeg te pompen. De constructeur dient van deze situatie op de hoogte worden gesteld.

### **Heitoezicht**

Gezien de vele factoren die het heiwerk kunnen beïnvloeden, is deskundig toezicht dan ook gewenst. Toezicht kan plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 'Toezicht op de realisatie van paalfunderingen'.

### **Bijzondere uitvoering**

Voor het installeren van de palen diep in relatief vaste lagen, kan overwogen worden om aanvullende maatregelen te nemen, zoals:

- Waterinjectie; de indringingsweerstand wordt hierdoor (tijdelijk) gereduceerd. Een zeer beperkte hoeveelheid water wordt onder hogedruk via de paalpunt in de grond geïnjecteerd voor een tijdelijke verlaging van de wrijvingsweerstand. Hierbij mag geen grondtransport plaats vinden!
- Groutinjectie; een bepaalde hoeveelheid grout wordt onder hogedruk iets boven de punt geïnjecteerd, voor zowel een tijdelijke verlaging van de wrijvingsweerstand als een permanente verhoging van de draagkracht van de schachtwrijving;





### **Naastliggende gebouwen en omgeving**

Het installeren van de palen gaat gepaard met trillingen en geluid. Voor zover in het advies niet aan de orde is gesteld, dient te worden nagegaan of dit met het oog op de omgeving kan worden geaccepteerd. Voor de beoordeling van de toelaatbaarheid van trillingen voor wat betreft de kans op schade, is informatie noodzakelijk omtrent de constructieve opbouw, de bouwkundige staat en de funderingswijze van de bebouwing in de omgeving. Op basis hiervan kunnen aan de hand van SBR richtlijn Deel A "Schade aan gebouwen" trillingsnelheden worden bepaald (grenswaarden) waarvan in de praktijk is gebleken dat als deze niet worden overschreden de kans zeer klein is dat schade optreedt (<1%). Tijdens de uitvoering kunnen de trillingen –desgewenst door ons bureau– worden gemonitord. Voorafgaand aan de uitvoering kan eventueel een trillingsprognose worden uitgevoerd. Naast Deel A Schade aan gebouwen bevat de SBR-richtlijn een Deel B hinder voor personen en Deel C storing aan apparatuur. Regelgeving ten aanzien van geluid is opgenomen in onder meer de Wet Geluidhinder, gemeentelijke bepalingen in de APV, Circulaire Bouwlawaaai VROM, Wet Milieubeheer (stiltegebieden), Nationaal Milieubeleidsplan 4 (doelstellingen voor geluidsbelasting binnen de ecologische hoofdstructuur).

Het eventueel optreden van wateroverspanning verdient bij het heien naast belendingen extra aandacht, omdat het optreden van wateroverspanning kan leiden tot het tijdelijk afnemen van het draagvermogen van de bestaande (paal-) fundering. Het "meeheien" van de bestaande palen onder de belendingen en/of het optreden van ongewenste vervormingen van de bestaande funderingspalen en/of verdichting van de funderingslaag, leidt een risico op bouwkundige schade van de bestaande belendingen.

### **Controle**

Bij de geheide stalen buispalen, kan de kwaliteit te worden gecontroleerd middels een visuele inspectie. Eventuele onregelmatigheden in en van de stalen buis kunnen hiermede worden vastgesteld. Het aantal te inspecteren palen wordt mede bepaald door eventuele onregelmatigheden tijdens de uitvoering.

De installatie van alle palen moet door metingen zijn gemonitord en de meetresultaten moeten zijn vastgelegd. Het rapport voor iedere paal behoort de uitvoeringsaspecten te bevatten, zoals die zijn aangegeven in de uitvoeringsnorm NEN-EN 12699 "Uitvoering van bijzonder geotechnische werken – verdringingspalen" en Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 1710, voor het KOMO-procescertificaat voor "het aanbrengen van stalen buissegmentpalen"

### **Tot slot**

Bij twijfel omtrent de kwaliteit c.q. het draagvermogen, dient contact te worden opgenomen met de constructeur en/of Bouw- en woningtoezicht en/of grondmechanisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot één of meer maatregelen worden besloten.

