RAPPORT

PAALDRUKWEERSTAND (NEN 9997-1:2016/C2:2017)

Project:

Amsterdam

Centrumeiland IJburg, kavel 09-09

Nieuwbouw woonhuis

Projectnummer : *W2022.117*

Volgnummer : 1

Datum : 18 februari 2022

Opdrachtgever : 5.1, 2, e 5.1, 2, e
5.1, 2, e
5.1, 2, e
Tel. 5.1, 2, e

Opgesteld door : ing. 5.1, 2, e

5.1, 2, e

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,
  - 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(+NB) 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 9997-1:2016+C2:2017: 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 6008: Betonstaal;
- NEN 6741: Het uitvoeren van houten paalfunderingen;
- NEN 6742: Het uitvoeren van funderingen met geprefabriceerde betonnen palen;
- NEN 8005+C1: Nederlandse invulling van NEN-EN 206: Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit;
- NEN 8700: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen;
- NEN 8701: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren – Belastingen;
- NEN 8707: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Geotechnische constructies;
- NEN–EN 10025: Warmgewalste producten van constructiestaal, 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.

5.1, 2, e

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.

5.1, 2, e

PAAL*DRUK*WEERSTANDEN

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 kleef wel zijn meegenomen in het analyseren van de verwachte vervormingen.

In geval van negatieve kleef 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 paal*druk*weerstand van de drukpalen, $R_{c;d}$, als de rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting 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 paal*druk*weerstand. De toetsing om aan te tonen dat de paalfundering de rekenwaarde van de belasting met voldoende veiligheid tegen bezwijken op druk kan weerstaan $\left(F_{c;d} \leq R_{c;d}\right)$ verandert daardoor in:

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

De rekenwaarde van de paal*druk*weerstand ($R_{c;d}$), 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 γ_b en γ_s (en γ_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 maximum*druk*weerstand, de maximumpuntweerstand en de maximumwrijvingskracht mogen zijn berekend uit:

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

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 ξ_3 en ξ_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 $R_{c;cal;gem} = \left(R_{b;cal} + R_{s;cal}\right)_{gem} = \left(R_{b;cal}\right)_{gem} + \left(R_{s;cal}\right)_{gem}$
- de laagste waarden $R_{c;cal;\min} = \left(R_{b;cal} + R_{s;cal}\right)_{\min}$

Opmerking: Voor de waarden van ξ_3 en ξ_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 :

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

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 m²;
$q_{b;max;\ i}$ = de maximale puntweerstand bij sondering *i* in kN/m²;
$O_{s;\Delta L;gem}$ = de gemiddelde omtrek van het gedeelte van de paalschacht in de laag, waarin de paalvoet is geplaatst, in m;
ΔL = 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 ΔL 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 ΔL 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.

5.1, 2, e

Bepaling van de maximum puntweerstand

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

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

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 conusweerstanden 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 conusweerstanden 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 conusweerstanden 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;

α_p = de paalklassefactor, bepaald volgens *Tabel 7.c*, NEN 9997–1;

β = 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:

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

waarin:

$q_{s;max;z}$ = de maximale paalschachtwrijving in MPa;

α_s = de factor volgens *Tabel 7.c*, NEN 9997–1die de invloed van de uitvoering of paaltype in rekening brengt;

$q_{r;c;z;\alpha}$ = 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 qc–waarde met een maximum van 15 MPa (zie figuur 7.j).

5.1, 2, e

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:

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

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

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_{ij} = de dikte van de grondlaag *j*, in m;

n = aantal grondlagen waarin de negatieve kleef werkt;

$K_{o;j;k}$ = 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: $\delta_{i;k} = 0{,}75\ \varphi_{i;k}$ de omtrek van de buitenonderrand van de buis, of de omtrek van de avegaar;
  Waarbij de waarde van ($K_{o;j;rep} \tan \delta_{j;rep}$) 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:

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

Voor laag *j* = *k*:

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

5.1, 2, e

Onder laag *j* = *k*:

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

waarin:

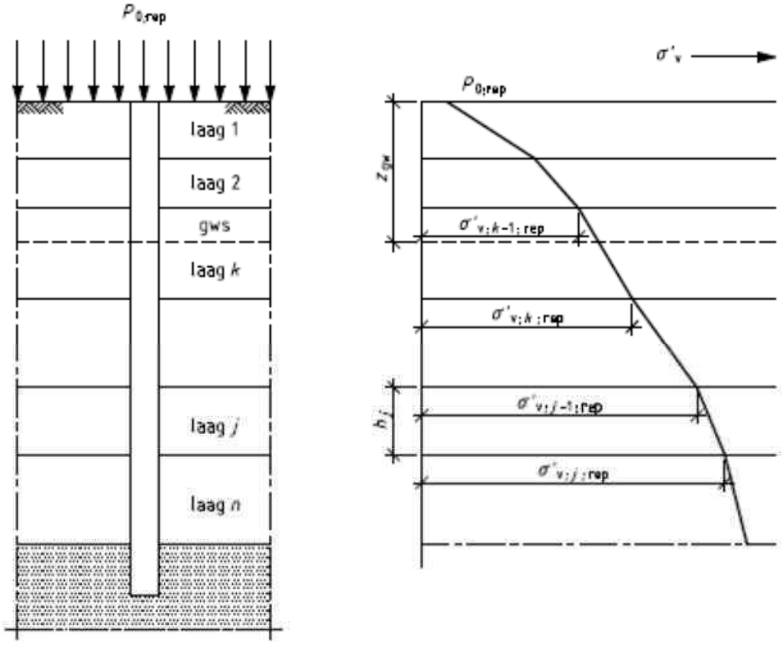
$\gamma'_{j;rep}$ = de karakteristieke waarde van het effectief volumiek gewicht van de grond van laag *j* bepaald volgens 3.1 van NEN 9997–1:
- boven de grondwaterstand is $\gamma'_{j;k} = \gamma_{j;k}$;
- onder de grondwaterstand is $\gamma'_{j;k} = \gamma_{j;sat;k} - \gamma_w$
  waarbij γ_w is het volumiek gewicht van het grondwater, in kN/m³

$\gamma_{j;sat;k}$ = de karakteristieke waarde van het verzadigd volumiek gewicht van de grond van laag *j* bepaald volgens 3.1 van NEN 9997–1, in kN/m³;

$\gamma_{j;k}$ = de karakteristieke waarde van het volumiek gewicht van de grond van laag *j* bepaald volgens 3.1 van NEN 9997–1, in kN/m³;

$\rho_{sur;rep}$ = de representatieve waarde van de belasting door een grondophoging of ten gevolge van opslag van goederen op het maaiveld, in kN/m²;

z_{gw} = de diepte van de freatische grondwaterstand onder het maaiveld, m.



Figuur 7.a — Bepaling van σ'_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:

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

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_{ij} = de dikte van de grondlaag *j*, in m;

$a_{j;rep}$ = de representatieve waarde van de adhesie van laag *j*, in kN/m², met;
- $a_{j;rep}$ = 20 × 10³ N/m² voor bentoniet;
- $a_{j;rep}$ = 10 × 10³ N/m² voor asfaltmastiek.

5.1, 2, e

H.o.h–afstanden

Bij het in de grond brengen van funderingspalen zijn voor de omgeving van de vervormingen, welke tijdens het inbrengen optreden in de ondergrond van belang. Het risico van schade blijft beperkt, indien voldoende afstand tussen de nieuw te installeren palen en de palen onder de dragende bestaande bebouwing wordt gehandhaafd. Indien onvoldoende afstand wordt aangehouden tot bestaande dragende palen en bij een onzorgvuldige uitvoering kan dit leiden tot ongewenste vervormingen, met als mogelijk gevolg bouwkundige schade. In de vigerende landelijke en Europese regelgeving zijn geen afstanden aangegeven die aangehouden dienen te worden, waardoor dit een zaak is van ervaring en deskundigheid. Hierbij wordt kortheidshalve verwezen naar de deskundigheid van de constructeur om dusdanige afstanden aan te houden, dat het schaderisico binnen de normaal geaccepteerde grenzen valt.

Als indicatie ter bepaling van de minimale hart–op–hart–paalafstanden ten opzichte van de bestaande funderingen kunnen de, in onderstaande tabellen, aangegeven praktische waarden worden aangehouden.

In te brengen paal naar hetzelfde paalpuntniveau of hoger dan de belending			
Bestaand Paaltype	In te brengen paaltype		
	Houten paal	Grondverdringende paal	Grondverwijderende paal
Houten paal	$2{,}25 \times D_b + 2{,}25 \times D_n$	$2{,}0 \times D_b + 2{,}0 \times D_n$	$4{,}5 \times D_b + 4{,}5 \times D_n$
Overige palen	$2{,}0 \times D_b + 2{,}0 \times D_n$	$2{,}0 \times D_b + 2{,}0 \times D_n$	$4{,}5 \times D_b + 4{,}5 \times D_n$
In te brengen paal naar een dieper paalpuntniveau of dieper gelegen zandlaag dan de belending			
Bestaand Paaltype	In te brengen paaltype		
	Houten paal	Grondverdringende paal	Grondverwijderende paal
Houten paal	$3{,}5 \times D_b + 3{,}5 \times D_n$	$3{,}5 \times D_b + 3{,}5 \times D_n$	$6{,}0 \times D_b + 1{,}5 \times D_n$
Overige palen	$3{,}0 \times D_b + 3{,}0 \times D_n$	$3{,}0 \times D_b + 3{,}0 \times D_n$	$6{,}0 \times D_b + 1{,}5 \times D_n$

Toelichting bij de tabellen:

- Dieper gelegen zandlaag: indien q_c van de tussenlaag < 2.0 MPa c.q. andere geologische formatie;
- D_b = equivalente paalpuntdiameter van de bestaande paal;
- D_n = equivalente paalpuntdiameter van de in te brengen paal;
- Grondverdringende palen zijn palen waarbij de puntdiameter ≤ 110 % van de schachtdiameter
- Grondverwijderende palen zijn avegaarpalen, boorpalen en pulspalen.
- Indien de plaats van de palen onder de belending niet bekend is, moet worden gerekend vanaf buitenkant bouwmuur van de belending

Bij het in de grond brengen van funderingspalen zijn voor de omgeving van de vervormingen, welke optreden in de ondergrond van belang. Deze kunnen leiden tot vervorming van de bestaande fundering met als mogelijk gevolg schade aan de belending. Het risico van schade blijft beperkt, indien voldoende afstand tussen de nieuw te installeren palen en de palen onder de bestaande bebouwing wordt gehandhaafd. Bovendien verdient het de voorkeur met de nieuw te installeren palen het basisniveau van de palen onder de belending niet te passeren.

Van invloed zijn ook de staat van het betreffende pand en/of de kwaliteit van de uitvoering.

Het advies is om de hierboven gegeven minimumafstanden ruim aan te houden. Het toepassen van de in de tabellen genoemde paalafstanden vormen geen garantie voor het uitblijven van schade.

Afhankelijk van de situatie ter plaatse en afhankelijk van het materieel waarmee de palen worden geïnstalleerd kan het noodzakelijk zijn afstand tussen de nieuw in te brengen palen en de bestaande belending/bebouwing groter te kiezen.

