52

RAPPORT

PAALDRUKWEERSTAND (NEN 9997–1)
PAALTECHNISCHE BEREKENING
WIJZIGING 1

Project:

Amsterdam

Spuistraat 210

Verbouwing 'Bungehuis'

Behoort bij besluit

BWT 1903953
Gemerkt DGK1-2

Gemeente Amsterdam Centrum

VAN ROSSUM RAADGEVENDE INGENIEURS
Westblaak 5e
3012 KC Rotterdam
rotterdam@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

O Geen opmerkingen
O Zie opmerkingen
O Indiening BWT
O Ter informatie

Datum: 10.10.2016
Paraaf: fvg

Projectnummer : *W2016.485*

Volgnummer : 2

Datum : 10 oktober 2016

Opdrachtgever : *P. van 't Wout Funderingstechnieken B.V.*
Postbus 431
2740 AK Waddinxveen
Tel. 0182 - 641812

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 :

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

en

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

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.

Bepaling van de maximum puntweerstand

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

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

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:

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

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).

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:

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

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;

$h_{i}j$ = 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 ($K_{o;j;rep} \cdot \tan \delta_{j;rep}$) 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:

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

Voor laag *j* = *k*:

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

Onder laag *j* = *k*:

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

waarin:

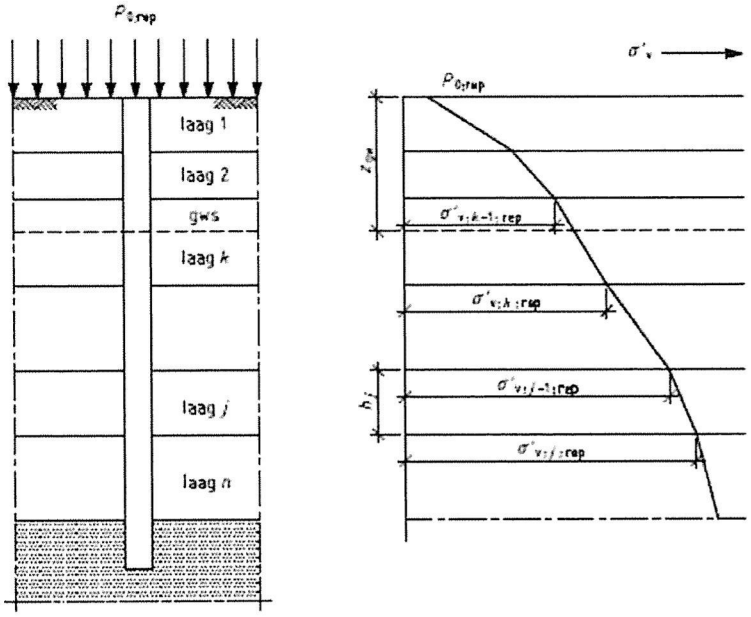
$\gamma'_{j;rep}$ = de karakteristieke waarde van het effectief volumiek gewicht van de grond van laag *j* bepaald volgens 3.1 van NEN 9997–1:
- boven de grondwaterstand is $\gamma'_{j;k} = \gamma_{j;k}$;
- onder de grondwaterstand is $\gamma'_{j;k} = \gamma_{j;sat;k} - \gamma_w$
  waarbij γ_w is het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

$p_{sur;rep}$ = 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:

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

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.