Technosoft Paalfunderingen release 6.70a 18 feb 2022

ALGEMENE GEGEVENS

Project : W2022.117 Amsterdam - Centrumeiland IJburg, kavel 09-09 - Nieuwbouw woonhuis
Onderdeel : Geheide prefab betonpalen - Paaldrukweerstanden
Datum : 18-02-2022
Berekeningstype : Verticaal belaste paal
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Geotechniek	EN 1997-1:2004	AC:2009	
	NEN-EN 1997-1:2005	C1+A1:2013	NB:2016
	NEN 9997-1:2016	C2:2017	

Uitgangspunten

Op basis van de sondeerresultaten komt een fundering op palen in aanmerking. Gelet op de projectgegevens en de opbouw en samenstelling van de ondergrond is een fundering op geprefabriceerde betonpalen, vanuit geotechnisch oogpunt, een goede mogelijkheid. Voorwaarde voor het toepassen van een geheid paalsysteem is, dat (enige) heitrillingen en geluidshinder in de (directe) omgeving toelaatbaar moeten zijn. Indien heitrillingen c.q. geluidshinder niet wenselijk, dan wel toelaatbaar wordt geacht, dan is het advies om schade ten gevolge van het heiwerk te voorkomen, een trillingsvrij paalsysteem toe te passen.

Het advies is om navraag te doen, bij bijvoorbeeld de gemeente, naar de lokale ervaringen aangaande de uitvoerbaarheid van geheide geprefabriceerde betonpalen en dit met de beoogde paalleverancier te overleggen. Verder dient voor een probleemloze installatie, rekening gehouden te worden met de lokale omstandigheden (zoals toegang, werkruimte, etc.).

De berekening van de paal*druk*weerstand is op de volgende uitgangspunten gebaseerd:

- het project valt in de geotechnische categorie 2;
- er wordt uitgegaan van een niet–stijf bouwwerk;
- de correlatiefactoren ξ_3 en ξ_4 zijn afhankelijk 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) zijn ξ_3 en ξ_4. Voor de waarden van ξ_3 en ξ_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;
- de palen worden verticaal, centrisch, op druk belast. Momenten, trekbelastingen en horizontale belastingen zijn niet beschouwd;
- de palen worden heiend, zonder toevoeging van water en/of boren tot de geadviseerde diepte in de grond gebracht;
- in de berekening van de paaldrukweerstand is geen rekeningen gehouden met eventuele verdichting door het groepseffect;
- de toetsing, om aan te tonen dat de paalfundering de rekenwaarde van de belasting met voldoende veiligheid tegen bezwijken op druk kan weerstaan, $F_{c;d}$ ($=F_d + F_{nk;d}$) $\leq R_{c;d}$, hiermee is tevens voldaan aan grenstoestand 1A.
- de vervormingsgrenstoestanden zijn, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend.

In het ontwerpstadium zijn in het algemeen geen gedetailleerde gegevens beschikbaar met betrekking tot het palenplan, de exacte paalbelastingen, de gebouwstijfheid en de vervormingseisen. Derhalve wordt in dit stadium van het project volstaan met de toetsing van de uiterste grenstoestand (UGT) type B op sterkte. Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en Avegaarpalen met relatief kleine diameter, is deze grenstoestand veelal maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.

5.1, 2, e

Gezien de bodemopbouw, is de verwachting dat de maaiveldzakking, na installatie van de palen meer dan 0,1 m kan bedragen, daarom is in de berekening paaldrukweerstand van de funderingspalen, rekening gehouden met het optreden van negatieve kleef. Bij de verificatie van de grenstoestanden moet bij op druk belaste palen, de maximumwaarde van de negatieve kleef F_{nk} zijn beschouwd als een belasting op de paal. Als gevolg van de aanwezigheid van samendrukbare lagen worden de palen met negatieve kleef belast en wordt de paaldrukweerstand en het last–zakkinggedrag van de palen ongunstig beïnvloed.

De representatieve waarde van de negatieve kleef $F_{nk;rep}$ is berekend volgens hoofdstuk § 7.3.2.2 van NEN 9997–1. Op deze representatieve waarde van de negatieve kleef moeten voor de bepaling van de rekenwaarde de volgende partiële factoren voor de belasting zijn toegepast:

- uiterste grenstoestanden : $\gamma_{f;nk} = 1,4$;
- bruikbaarheidstoestanden: $\gamma_{f;nk} = 1,0$;

De berekening van de representatieve waarde van de negatieve kleef $F_{nk;rep}$ is berekend volgens § 7.3.2.2 van NEN 9997–1 (slipmethode). Voor de partiële belastingsfactor $\gamma_{f;nk}$ is, conform § 7.3.2.2 (b) van NEN 9997–1, de waarde 1,4 aangehouden.

Voor de berekening van de negatieve kleef is de grondwaterstand aangenomen op een niveau van NAP –0,4 m. De negatieve kleef $F_{nk;d}$ is berekend voor een bodemprofiel, waarbij vanaf maaiveld tot NAP –10,4 m, een samendrukbaar pakket is aangehouden.

De maximumpaalschachtwrijving ($q_{s;cal;max;z;i}$) is met de procentenmethode voor 100% berekend vanaf NAP –23,0 m tot de aangegeven paalpuntniveaus. Hierbij is voor geheide geprefabriceerde betonpalen een factor gehanteerd van $\alpha_s = 0,010$.

De maximumpuntweerstanden zijn, voor geheide geprefabriceerde betonpalen, berekend met een paalklassefactor $\alpha_p = 0,70$; voor de overige paalfactoren geldt: $\beta = s = 1,0$.

De paal*druk*weerstanden van een axiaal belaste paal of axiaal belaste palen, zijn berekend volgens NEN 9997–1: 2016/C2:2017 "Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1 Algemene regels", waarbij de volgende factoren zijn gehanteerd:

- $\xi_3 = \xi_4 = 1,39$ (o.b.v. 1 sondering, niet–stijf bouwwerk);
- materiaalfactoren $\gamma_s = \gamma_t = \gamma_b = 1,20$.

De resultaten van de berekening van de paal*druk*weerstanden worden tabellarisch gepresenteerd. In de berekening zijn per sondering de negatieve kleef, de maximumpaalschachtwrijving en de maximumpuntweerstand, de rekenwaarden van de netto paal*druk*weerstand $R_{c;net;d}$ (op paalkopniveau) berekend.

Het op diepte heien van de geprefabriceerde betonpalen zal naar verwachting kunnen worden uitgevoerd met bij voorkeur een (traploos regelbaar) hydraulisch heiblok, dan wel met een dieselheiblok. De definitieve keuze van het toe te passen heiblok kan het beste aan het uitvoerende bedrijf worden overgelaten.

Om problemen te voorkomen moet het diepste inheiniveau worden aangehouden tot de sondering die een hoger niveau uitwijst.

Vanwege de grote variatie in de funderingsgrondslag dient rekening te worden gehouden met een mogelijk grote variatie in heiweerstand. Aanpassingen van paalpuntniveaus op basis van kalenderwaarden zijn daardoor risicovol. Afwijkingen ten opzichte van het geadviseerde paalpuntniveau mogen daarom slechts worden toegepast, mits degelijk onderbouwd (bij voorkeur aan de hand van (controle)sonderingen).

5.1, 2, e

Gezien de grondopbouw en mogelijk optredende verdichting van de grondopbouw ten gevolge van het inbrengen van de palen, dient rekening te worden gehouden met een reële kans op zwaar heiwerk; een en ander is mede afhankelijk van de dichtheid van het palenstramien, het paalpuntniveau en de gradatie van het zand van de funderingszandlaag.

Indien men de palen middels een hulpstuk, een zogenaamde 'hoerenjong', verdiept wil heien, dan kan dit leiden tot een aanzienlijk verlies van de effectieve hei–energie. Daarnaast verhoogt men hierdoor het risico van het kapot heien van de palen

Om het risico op paalbreuk bij het doorheien van de veelal dicht gepakte oppervlaktezandlaag en de trillinghinder (via de oppervlaktezandlaag) naar de omgeving te reduceren adviseren wij om de heiweerstand van de oppervlaktezandlaag te verminderen door de paallocaties, voorafgaand aan het heien van elke paal, voor te boren tot circa NAP – 4,0 m. Eenmaal op diepte kan de avegaar iets worden opgetild, en vervolgens terugdraaiend worden getrokken.

De toelaatbare slankheid van de paal dient, vooraf met de (beoogde) palenleverancier en/of heier, te worden besproken.

SONDERINGSGEGEVENS ALGEMEEN: 1

```
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.
Hoogte maaiveld [m]     :   2.17     Bodemprofiel: 1
Traject negatieve kleef :   2.17     tot   -10.40 [m]
Traject positieve kleef : -23.00     tot   -30.46 [m]
```

SONDERINGSGEGEVENS ALGEMEEN: 2

```
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.
Hoogte maaiveld [m]     :   2.29     Bodemprofiel: 2
Traject negatieve kleef :   2.29     tot   -10.40 [m]
Traject positieve kleef : -23.00     tot   -30.49 [m]
```

5.1, 2, e

PAALGEGEVENS Geheide prefab betonpaal # 350 mm

Type		: Geheide paal (beton)
Wijze van installeren		: Heien
Afmeting a	[m]	: 0.350
Afmeting b	[m]	: 0.350
Elasticiteitsmodulus	[N/mm²]	: 20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Factor α_t (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.0070 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Paalklassefactor α_p		: 0.70
Paalvoetvormfactor β		: 1.00
Type lastzakkingsdiagram		: Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$		: 0.75

PAALGEGEVENS Geheide prefab betonpaal # 400 mm

Type		: Geheide paal (beton)
Wijze van installeren		: Heien
Afmeting a	[m]	: 0.400
Afmeting b	[m]	: 0.400
Elasticiteitsmodulus	[N/mm²]	: 20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Factor α_t (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.0070 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Paalklassefactor α_p		: 0.70
Paalvoetvormfactor β		: 1.00
Type lastzakkingsdiagram		: Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$		: 0.75

PAALGEGEVENS Geheide prefab betonpaal # 450 mm

Type		: Geheide paal (beton)
Wijze van installeren		: Heien
Afmeting a	[m]	: 0.450
Afmeting b	[m]	: 0.450
Elasticiteitsmodulus	[N/mm²]	: 20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Factor α_t (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.0070 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Paalklassefactor α_p		: 0.70
Paalvoetvormfactor β		: 1.00
Type lastzakkingsdiagram		: Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$		: 0.75

PAALGEGEVENS Geheide prefab betonpaal # 500 mm

Type		: Geheide paal (beton)
Wijze van installeren		: Heien
Afmeting a	[m]	: 0.500
Afmeting b	[m]	: 0.500
Elasticiteitsmodulus	[N/mm²]	: 20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Factor α_t (tabel 7.c EC 7.1)		: 0.0070 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Paalklassefactor α_p		: 0.70
Paalvoetvormfactor β		: 1.00
Type lastzakkingsdiagram		: Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$		: 0.75

5.1, 2, e

REKENGEGEVENS # 350

Berekening : Ontwerpend
Rekenmethode : Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en) : 1, 2

Stijf bouwwerk : NEE
Paalgroep : NEE
Aantal sonderingen : 2
Factor $\xi_{3\ (n=1)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{3\ (gem)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$: 1.39 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R : 1.20
$\gamma_{f;nk}$: 1.4
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.75 * $R_{b;cal;max;i}$: NEE
UGT draagvermogen zonder negatieve kleef : NEE

Paal : Geheide prefab betonpaal # 350 mm
Niveau paalkop [m] : N.A.P. 2.10
Bovenbel. [kN/m²] : 0.00

PAALPUNTNIVEAUS Geheide prefab betonpaal # 350 mm

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v. : N.A.P.

Nr	Beginniveau [m]	Eindniveau [m]	Stapgrootte [m]
1	-25.50	-28.00	0.25

RESULTATEN # 350 (n=1)

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Sondering	1	2
Niveau [m]	$F_{netto;d}$ [kN]	$F_{netto;d}$ [kN]
-25.50	**681**	536
-25.75	**765**	604
-26.00	**837**	700
-26.25	**884**	843
-26.50	**916**	875
-26.75	**947**	906
-27.00	**979**	937
-27.25	**1010**	969
-27.50	**1042**	1000
-27.75	**1073**	1032
-28.00	**1105**	1063

5.1, 2, e

SAMENVATTINGSTABEL # 350 (n=1)

Uitgangspunten

- paal : Geheide prefab betonpaal # 350 mm
- paaltype : Geheide paal (beton)
- schachtafmeting : 350 x 350

Paalklassefactor α_p : 0.70

Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)

Correlatiefactor $\xi_{3\,(n=1)}$: 1.39

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	Bezwijkdraagvermogen $R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]	$R_{c;cal}$ [kN]	Rekenwaarden $R_{c;d}$ [kN]	$F_{nk;d}$ [kN]	$R_{c;netto;d}$ [kN]
1	2.17	-25.50	1654.9	303.3	1958.3	1174.0	-493.5	680.5
		-25.75	1743.0	355.8	2098.8	1258.3	-493.5	764.8
		-26.00	1810.5	408.3	2218.8	1330.2	-493.5	836.7
		-26.25	1837.5	460.8	2298.3	1377.9	-493.5	884.4
		-26.50	1837.5	513.3	2350.8	1409.4	-493.5	915.9
		-26.75	1837.5	565.8	2403.3	1440.8	-493.5	947.3
		-27.00	1837.5	618.3	2455.8	1472.3	-493.5	978.8
		-27.25	1837.5	670.8	2508.3	1503.8	-493.5	1010.3
		-27.50	1837.5	723.3	2560.8	1535.3	-493.5	1041.8
		-27.75	1837.5	775.8	2613.3	1566.7	-493.5	1073.2
		-28.00	1837.5	828.3	2665.8	1598.2	-493.5	1104.7
2	2.29	-25.50	1483.2	274.7	1757.9	1053.9	-517.7	536.2
		-25.75	1543.9	327.2	1871.1	1121.8	-517.7	604.1
		-26.00	1650.9	379.7	2030.6	1217.4	-517.7	699.7
		-26.25	1837.5	432.2	2269.7	1360.7	-517.7	843.1
		-26.50	1837.5	484.7	2322.2	1392.2	-517.7	874.5
		-26.75	1837.5	537.2	2374.7	1423.7	-517.7	906.0
		-27.00	1837.5	589.7	2427.2	1455.2	-517.7	937.5
		-27.25	1837.5	642.2	2479.7	1486.6	-517.7	969.0
		-27.50	1837.5	694.7	2532.2	1518.1	-517.7	1000.4
		-27.75	1837.5	747.2	2584.7	1549.6	-517.7	1031.9
		-28.00	1837.5	799.7	2637.2	1581.1	-517.7	1063.4

5.1, 2, e

REKENGEGEVENS # 400

Berekening : Ontwerpend
Rekenmethode : Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en) : 1, 2

Stijf bouwwerk : NEE
Paalgroep : NEE
Aantal sonderingen : 2
Factor $\xi_{3\ (n=1)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{3\ (gem)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$: 1.39 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R : 1.20
$\gamma_{f;nk}$: 1.4
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.75 * $R_{b;cal;max;i}$: NEE
UGT draagvermogen zonder negatieve kleef : NEE

Paal : Geheide prefab betonpaal # 400 mm
Niveau paalkop [m] : N.A.P. 2.10
Bovenbel. [kN/m²] : 0.00

PAALPUNTNIVEAUS Geheide prefab betonpaal # 400 mm

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v. : N.A.P.

Nr	Beginniveau [m]	Eindniveau [m]	Stapgrootte [m]
1	-25.50	-28.00	0.25

RESULTATEN # 400 (n=1)

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Sondering	1	2
Niveau [m]	$F_{netto;d}$ [kN]	$F_{netto;d}$ [kN]
-25.50	**907**	729
-25.75	**1003**	807
-26.00	**1083**	922
-26.25	**1191**	1065
-26.50	**1227**	1150
-26.75	**1263**	1215
-27.00	**1298**	1251
-27.25	**1334**	1287
-27.50	**1370**	1323
-27.75	**1406**	1359
-28.00	**1442**	1395

5.1, 2, e

SAMENVATTINGSTABEL # 400 (n=1)

Uitgangspunten

- paal : Geheide prefab betonpaal # 400 mm
- paaltype : Geheide paal (beton)
- schachtafmeting : 400 x 400

Paalklassefactor α_p : 0.70

Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)

Correlatiefactor $\xi_{3\,(n=1)}$: 1.39

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	Bezwijkdraagvermogen $R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]	$R_{c;cal}$ [kN]	Rekenwaarden $R_{c;d}$ [kN]	$F_{nk;d}$ [kN]	$R_{c;netto;d}$ [kN]
1	2.17	-25.50	2106.8	346.6	2453.5	1470.9	-564.0	906.9
		-25.75	2207.6	406.6	2614.2	1567.3	-564.0	1003.3
		-26.00	2280.5	466.6	2747.1	1647.0	-564.0	1083.0
		-26.25	2400.0	526.6	2926.6	1754.6	-564.0	1190.6
		-26.50	2400.0	586.6	2986.6	1790.6	-564.0	1226.6
		-26.75	2400.0	646.6	3046.6	1826.5	-564.0	1262.5
		-27.00	2400.0	706.6	3106.6	1862.5	-564.0	1298.5
		-27.25	2400.0	766.6	3166.6	1898.5	-564.0	1334.5
		-27.50	2400.0	826.6	3226.6	1934.4	-564.0	1370.4
		-27.75	2400.0	886.6	3286.6	1970.4	-564.0	1406.4
		-28.00	2400.0	946.6	3346.6	2006.4	-564.0	1442.4
2	2.29	-25.50	1888.6	314.0	2202.5	1320.5	-591.6	728.8
		-25.75	1958.6	374.0	2332.5	1398.4	-591.6	806.8
		-26.00	2091.6	434.0	2525.5	1514.1	-591.6	922.5
		-26.25	2268.8	494.0	2762.7	1656.3	-591.6	1064.7
		-26.50	2351.7	554.0	2905.6	1742.0	-591.6	1150.3
		-26.75	2400.0	614.0	3014.0	1806.9	-591.6	1215.3
		-27.00	2400.0	674.0	3074.0	1842.9	-591.6	1251.3
		-27.25	2400.0	734.0	3134.0	1878.9	-591.6	1287.2
		-27.50	2400.0	794.0	3194.0	1914.8	-591.6	1323.2
		-27.75	2400.0	854.0	3254.0	1950.8	-591.6	1359.2
		-28.00	2400.0	914.0	3314.0	1986.8	-591.6	1395.2

5.1, 2, e

REKENGEGEVENS # 450

Berekening : Ontwerpend
Rekenmethode : Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en) : 1, 2

Stijf bouwwerk : NEE
Paalgroep : NEE
Aantal sonderingen : 2
Factor $\xi_{3\ (n=1)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{3\ (gem)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$: 1.39 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R : 1.20
$\gamma_{f;nk}$: 1.4
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.75 * $R_{b;cal;max;i}$: NEE
UGT draagvermogen zonder negatieve kleef : NEE

Paal : Geheide prefab betonpaal # 450 mm
Niveau paalkop [m] : N.A.P. 2.10
Bovenbel. [kN/m²] : 0.00

PAALPUNTNIVEAUS Geheide prefab betonpaal # 450 mm

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v. : N.A.P.

Nr	Beginniveau [m]	Eindniveau [m]	Stapgrootte [m]
1	-25.50	-28.00	0.25

RESULTATEN # 450 (n=1)

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Sondering	1	2
Niveau [m]	$F_{netto;d}$ [kN]	$F_{netto;d}$ [kN]
-25.50	**1165**	950
-25.75	**1274**	1040
-26.00	**1365**	1180
-26.25	**1542**	1340
-26.50	**1582**	1444
-26.75	**1623**	1544
-27.00	**1663**	1610
-27.25	**1704**	1650
-27.50	**1744**	1691
-27.75	**1785**	1731
-28.00	**1825**	1772

5.1, 2, e

SAMENVATTINGSTABEL # 450 (n=1)

Uitgangspunten

- paal : Geheide prefab betonpaal # 450 mm
- paaltype : Geheide paal (beton)
- schachtafmeting : 450 x 450

Paalklassefactor α_p : 0.70

Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)

Correlatiefactor $\xi_{3\,(n=1)}$: 1.39

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	Bezwijkdraagvermogen $R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]	$R_{c;cal}$ [kN]	Rekenwaarden $R_{c;d}$ [kN]	$F_{nk;d}$ [kN]	$R_{c;netto;d}$ [kN]
1	2.17	-25.50	2612.2	390.0	3002.2	1799.9	-634.5	1165.4
		-25.75	2725.7	457.5	3183.2	1908.4	-634.5	1273.9
		-26.00	2810.6	525.0	3335.6	1999.7	-634.5	1365.2
		-26.25	3037.5	592.5	3630.0	2176.2	-634.5	1541.7
		-26.50	3037.5	660.0	3697.5	2216.7	-634.5	1582.2
		-26.75	3037.5	727.5	3765.0	2257.2	-634.5	1622.7
		-27.00	3037.5	795.0	3832.5	2297.7	-634.5	1663.1
		-27.25	3037.5	862.5	3900.0	2338.1	-634.5	1703.6
		-27.50	3037.5	930.0	3967.5	2378.6	-634.5	1744.1
		-27.75	3037.5	997.5	4035.0	2419.1	-634.5	1784.5
		-28.00	3037.5	1065.0	4102.5	2459.5	-634.5	1825.0
2	2.29	-25.50	2342.3	353.2	2695.5	1616.0	-665.6	950.4
		-25.75	2423.8	420.7	2844.5	1705.3	-665.6	1039.8
		-26.00	2590.9	488.2	3079.1	1846.0	-665.6	1180.4
		-26.25	2790.4	555.7	3346.1	2006.1	-665.6	1340.5
		-26.50	2896.3	623.2	3519.6	2110.0	-665.6	1444.5
		-26.75	2994.1	690.7	3684.9	2209.1	-665.6	1543.6
		-27.00	3037.5	758.2	3795.7	2275.6	-665.6	1610.0
		-27.25	3037.5	825.7	3863.2	2316.1	-665.6	1650.5
		-27.50	3037.5	893.2	3930.7	2356.5	-665.6	1691.0
		-27.75	3037.5	960.7	3998.2	2397.0	-665.6	1731.4
		-28.00	3037.5	1028.2	4065.7	2437.5	-665.6	1771.9

5.1, 2, e

REKENGEGEVENS # 500

Berekening : Ontwerpend
Rekenmethode : Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en) : 1, 2

Stijf bouwwerk : NEE
Paalgroep : NEE
Aantal sonderingen : 2
Factor $\xi_{3\ (n=1)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{3\ (gem)}$: 1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$: 1.39 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R : 1.20
$\gamma_{f;nk}$: 1.4
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.75 * $R_{b;cal;max;i}$: NEE
UGT draagvermogen zonder negatieve kleef : NEE

Paal : Geheide prefab betonpaal # 500 mm
Niveau paalkop [m] : N.A.P. 2.10
Bovenbel. [kN/m²] : 0.00

PAALPUNTNIVEAUS Geheide prefab betonpaal # 500 mm

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v. : N.A.P.