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

ALGEMENE GEGEVENS

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen
Datum : 07-10-2016
Bestand : C:\Users\Charles\OneDrive - H.F.C. Weijde (Geo)Advies & Expertise\2016\W2016.485 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing 'Bungehuis'\W2016485 SIP-palen - 2.pvw
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	C1:2015	NB:2015
	NEN 9997-1:2011	C2:2015	

PAALGEGEVENS SIP Ø 114/180/300 mm

Type : Eigen paal
Basispaaltype : Geheide paal (beton)
Wijze van installeren : Schroeven
Wijze van terugwinnen : n.v.t.
Diameter [m] : 0.180
Elasticiteitsmodulus [N/mm²] : 20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.008 (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 : 0.90
Paalvoetvormfactor β : 1.00
Type lastzakkingsdiagram : Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$: 0.75
Groutomhulling : NEE
Verzwaarde voet - Vorm : Rond
Hoogte [m] : 1.000
Diameter [m] : 0.400
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$: 0.75

REKENGEGEVENS Ø 300 DKM 1

Berekening : Ontwerpend
Rekenmethode : Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en) : DKM1 (01)

Stijf bouwwerk : NEE
Paalgroep : NEE
Aantal palen : 1 Aantal sonderingen : 1
Factor $\xi_{3\ (gem)}$: 1.32 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$: 1.32 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R : 1.20
$\gamma_{f;nk}$: 1.0
$q_{b;max}$ begrenzen op 12 MN/m² : NEE
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.5 * $R_{b;cal;max;i}$: NEE

Paal : SIP Ø 180_300 mm
Niveau paalkop [m] : N.A.P. -0.45
Paalpuntniveau : N.A.P. -27.00
Bovenbel. [kN/m²] : 0.00

RESULTATEN Ø 300 DKM 1

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.
Sondering DKM1 (01)

Niveau [m]	$F_{netto;d}$ [kN]
-27.00	611

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

DETAIL BER. DRAAGVERMOGEN Ø 300 DKM 1; DKM1 (01); N.A.P.-27.00

Uitgangspunten
- gehanteerde sondering : DKM1 (01)
- gehanteerde paal : SIP Ø 180_300 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-27.00 m
- traject positieve kleef : N.A.P.-22.00 m
  tot: N.A.P.-27.00 m

Maximale draagkracht van de paalpunt

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

$q_{b;max} = 0.5 * \alpha_p * \beta * s * ((q_{c;I;gem} + q_{c;II;gem})/2 + q_{c;III;gem})$
$= 11.695$ MPa

waarin :		in dit geval :
$q_{c;I;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject I	= 14.82 MPa
$q_{c;II;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject II	= 12.61 MPa
$q_{c;III;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject III	= 12.28 MPa
α_p	= paalklassefactor	= 0.90 -
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:

$R_{b;cal;max;i} = A_b * q_{b;max;i}$
$= 827$ kN

waarin :		in dit geval :
A_b	= oppervlak van de paalvoet	= 0.0707 m²

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:
$R_{s;cal;max;i} = O_{s;\Delta l;gem} * \Sigma\, q_{s;max;z;i} * d_z$
$= 412$ kN

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

Nr	Laag	Nivo [m]	$O_{s;gem}$ [m]	α_s	Perc. [%]	$q_{c;z;a}$ [MPa]	$q_{s;max}$ [MPa]	d_z [m]	$R_{c;cal}$ [kN]
--	----	-22.00	--	--	--	--	--	--	--
1	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-22.17	0.57	0.0080	100	0.96	0.008	0.17	0.7
2	Zand - Schoon - Vast	-22.50	0.57	0.0080	100	1.15	0.009	0.33	1.7
3	Zand - Schoon - Vast	-22.59	0.94	0.0080	100	1.58	0.013	0.09	1.1
4	Zand - Schoon - Matig	-22.79	0.94	0.0080	100	2.46	0.020	0.20	3.7
5	Zand - Schoon - Vast	-27.00	0.94	0.0080	100	12.74	0.102	4.21	404.5
totaal			0.90	0.0080		10.97	0.088	5.00	411.8

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

Maximale draagkracht

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

$R_{c;cal;i} = R_{b;cal;max;i} + R_{s;cal;max;i}$
$= 1238$ kN $(= 827 + 412)$

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

$R_{c;k} = R_{c;cal} / \xi_{3\ (n=1)}$
$= 938$ kN

waarin :		in dit geval :	
$\xi_{3\ (n=1)}$	= factor volgens art. A.3.3.3 bij 1 sondering =	1.32	-