Nr	Beginniveau [m]	Eindniveau [m]	Stapgrootte [m]
1	-25.50	-28.00	0.25

RESULTATEN # 500 (n=1)

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Sondering	1	2
Niveau [m]	$F_{netto;d}$ [kN]	$F_{netto;d}$ [kN]
-25.50	**1456**	1201
-25.75	**1577**	1300
-26.00	**1686**	1478
-26.25	**1891**	1648
-26.50	**1983**	1764
-26.75	**2028**	1875
-27.00	**2073**	1952
-27.25	**2118**	2024
-27.50	**2163**	2062
-27.75	**2208**	2080
-28.00	**2253**	2194



5.1, 2, e

SAMENVATTINGSTABEL # 500 (n=1)

Uitgangspunten

- paal : Geheide prefab betonpaal # 500 mm
- paaltype : Geheide paal (beton)
- schachtafmeting : 500 x 500

Paalklassefactor α_p : 0.70

Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)

Correlatiefactor $\xi_{3\,(n=1)}$: 1.39

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	Bezwijkdraagvermogen $R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]	$R_{c;cal}$ [kN]	Rekenwaarden $R_{c;d}$ [kN]	$F_{nk;d}$ [kN]	$R_{c;netto;d}$ [kN]
1	2.17	-25.50	3171.3	433.3	3604.7	2161.1	-705.0	1456.1
		-25.75	3297.5	508.3	3805.8	2281.7	-705.0	1576.7
		-26.00	3405.3	583.3	3988.6	2391.3	-705.0	1686.3
		-26.25	3671.1	658.3	4329.4	2595.6	-705.0	1890.6
		-26.50	3750.0	733.3	4483.3	2687.8	-705.0	1982.8
		-26.75	3750.0	808.3	4558.3	2732.8	-705.0	2027.8
		-27.00	3750.0	883.3	4633.3	2777.8	-705.0	2072.8
		-27.25	3750.0	958.3	4708.3	2822.7	-705.0	2117.7
		-27.50	3750.0	1033.3	4783.3	2867.7	-705.0	2162.7
		-27.75	3750.0	1108.3	4858.3	2912.7	-705.0	2207.6
		-28.00	3750.0	1183.3	4933.3	2957.6	-705.0	2252.6
2	2.29	-25.50	2844.5	392.4	3236.9	1940.6	-739.5	1201.1
		-25.75	2934.8	467.4	3402.2	2039.7	-739.5	1300.2
		-26.00	3156.2	542.4	3698.7	2217.4	-739.5	1477.9
		-26.25	3365.0	617.4	3982.4	2387.6	-739.5	1648.0
		-26.50	3484.2	692.4	4176.6	2504.0	-739.5	1764.4
		-26.75	3593.4	767.4	4360.8	2614.4	-739.5	1874.9
		-27.00	3647.5	842.4	4490.0	2691.8	-739.5	1952.3
		-27.25	3692.6	917.4	4610.1	2763.8	-739.5	2024.3
		-27.50	3680.1	992.4	4672.5	2801.3	-739.5	2061.7
		-27.75	3636.0	1067.4	4703.4	2819.8	-739.5	2080.2
		-28.00	3750.0	1142.4	4892.4	2933.1	-739.5	2193.6

5.1, 2, e

OVERZICHT NETTO DRAAGVERMOGEN DRUKPALEN

Netto paaldraagvermogen(s) zijn naar beneden toe afgerond op: 1.0 kN nauwkeurig
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

	maaiveld	paalpunt	$R_{c;netto;d}$ [kN]			
sondering	niveau	niveau	# 350	# 400	# 450	# 500
1	2.17	-25.50	680	906	1165	1456
		-25.75	764	1003	1273	1576
		-26.00	836	1082	1365	1686
		-26.25	884	1190	1541	1890
		-26.50	915	1226	1582	1982
		-26.75	947	1262	1622	2027
		-27.00	978	1298	1663	2072
		-27.25	1010	1334	1703	2117
		-27.50	1041	1370	1744	2162
		-27.75	1073	1406	1784	2207
		-28.00	1104	1442	1825	2252
2	2.29	-25.50	536	728	950	1201
		-25.75	604	806	1039	1300
		-26.00	699	922	1180	1477
		-26.25	843	1064	1340	1648
		-26.50	874	1150	1444	1764
		-26.75	906	1215	1543	1874
		-27.00	937	1251	1610	1952
		-27.25	968	1287	1650	2024
		-27.50	1000	1323	1690	2061
		-27.75	1031	1359	1731	2080
		-28.00	1063	1395	1771	2193

5.1, 2, e

VOORBEELDBEREKENING
PAAL*DRUK*WEERSTAND

5.1, 2, e

Technosoft Paalfunderingen release 6.70a **18 feb 2022**

ALGEMENE GEGEVENS

Project : W2022.117 Amsterdam - Centrumeiland IJburg, kavel 09-09 - Nieuwbouw woonhuis
Onderdeel : Geheide prefab betonpalen - Voorbeeldberekening
Datum : 18-02-2022
Berekeningstype : Verticaal belaste paal
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Geotechniek	EN 1997-1:2004	AC:2009	
	NEN-EN 1997-1:2005	C1+A1:2013	NB:2016
	NEN 9997-1:2016	C2:2017	

BODEMPROFIELGEGEVENS: 1

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.
d50-reductie is meegenomen overeenkomstig NEN-EN 9997 art. 7.6.2.3 (i)
Hoogte maaiveld [m] : 2.17 Grondwaterstand [m] : -0.40

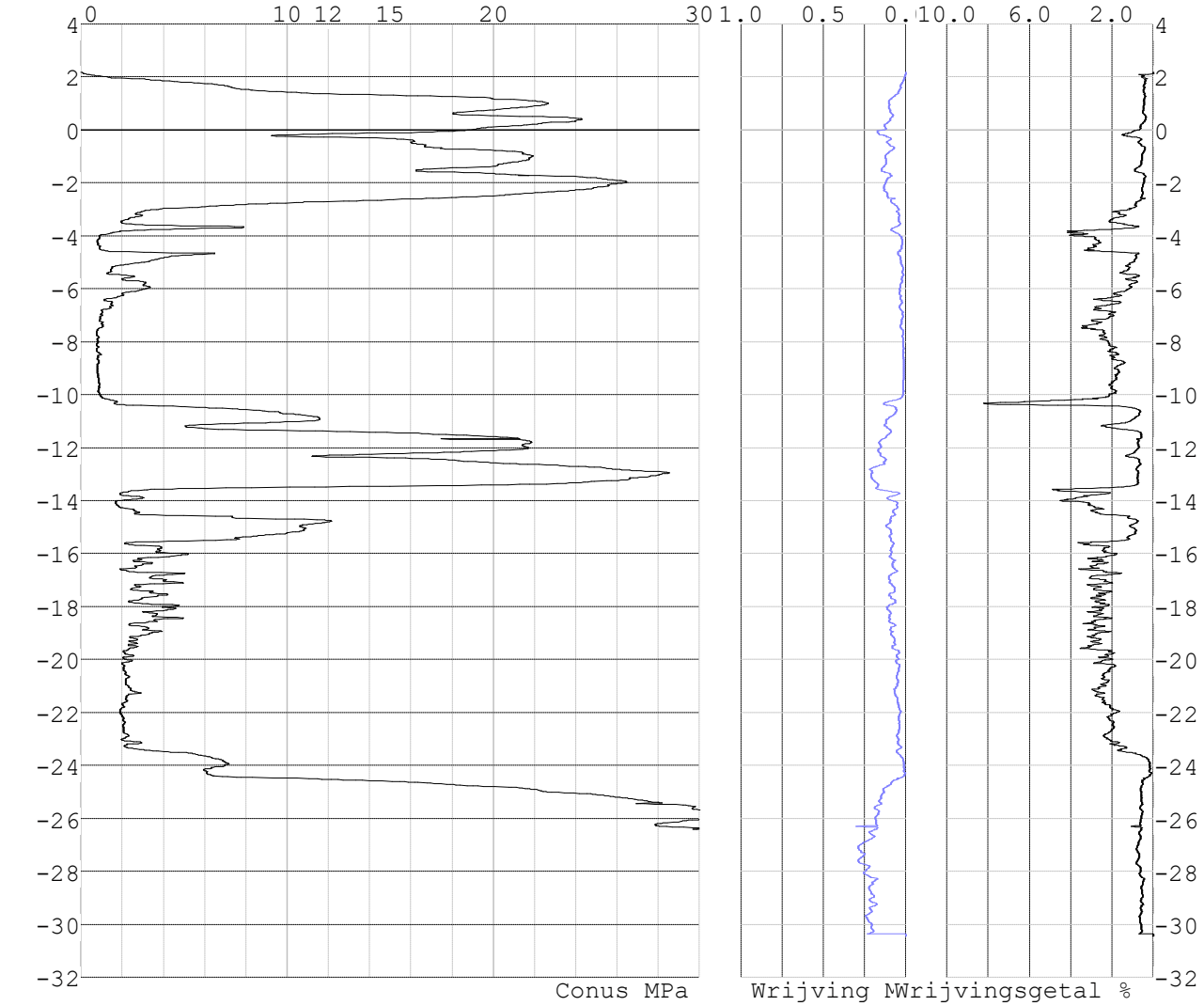
Laag	Van [m]	Tot [m]	Omschrijving	OCR	Aandeel pos. kleef [%]	α_s	d_{50} [mm]
1	2.17	-3.78	Zand - Zwak siltig - Kleiig	1.0	0.0		
2	-3.78	-4.69	Klei - Organisch - Slap	1.0	0.0		
3	-4.69	-5.03	Zand - Schoon - Los	1.0	0.0		
4	-5.03	-6.17	Zand - Sterk siltig - Kleiig	1.0	0.0		
5	-6.17	-8.25	Klei - Organisch - Slap	1.0	0.0		
6	-8.25	-10.40	Veen - Matig voorbelast - Matig	1.0	0.0		
7	-10.40	-11.29	Zand - Sterk siltig - Kleiig	1.0	0.0		
8	-11.29	-13.64	Zand - Zwak siltig - Kleiig	1.0	0.0		
9	-13.64	-14.29	Klei - Zwak zandig - Matig	1.0	0.0		
10	-14.29	-15.54	Zand - Sterk siltig - Kleiig	1.0	0.0		
11	-15.54	-19.41	Klei - Sterk zandig	1.0	0.0		
12	-19.41	-23.00	Klei - Zwak zandig - Vast	1.0	0.0		
13	-23.00	-23.38	Zand - Sterk siltig - Kleiig	1.0	100.0		
14	-23.38	-24.47	Zand - Schoon - Los	1.0	100.0		
15	-24.47	-30.46	Zand - Schoon - Vast	1.0	100.0		

5.1, 2, e

SONDERINGSGEGEVENS ALGEMEEN: 1

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.
Hoogte maaiveld [m] : 2.17 Bodemprofiel: 1
Traject negatieve kleef : 2.17 tot -10.40 [m]
Traject positieve kleef : -23.00 tot -30.46 [m]

SONDERINGSGEGEVENS GRAFIEK: 1



5.1, 2, e

PAALGEGEVENS Geheide prefab betonpaal # 350 mm

Type	:	Geheide paal (beton)
Wijze van installeren	:	Heien
Afmeting a [m]	:	0.350
Afmeting b [m]	:	0.350
Elasticiteitsmodulus [N/mm²]	:	20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1)	:	0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Factor α_t (tabel 7.c EC 7.1)	:	0.0070 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Paalklassefactor α_p	:	0.70
Paalvoetvormfactor β	:	1.00
Type lastzakkingsdiagram	:	Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$	:	0.75

REKENGEGEVENS # 350

Berekening	:	Controlerend
Rekenmethode	:	Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en)	:	1
Stijf bouwwerk	:	NEE
Paalgroep	:	NEE
Aantal sonderingen	:	1
Factor $\xi_{3\ (n=1)}$	:	1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{3\ (gem)}$	:	1.39 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$	:	1.39 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R	:	1.20
$\gamma_{f;nk}$	:	1.4
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.75 * $R_{b;cal;max;i}$	:	NEE
UGT draagvermogen zonder negatieve kleef	:	NEE
Paal	:	Geheide prefab betonpaal # 350 mm
Niveau paalkop [m]	:	N.A.P. 2.10
Paalpuntniveau	:	N.A.P. -25.75
$E_{d;1}$ [kN]	:	-760.00
$E_{d;2}$ [kN]	:	-595.00
$s_{req;1}$ [m]	:	0.15
$s_{req;2}$ [m]	:	0.05
Bovenbel. [kN/m²]	:	0.00

RESULTATEN # 350 (n=1)

Sondering : 1

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Niveau [m]	R_b [kN]	R_s [kN]	$R_{c;cal}$ [kN]	$R_{c;k}$ [kN]	$R_{c;d}$ [kN]	$F_{nk;d}$ [kN]	R_{cnd} [kN]	$F_{c;tot;1}$ [kN]	U.C.	$s_{1;1}$ [mm]	$s_{1;2}$ [mm]
-25.75	1743	355.8	2099	1510	1258	-493.5	764.8	-1254	1.00	-55.0	-17.9

5.1, 2, e

DETAIL BER. DRAAGVERMOGEN # 350; 1; N.A.P.-25.75

Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : 1
- gehanteerde paal : Geheide prefab betonpaal # 350 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-25.75 m
- traject positieve kleef : N.A.P.-23.00 m

tot: N.A.P.-25.75 m

Maximale draagkracht van de paalpunt

De maximale puntweerstand volgens art. 7.6.2.3 (e) bedraagt :

$q_{b;max} = 0.5 * \alpha_p * \beta * s * ((q_{c;I;gem} + q_{c;II;gem})/2 + q_{c;III;gem})$
$= 14.228$ MPa

waarin :		in dit geval :
$q_{c;I;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject I	= 29.78 MPa
$q_{c;II;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject II	= 27.93 MPa
$q_{c;III;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject III	= 11.80 MPa
α_p	= paalklassefactor	= 0.70 -
β	= factor voor de paalvoetvorm	= 1.00 -
φ	= hoek van de inwendige wrijving	= 40.0 -
r	= verhouding b/a	= 1.00 -
s	= factor voor de vorm van de voet	= 1.00 -

Voor een uitgebreide beschrijving van het bepalen van de gemiddelde conusweerstanden in de gebieden I, II en III wordt verwezen naar art. 7.6.2.3 (e) in de norm.

De maximale draagkracht van de paalpunt volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$R_{b;cal;max;i} = A_b * q_{b;max;i}$
$= 1743$ kN

waarin :		in dit geval :
A_b	= oppervlak van de paalvoet	= 0.1225 m^2

Maximale paalschachtwrijving

De maximale paalschachtwrijving volgens art. 7.6.2.3 (i) bedraagt:

$q_{s;max;z} = \alpha_s * q_{c;z;a}$

De maximale schachtwrijvingskracht volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$R_{s;cal;max;i} = O_{s;\Delta l;gem} * \Sigma\, q_{s;max;z;i} * d_z$
$= 356$ kN

5.1, 2, e

Per laag

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Nr	Laag	Nivo [m]	$O_{s;gem}$ [m¹]		α_s	Perc. [%]	$q_{c;z;a}$ [MPa]	$q_{s;max}$ [MPa]	d_z [m]	$R_{c;cal}$ [kN]
--	----	-23.00	--	--	--	--	--	--	--	--
1	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-23.38	1.40	0.0100	100		2.11	0.021	0.38	11.2
2	Zand - Schoon - Los	-24.47	1.40	0.0100	100		5.47	0.055	1.09	83.5
3	Zand - Schoon - Vast	-25.75	1.40	0.0100	100		14.57	0.146	1.28	261.0
totaal			1.40	0.0100			9.24	0.092	2.75	355.8

Maximale draagkracht

De maximale draagkracht van de paal volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$R_{c;cal;i} = R_{b;cal;max;i} + R_{s;cal;max;i}$
$= 2099$ kN (=1743 + 356)

De karakteristieke waarde van de maximale draagkracht van de paal volgens art. 7.6.2.3 (b) bedraagt:

$R_{c;k} = R_{c;cal} / \xi_{3\ (n=1)}$
$= 1510$ kN

waarin :		in dit geval :	
$\xi_{3\ (n=1)}$	= factor volgens art. A.3.3.3 bij 1 sondering =	1.39	-

Voor de rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal kan volgens art. 2.4.7.3.3 worden aangehouden :

$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R$
$= 1258$ kN

waarin :		in dit geval :	
γ_R	= partiële weerstandsfactor volgens art. A.3.3.2 tabel A.6, A.7 of A.8 =	1.20	-

5.1, 2, e

DETAIL BER. NEGATIEVE KLEEF # 350; 1; N.A.P.-25.75

Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : 1
- gehanteerde paal : Geheide prefab betonpaal # 350 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-25.75 m
- paalkopniveau : N.A.P. 2.10 m
- traject negatieve kleef : N.A.P. 2.17 m
  tot : N.A.P.-10.40 m
- $p_{sur;k}$: 1.33 kN/m^2

Berekening negatieve kleef

De karakteristieke waarde van de maximale negatieve kleefbelasting v.e. alleenstaande paal volgens art. 7.3.2.2 (d) bedraagt:

$F_{nk;k}$ = $O_{s;gem} * \sum d_j * K_{0;j;k} * \tan \delta_{j;k} * (\sigma'_{v;j-1;k} + \sigma'_{v;j;k})/2.0$
= -352.5 kN

waarin :

O_s;gem = omtrek van de dwarsdoorsnede van de paalschacht
d_j = de dikte van de grondlaag i
$K_{0;j;k}$ = de karakteristieke waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i
$\delta_{j;k}$ = de karakteristieke waarde van de wrijvingshoek
$\sigma'_{v;j;k}$ = de karakteristieke waarde van de effectieve verticale spanning onder in laag j

Per laag

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Nr	Laag	Nivo [m]	Hoogte [m]	$O_{s;gem}$ [m^1]	$K_{0;j} * \tan(\delta_i)$	$\sigma'_{v;j;k}$ [kN/m^2]
--	----	2.10	--	--	--	1.33
1	Zand - Zwak siltig - Kleiig	-0.40	2.50	1.40	0.25	48.83
2	Zand - Zwak siltig - Kleiig	-3.78	3.38	1.40	0.25	86.01
3	Klei - Organisch - Slap	-4.69	0.91	1.40	0.25	90.56
4	Zand - Schoon - Los	-5.03	0.34	1.40	0.25	93.96
5	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-6.17	1.14	1.40	0.25	106.50
6	Klei - Organisch - Slap	-8.25	2.08	1.40	0.25	116.90
7	Veen - Matig voorbelast - Mati	-10.40	2.15	1.40	0.25	123.35

Rekenwaarde

De rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting van een alleenstaande paal bedraagt :

$F_{nk;d}$ = $F_{nk;k} * \gamma_{f;nk}$ = -493.5 kN

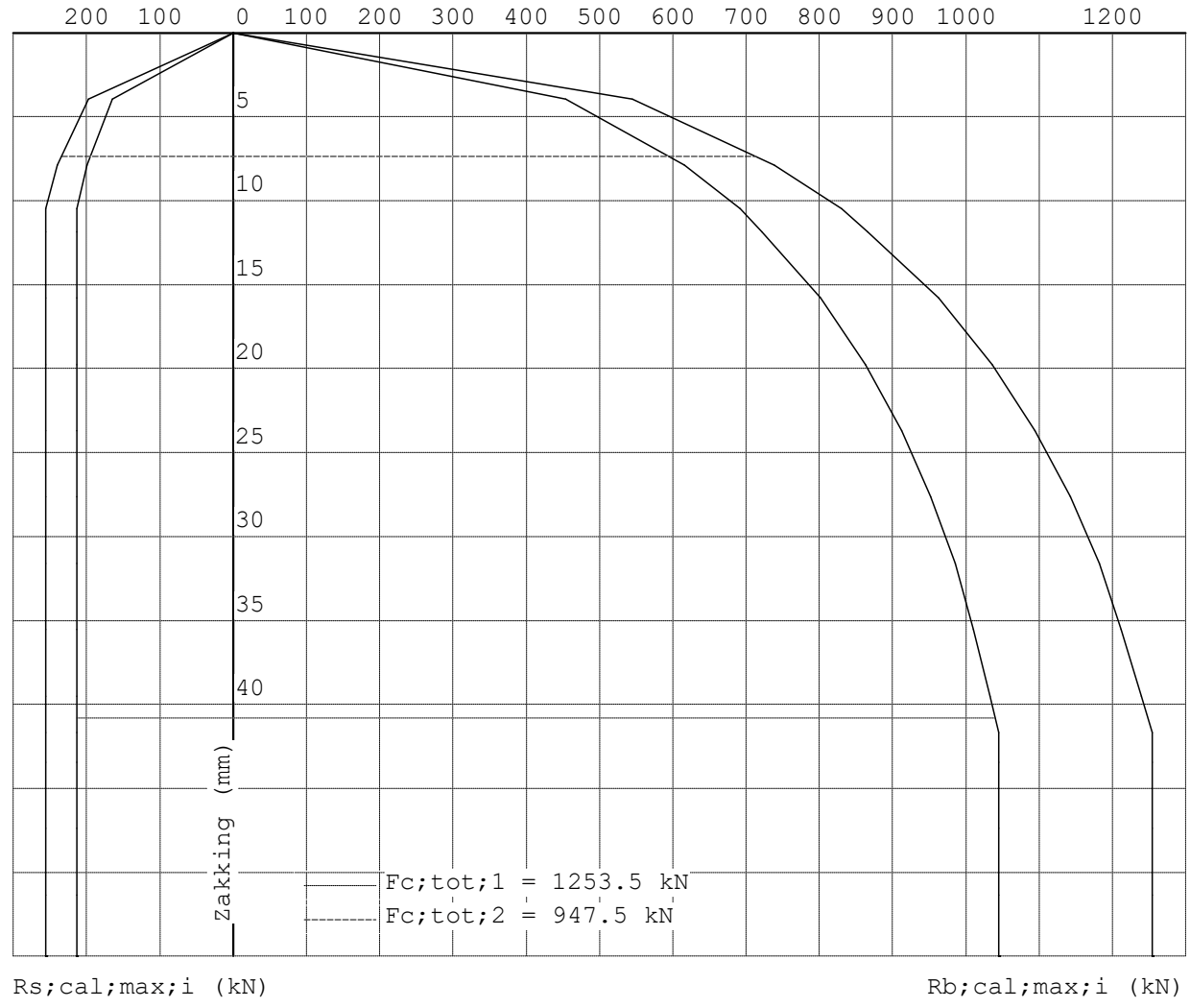
waarin :		in dit geval :
$\gamma_{f;nk}$	= belastingfactor voor de negatieve kleef (art. 7.3.2.2 (b))	1.4 -

5.1, 2, e

LAST_ZAKKINGSDIAGRAM # 350

Uitgangspunten
- gehanteerde sondering : 1
- gehanteerde paal : Geheide prefab betonpaal # 350 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-25.75 m

Last-zakkingsdiagram grenstoestand 1B en 2



SAMENVATTINGSTABEL # 350 (n=1)

Uitgangspunten
- paal : Geheide prefab betonpaal # 350 mm
- paaltype : Geheide paal (beton)
- schachtafmeting : 350 x 350