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

$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R$
$= 782$ 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	-

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

DETAIL BER. NEGATIEVE KLEEF Ø 300 DKM 1; DKM1 (01); N.A.P.-27.00

Uitgangspunten
- gehanteerde sondering : DKM1 (01)
- gehanteerde paal : SIP Ø 180_300 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-27.00 m
- paalkopniveau : N.A.P. -0.45 m
- traject negatieve kleef : N.A.P. 2.64 m
  tot : N.A.P.-12.50 m
- $p_{sur;rep}$: 39.67 kN/m^2

Berekening negatieve kleef

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

$F_{nk;rep} = O_{s;gem} * \Sigma\, d_j * K_{0;j;k} * \tan \delta_{j;k} * (\sigma'_{v;j-1;rep} + \sigma'_{v;j;rep})/2.0$
$= -170.6$ 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 representatieve waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i
$\delta_{j;rep}$ = de representatieve waarde van de wrijvingshoek
$\sigma'_{v;j;rep}$ = de representatieve 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']	$K_{0;j} * \tan(\delta_i)$	$\sigma'_{v;j;rep}$ [kN/m^2]
--	----	-0.45	--	--	--	39.67
1	Veen - Matig voorbelast - Mati	-0.96	0.51	0.57	0.25	41.20
2	Zand - Schoon - Vast	-1.16	0.20	0.57	0.25	43.60
3	Grind - Zwak siltig - Vast	-1.56	0.40	0.57	0.25	48.40
4	Zand - Schoon - Vast	-2.76	1.20	0.57	0.25	62.80
5	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-3.16	0.40	0.57	0.25	67.20
6	Klei - Zwak zandig - Vast	-3.56	0.40	0.57	0.25	71.60
7	Klei - Organisch - Matig	-4.76	1.20	0.57	0.25	78.80
8	Klei - Zwak zandig - Vast	-4.96	0.20	0.57	0.25	81.00
9	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-5.36	0.40	0.57	0.25	85.40
10	Klei - Zwak zandig - Vast	-5.56	0.20	0.57	0.25	87.60
11	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-6.16	0.60	0.57	0.25	94.20
12	Zand - Schoon - Vast	-6.36	0.20	0.57	0.25	96.60
13	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-6.56	0.20	0.57	0.25	98.80
14	Zand - Schoon - Vast	-6.96	0.40	0.57	0.25	103.60
15	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-7.16	0.20	0.57	0.25	105.80
16	Zand - Schoon - Vast	-7.56	0.40	0.57	0.25	110.60
17	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-7.76	0.20	0.57	0.25	112.80
18	Zand - Schoon - Vast	-8.36	0.60	0.57	0.25	120.00
19	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-8.95	0.59	0.57	0.25	126.49
20	Zand - Schoon - Vast	-9.15	0.20	0.57	0.25	128.89
21	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-9.75	0.60	0.57	0.25	135.49
22	Klei - Zwak zandig - Vast	-10.15	0.40	0.57	0.25	139.89
23	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-11.95	1.80	0.57	0.25	159.69

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

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

Nr	Laag	Nivo [m]	Hoogte [m]	$O_{s;gem}$ [m^1]	$K_{0;j}*\tan(\delta_i)$	$\sigma'_{v;j;rep}$ [kN/m^2]
24	Klei - Zwak zandig - Vast	-12.50	0.55	0.57	0.25	165.74

Rekenwaarde
De rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting van een alleenstaande paal bedraagt :
$F_{nk;d} = F_{nk;rep} * \gamma_{f;nk} = -170.6$ kN

waarin :		in dit geval :
$\gamma_{f;nk}$	= belastingfactor voor de negatieve kleef (art. 7.3.2.2 (b))	1.0 -