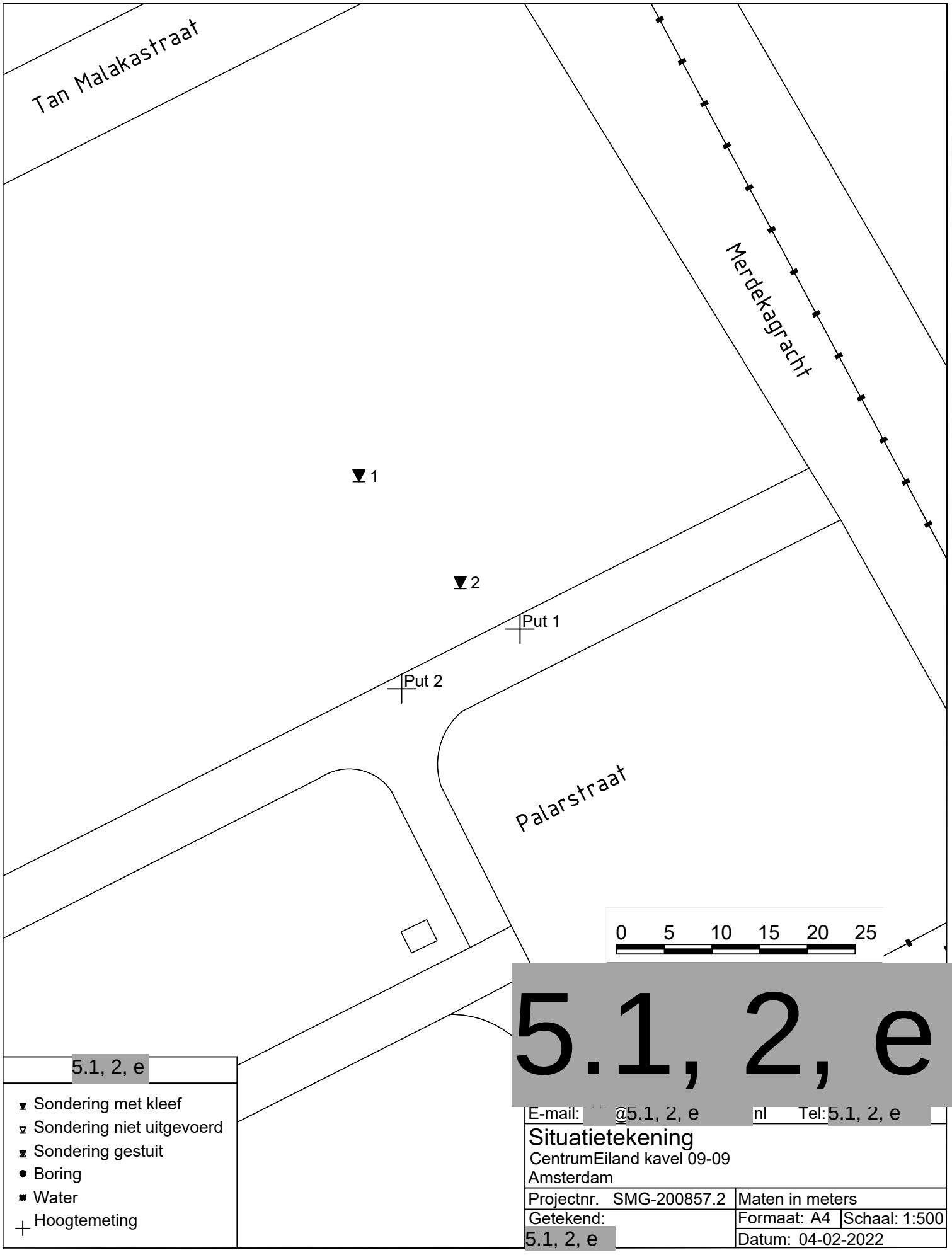
Paalklassefactor α_p : 0.70
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.010 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Correlatiefactor $\xi_{3(n=1)}$: 1.39

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	Bezwijkdraagvermogen $R_{b;cal}$ [kN]	$R_{s;cal}$ [kN]	$R_{c;cal}$ [kN]	Rekenwaarden $R_{c;d}$ [kN]	$F_{nk;d}$ [kN]	$R_{c;netto;d}$ [kN]
1	2.17	-25.75	1743.0	355.8	2098.8	1258.3	-493.5	764.8

5.1, 2, e

GRONDONDERZOEK



5.1, 2, e

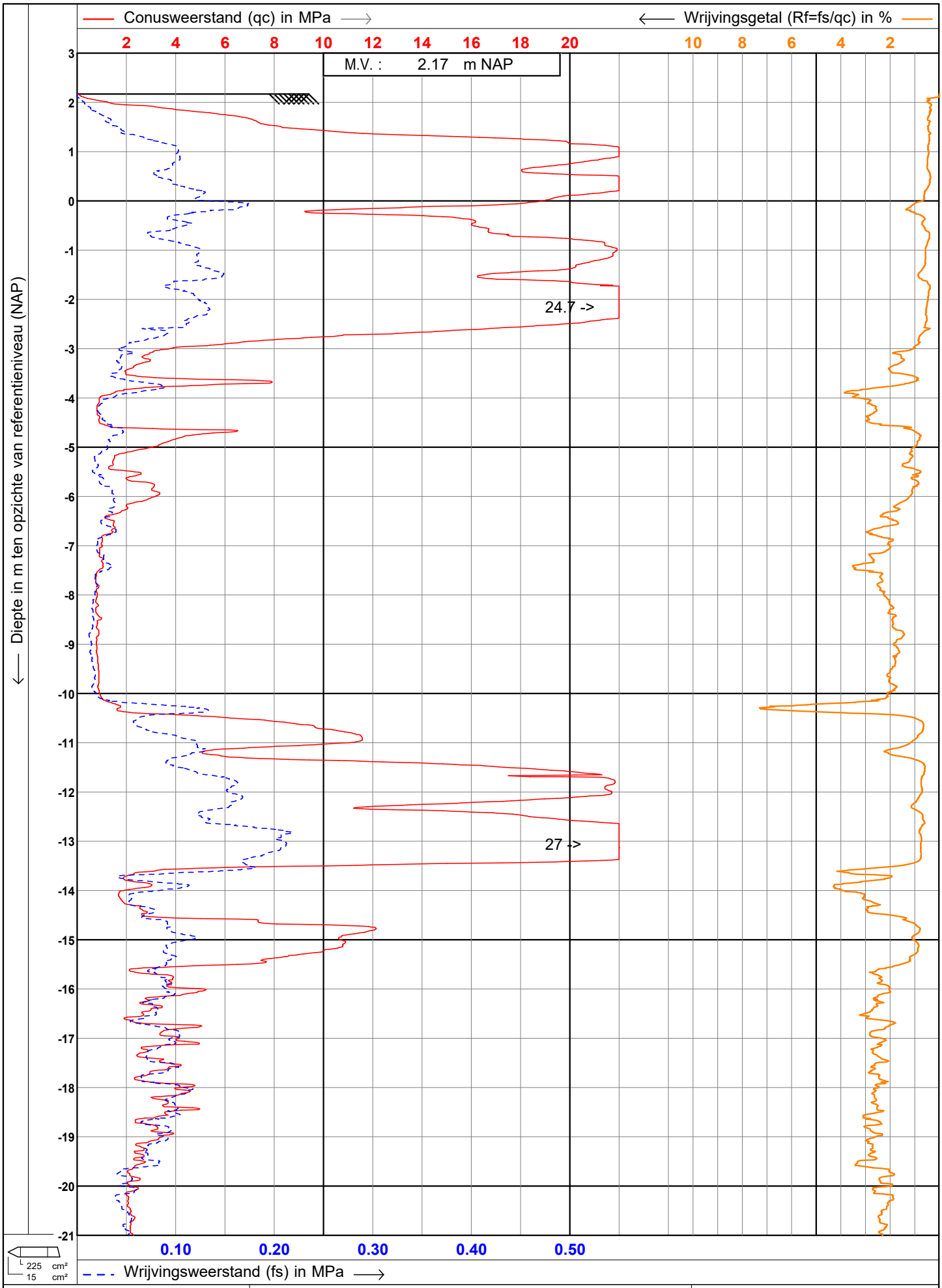
- Sondering met kleef
- Sondering niet uitgevoerd
- Sondering gestuit
- Boring
- Water
- Hoogtemeting

5.1, 2, e

E-mail: @5.1, 2, e nl Tel: 5.1, 2, e

Situatietekening
CentrumEiland kavel 09-09
Amsterdam

Projectnr. SMG-200857.2	Maten in meters	
Getekend: 5.1, 2, e	Formaat: A4	Schaal: 1:500
	Datum: 04-02-2022	

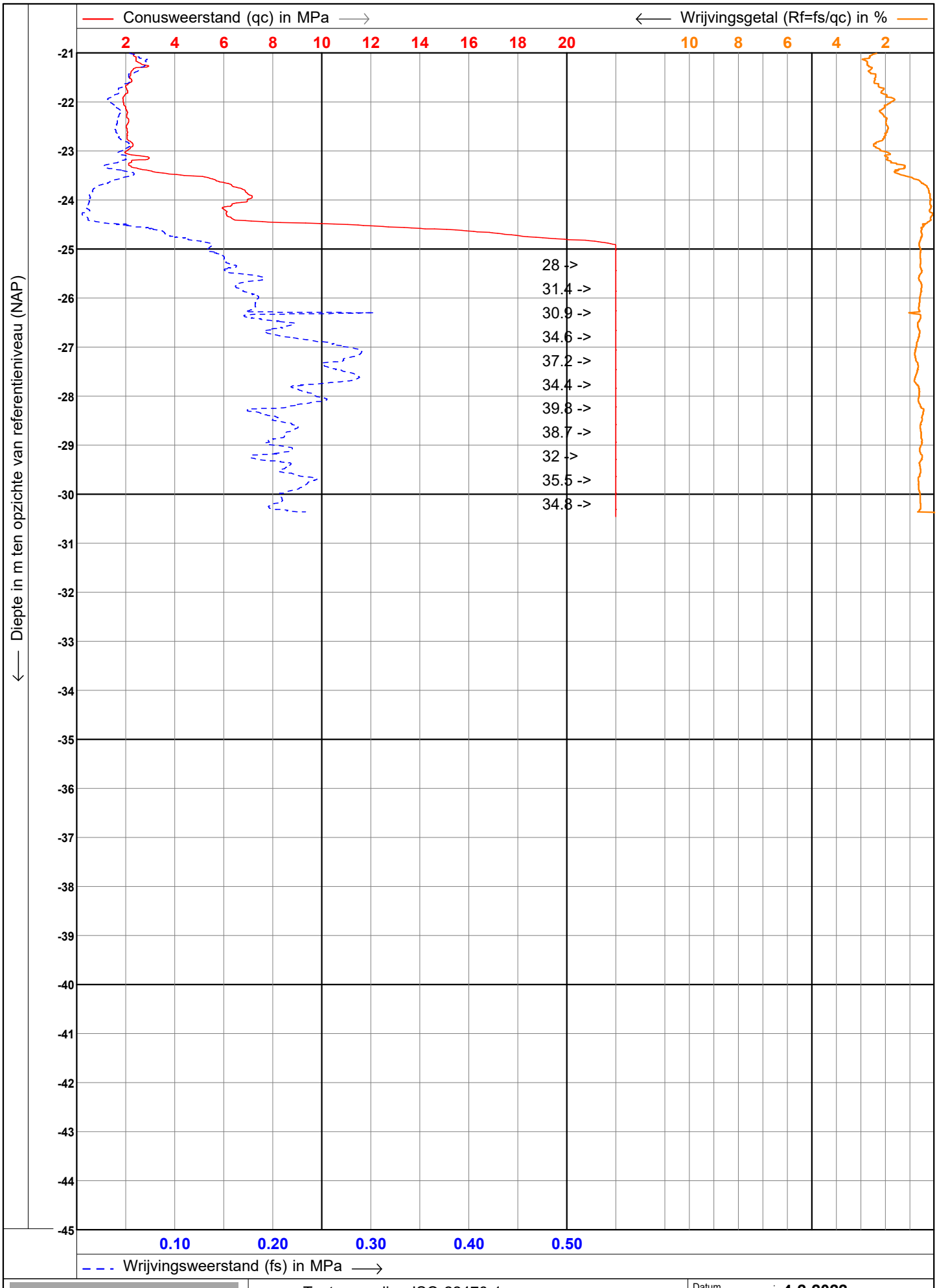


5.1, 2, e

Test according ISO 22476-1

Project	:	**Geotechnisch bodemonderzoek**
Lokatie	:	**Blok 9 kavel 9 CentrumEiland Amsterdam**
Positie	:	**129696.244, 484989.684 RD**

Datum	:	**4-2-2022**
Conusnr.	:	**DP15-CFPTxy.71123**
Projectnr.	:	**SMG 200857.2**
Sondeernr.	:	**1**

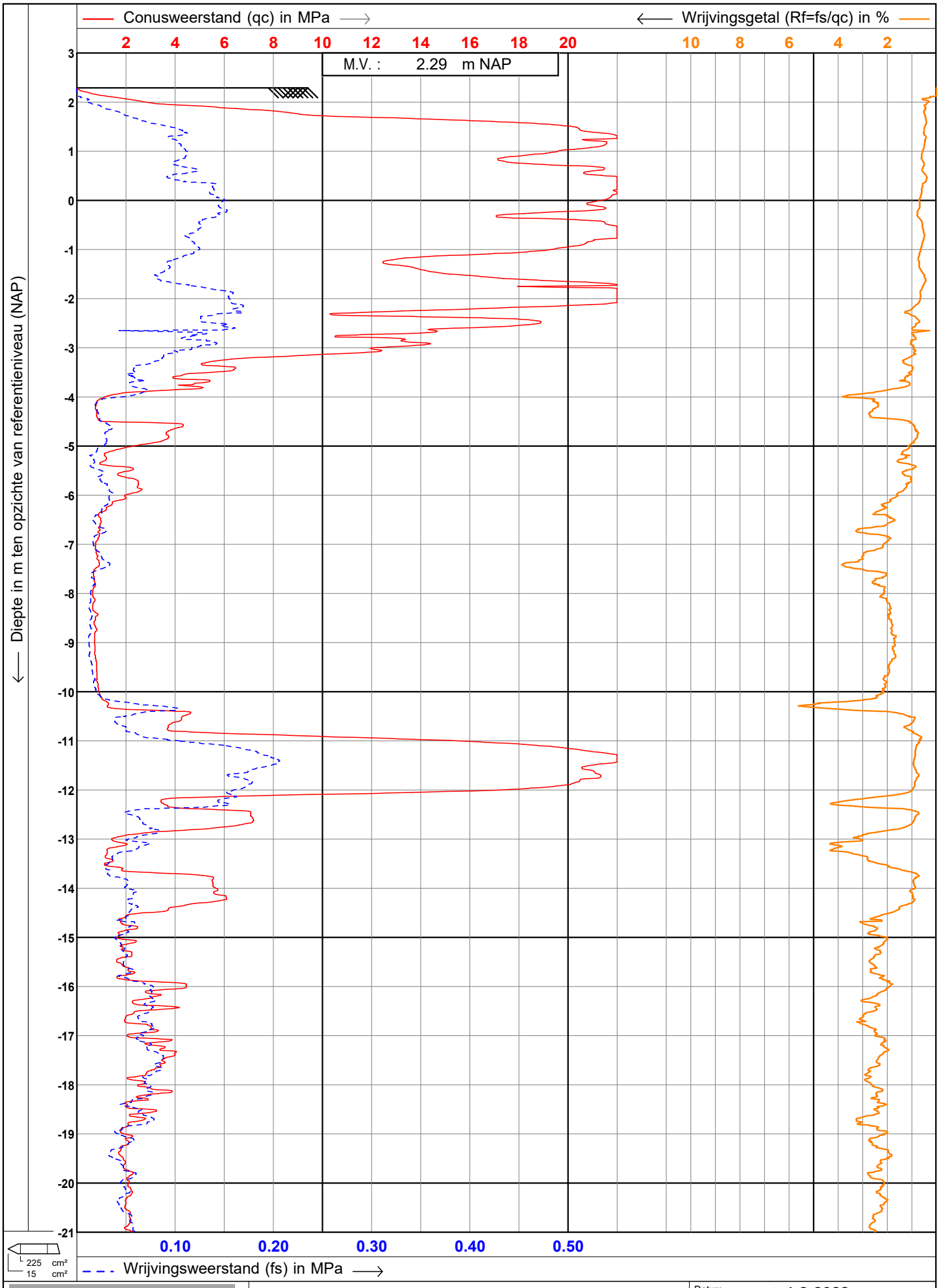


5.1, 2, e

Test according ISO 22476-1

Project	:	**Geotechnisch bodemonderzoek**
Lokatie	:	**Blok 9 kavel 9 CentrumEiland Amsterdam**
Positie	:	**129696.244, 484989.684 RD**

Datum	:	**4-2-2022**
Conusnr.	:	**DP15-CFPTxy.71123**
Projectnr.	:	**SMG 200857.2**
Sondeernr.	:	**1**

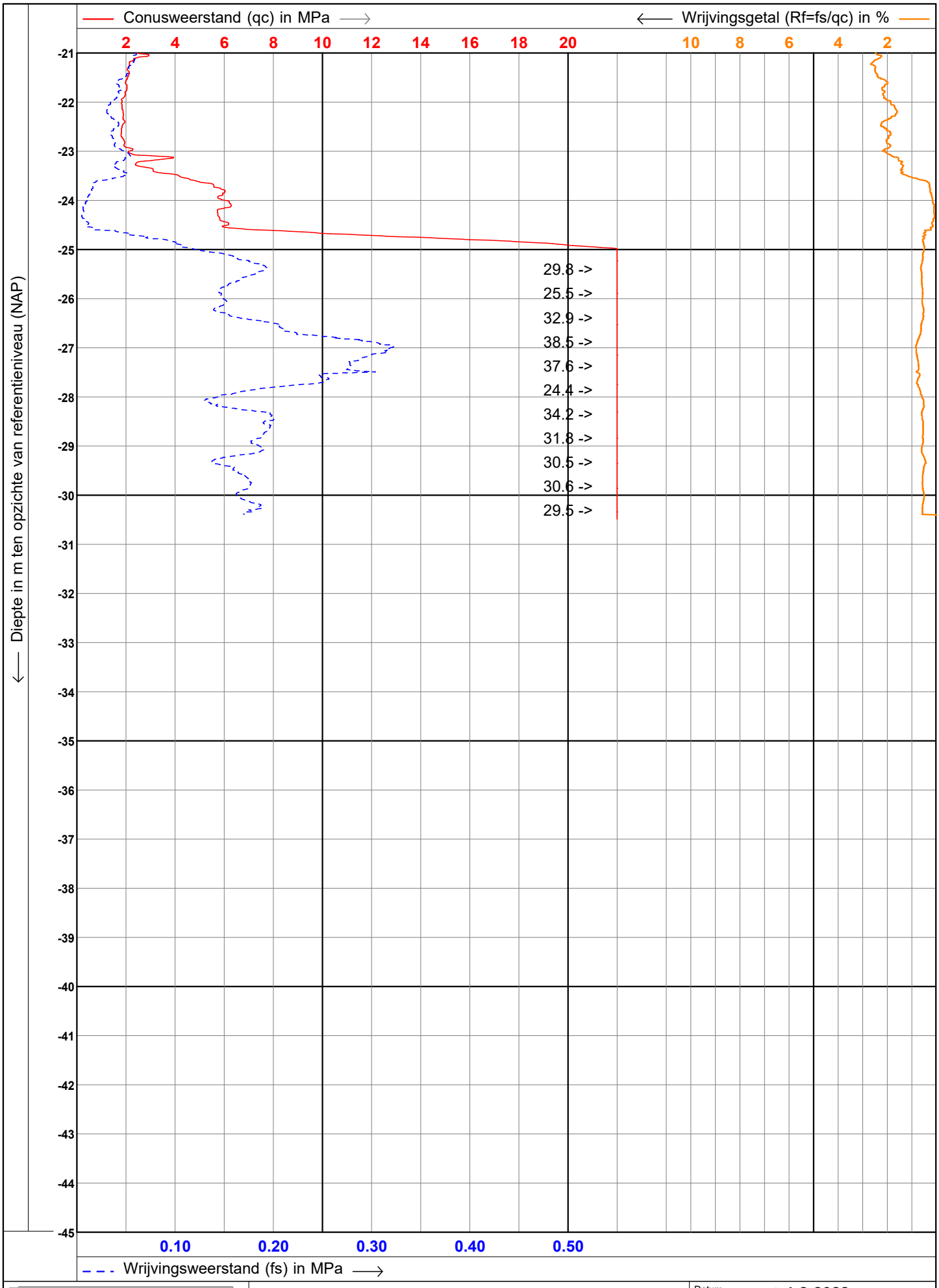


5.1, 2, e

Test according ISO 22476-1

Project	:	**Geotechnisch bodemonderzoek**
Lokatie	:	**Blok 9 kavel 9 CentrumEiland Amsterdam**
Positie	:	**129706.865, 484978.477 RD**

Datum	:	**4-2-2022**
Conusnr.	:	**DP15-CFPTxy.71123**
Projectnr.	:	**SMG 200857.2**
Sondeernr.	:	**2**



5.1, 2, e

Test according ISO 22476-1

Project	:	**Geotechnisch bodemonderzoek**
Lokatie	:	**Blok 9 kavel 9 CentrumEiland Amsterdam**
Positie	:	**129706.865, 484978.477 RD**

Datum	:	**4-2-2022**
Conusnr.	:	**DP15-CFPTxy.71123**
Projectnr.	:	**SMG 200857.2**
Sondeernr.	:	**2** **2/2**

5.1, 2, e

UITVOERINGSRICHTLIJNEN

5.1, 2, e

ALGEMENE RICHTLIJNEN VOOR DE UITVOERING VAN HEIWERK

Inleiding

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van de geprefabriceerde betonpalen, wordt verwezen naar:

- NEN 9997–1+C1: Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels;
- NEN–EN 12699: Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen;
- NEN–6742: Het uitvoeren van funderingen met geprefabriceerde betonnen palen;
- CUR 109: Akoestisch doormeten funderingspalen;
- CUR 114: Toezicht op realisatie van paalfunderingen;
- CUR 2004–1: Beoordelingssysteem voor de begaanbaarheid van bouwterreinen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2352: Betonnen heipalen;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2357: Heien van geprefabriceerde betonpalen.
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2356,
  - Algemeen: In de grond gevormde palen;
  - 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;
- Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 2357: Heien van geprefabriceerde betonpalen;

Omschrijving paalsysteem Geheide geprefabriceerde betonpalen

Geprefabriceerde betonnen heipalen worden door middel van heien bovenop de paal ingebracht. De maximale paallengte is ongeveer 80 à 90 keer de vierkantafmeting. Afhankelijk van palenleverancier, van de grondgesteldheid en heibaarheid.

Uitvoering geheide geprefabriceerde betonpalen:

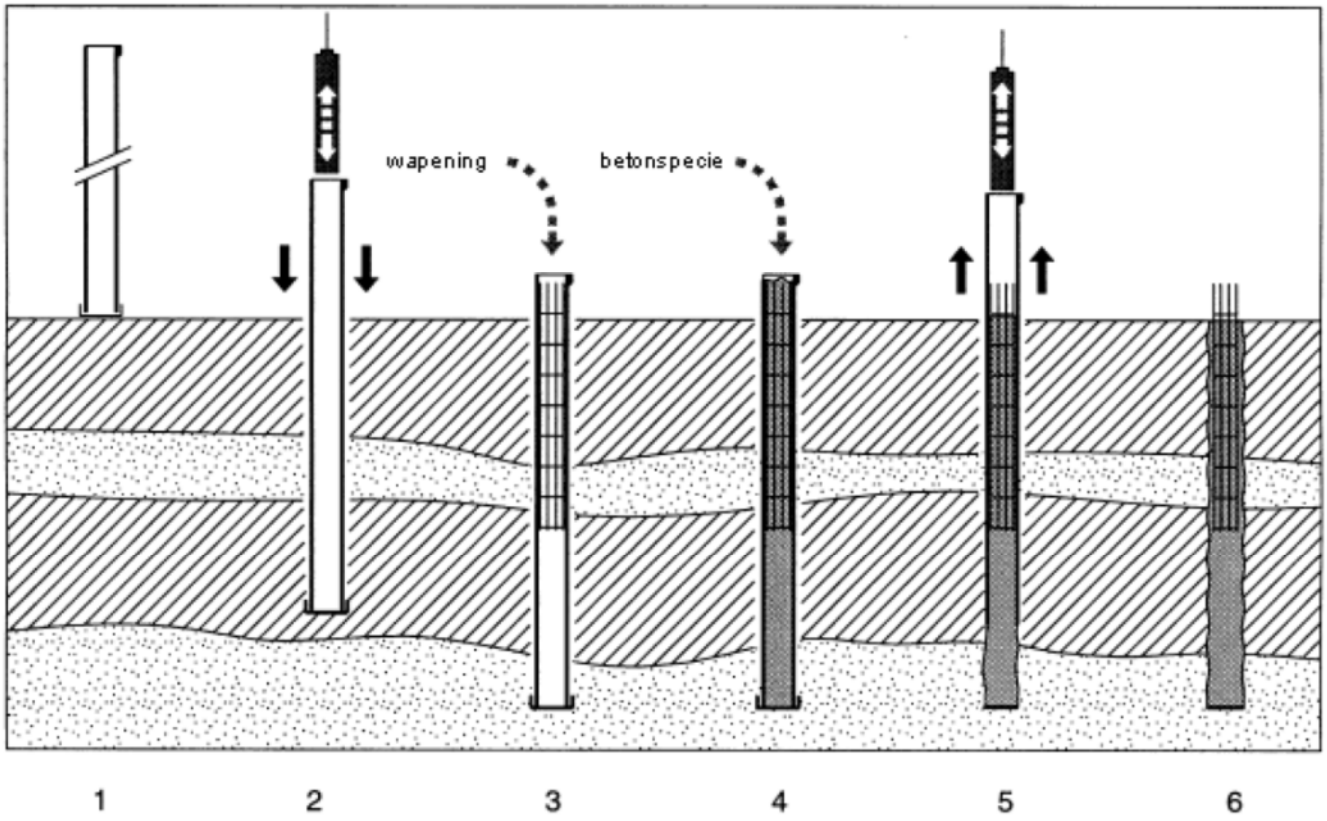
1. De geprefabriceerde betonnen heipaal wordt conform specificatie gestort in fabriek
2. De geprefabriceerde betonnen heipaal wordt op de juiste plaats op het maaiveld geplaatst;
3. De geprefabriceerde betonpaal wordt heiend op de bovenzijde van de paal tot het juiste inheiniveau ingebracht, door middel van een (traploos regelbaar) hydraulisch heiblok, dan wel met een dieselheiblok met voldoende slagenergie;
4. Na het bereiken van het gewenste inheiniveau wordt het heiblok van de paalkop verwijderd
5. De heistelling kan verplaatst worden;

5.1, 2, e

Omschrijving paalsysteem In de grond gevormde, grondverdringende betonpaal, vervaardigd met behulp van een heiend ingebrachte, stalen hulpbuis en aansluitend schokkend of trillend getrokken hulpbuis, type Vibropaal.

Bij het maken van een Vibropaal wordt eerst een stalen buis met gesloten punt heiend in de grond gebracht. Het heien vindt hierbij plaats op de kop van de buis. Nadat de buis op diepte is gebracht wordt in de buis een wapeningskorf gehangen (gewoonlijk alleen in het bovenste deel) en wordt de buis volgestort met betonspecie. Tijdens dit storten wordt de buis heiend of trillend omhoog getrokken, zodat de beton goed kan verdichten, en een goede aansluiting tussen de paal en de omliggende grond ontstaat.

Uitvoering In de grond gevormde, grondverdringende betonpaal, vervaardigd met behulp van een heiend ingebrachte, stalen hulpbuis en aansluitend schokkend of trillend getrokken hulpbuis, type Vibropaal schroefpaal



1. Een stalen hulpbuis, onderzijde afgedicht middels een voetplaat, wordt op de juiste plaats op het maaiveld geplaatst;
2. De stalen hulpbuis wordt heiend tot het juiste inheiniveau ingebracht, door middel van een (traploos regelbaar) hydraulisch heiblok, dan wel met een dieselheiblok met voldoende slagenergie, op de bovenzijde van de stalen hulpbuis;
3. Na het bereiken van het gewenste inheiniveau wordt gecontroleerd of de buis droog en vrij van grond is en wordt aansluitend de wapening in de buis afgehangen,
4. De buis wordt gevuld met betonspecie;
5. De paal wordt afgewerkt en de heistelling kan verplaatst worden;
6. Direct na het vervaardigen van de paalschacht de korfwapening aanbrengen en de paalkop afwerken.

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 paaldrukweerstand 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, type heiblok met bijbehorende massa en eventuele afstelling (Hydro– of dieselblok), dan wel valhoogte (valblok);
- De maaiveldhoogten ter plaatse van de te installeren palen en van de sondeerlocaties;
- Leverancier, productiedatum, specificaties (betonkwaliteit, wapening, etc.) van de gefabriceerde betonnen heipalen;
- Voor de, in het werk gestorte paal, gegevens over de wapening: aantal staven, staaflengte, beugels, h.o.h. – afstanden van de beugels, korfdiameter;
- Voor de, in het werk gestorte paal, gegevens over de beton: kwaliteit (C–waarde), consistentiegebied, milieuklasse, betondekking, etc.;
- Wijze van afwerken van de paalkop;
- Mogelijke stijghoogtes van het grondwater in het watervoerende pakket(ten);
- De aanwezigheid van (mogelijke) obstructies in de ondergrond;
- De (mogelijke) aanwezigheid van archeologische restanten;
- Mogelijke aanwezige vervuiling in de ondergrond;
- Ervaring met het paaltype in de (directe) omgeving van de heilocatie.

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 slagenergie van het heiblok dient te worden afgestemd op de het gewicht van de paal en de verwachten zwaarte van het heiwerk. De capaciteit van het heiblok dient derhalve te zijn gerelateerd aan de bodemopbouw en de paalafmeting, zodat 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;

5.1, 2, e

- Verschil in versheid van de heimutsvulling;
- Scheefstand en/of kromheid van de paal;
- Optreden tijdelijke wateroverspanning op tijdens het heien;
- Verdichting zandpakket;
- Paalbreuk;
- Wisselde energieafgifte heiblok;
- Andere pompzetting;
- Wisselde valhoogte heiblok;
- Wijziging in de weersomstandigheden;

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.

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

- Naheien van de paal (na circa 4 à 12 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 geprefabriceerde betonpaal akoestisch doormeten om een mogelijke paalbreuk vast te stellen;
- Uitvoeren van een dynamische en/of statische proefbelasting om de daadwerkelijke paaldrukweerstand van de paal vast te stellen;
- Het inheien van één of meer extra palen;

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 inheidiepte 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 heidiepte; het verkregen diagram wordt een slagdiagram genoemd. Bij een goede keuze van heiblok (met voldoend slagenergie) zal onder gelijke omstandigheden meestal een duidelijke correlatie te zien zijn tussen slag– en sondeerdiagram;

5.1, 2, e

- Opslag, transport en het onder de stelling brengen van de geprefabriceerde betonpalen dient te geschieden conform de verwerkingsrichtlijnen van de leverancier;
- De paal dient vooraf te worden gecontroleerd op zichtbare gebreken, de haaksheid van de zijden, de kopse einde en voeteinde van de geprefabriceerde betonpaal;
- Tijdens het heien van de palen dient gelet te worden op het in verticale zin verlopen en/of in horizontale vlak weglopen van de paal;
- 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 heimuts is een buffer tussen de paalkop en het valgewicht, dat als doel heeft de paalkop te beschermen tegen de grote impact van het heiblok. In de muts bevindt zich zowel aan de boven- als onderzijde een mutsvulling. De vulling van de muts dient te bestaan uit twee lagen kruislings bevestigd naaldhout met een minimale dikte van 120 mm of een vulling met gelijke dempingseigenschappen. De inwendig afmeting van de heimuts dient tot maximaal 20 mm groter te zijn dan de afmeting van de paalkop en/of de oplanger;
- De vulling moet zo vaak als nodig worden gewisseld om schade aan de paalkop te voorkomen;
- De geleiding van het heiblok moet zodanig zijn dat de paal door het blok centrisch wordt belast;
- 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;
- Vuistregels die in de praktijk redelijk voldoen, komen neer op het volgende. De massa van het vallende deel van het blok moet 0,5 tot 1,0 x de paalmassa zijn. Bij dieselblokken liggen de getallen op 0,5 tot 0,75, terwijl bij hydraulische blokken de voorkeur uitgaat naar 0,75 tot 1,0. Deze verhoudingsgetallen zijn maatstaf voor het risico van het optreden van trekscheuren in een gegeven paal en niet, zoals ten onrechte vaak wordt verondersteld, voor de lengte van de paal. Bij lagere waarden, 0,5 tot 0,75 - afhankelijk van het bloktype -, is het risico van trekscheuren reëel en bij een groter verhoudingsgetal dan 1,0 neemt het risico verder sterk af;
- 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.

Heitoezicht

Gezien de vele factoren die het heiwerk kunnen beïnvloeden, is deskundig toezicht een vereiste. Toezicht dient 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 hoeveel 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;
- Horizontale belastingen op de palen, door b.v. het verplaatsen van boorstelling, transport van beton en/of wapening, etc., in de bouwput, alsmede het ontgraven van de bouwput, dienen te worden vermeden in verband met de kans op het ontstaan van schade aan de palen. Dit geldt vooral voor gedeeltelijk gewapende palen.

5.1, 2, e

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” trillingssnelheden 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 Bouwlawaai VROM, Wet Milieubeheer (stiltegebieden), Nationaal Milieubeleidsplan 4 (doelstellingen voor geluidsbelasting binnen de ecologische hoofdstructuur).

Controle

Bij de geheide palen, kan de kwaliteit te worden gecontroleerd met behulp van akoestische metingen. Het aantal door te meten palen wordt mede bepaald door eventuele onregelmatigheden tijdens de uitvoering.

Bij in de grondgevormde palen, dient de kwaliteit te worden gecontroleerd met behulp van akoestische metingen, conform CUR 109 "Akoestisch doormeten funderingspalen", zo nodig in combinatie met ontgraven van de bovenste deel van de paalschacht. Eventuele breuken en/of discontinuïteiten in de betondoorsnede kunnen hiermede worden vastgesteld. Het aantal door te maten 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", waaronder:

- Paalnummer;
- Installatiematerieel;
- Dwarsdoorsnede en lengte van de paal;
- Datum en tijd van installatie (inclusief onderbrekingen in het installatieproces);
- Betonsamenstelling, gebruikte volume beton en methode van betonstorten van in de grondgevormde palen;
- Voor in het werk gestorte paal, gegevens over de wapening;
- Waarden die een maat zijn voor de heiweerstand, zoals gewicht en valhoogte of energieniveau van de hamer, slagfrequentie en aantal slagen per 0,25 m indringing;
- Bereikte paalpuntniveaus (ten opzichte van een vast peil op of dichtbij de bouwplaats
- Volgorde van installatie;
- Obstakels en eventuele andere beperkingen voor de paalinstallatie;
- Afwijkingen van de plaats, de richting en de bereikte paalpuntniveaus.

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.