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

SAMENVATTINGSTABEL Ø 300 DKM 1

Uitgangspunten
- paal : SIP Ø 180_300 mm
- paaltype : Eigen paal
- schachtafmeting : 180 mm

Paalklassefactor α_p : 0.90
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.008 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Correlatiefactor $\xi_{3(n=1)}$: 1.32

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]
DKM1 (01)	2.64	-27.00	826.7	411.8	1238.5	781.9	-170.6	611.3

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

OVERZICHT NETTO DRAAGVERMOGEN DRUKPALEN

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

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	$R_{c;netto;d}$ Ø 300 DKM [kN]
DKM1 (01)	2.64	-27.00	611

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

ALGEMENE GEGEVENS

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen
Datum : 07-10-2016
Bestand : C:\Users\Charles\OneDrive - H.F.C. Weijde (Geo)Advies & Expertise\2016\W2016.485 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing 'Bungehuis'\W2016485 DKM 2.pvw
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	C1:2015	NB:2015
	NEN 9997-1:2011	C2:2015	

PAALGEGEVENS SIP Ø 114/180/300 mm

Type : Eigen paal
Basispaaltype : Geheide paal (beton)
Wijze van installeren : Schroeven
Wijze van terugwinnen : n.v.t.
Diameter [m] : 0.180
Elasticiteitsmodulus [N/mm²] : 20000
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.008 (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 : 0.90
Paalvoetvormfactor β : 1.00
Type lastzakkingsdiagram : Grondverdringende paal
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$: 0.75
Groutomhulling : NEE
Verzwaarde voet - Vorm : Rond
Hoogte [m] : 1.000
Diameter [m] : 0.400
Verm.factor * $\varphi'_{j;k}$: 0.75

REKENGEGEVENS Ø 300 DKM 1

Berekening : Ontwerpend
Rekenmethode : Drukpalen volgens NEN-EN 1997-1, art. 7.6.2
Sondering(en) : DKM2 (02)

Stijf bouwwerk : NEE
Paalgroep : NEE
Aantal palen : 1 Aantal sonderingen : 1
Factor $\xi_{3\ (gem)}$: 1.32 (handmatig)
Factor $\xi_{4\ (min)}$: 1.32 (handmatig)
Weerstandsfactor γ_R : 1.20
$\gamma_{f;nk}$: 1.0
$q_{b;max}$ begrenzen op 12 MN/m² : NEE
$R_{s;cal;max;i}$ begrenzen op 0.5 * $R_{b;cal;max;i}$: NEE

Paal : SIP Ø 180_300 mm
Niveau paalkop [m] : N.A.P. -0.45
Paalpuntniveau : N.A.P. -27.00
Bovenbel. [kN/m²] : 0.00

RESULTATEN Ø 300 DKM 1

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.
Sondering DKM2 (02)

Niveau [m]	$F_{netto;d}$ [kN]
-27.00	921

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

DETAIL BER. DRAAGVERMOGEN Ø 300 DKM 1; DKM2 (02); N.A.P.-27.00

Uitgangspunten
- gehanteerde sondering : DKM2 (02)
- gehanteerde paal : SIP Ø 180_300 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-27.00 m
- traject positieve kleef : N.A.P.-16.00 m
  tot: N.A.P.-27.00 m

Maximale draagkracht van de paalpunt

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

$q_{b;max} = 0.5 * \alpha_p * \beta * s * ((q_{c;I;gem} + q_{c;II;gem})/2 + q_{c;III;gem})$
$= 11.604$ MPa

waarin :		in dit geval :
$q_{c;I;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject I	= 13.05 MPa
$q_{c;II;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject II	= 12.84 MPa
$q_{c;III;gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject III	= 12.84 MPa
α_p	= paalklassefactor	= 0.90 -
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:

$R_{b;cal;max;i} = A_b * q_{b;max;i}$
$= 820$ kN

waarin :		in dit geval :
A_b	= oppervlak van de paalvoet	= 0.0707 m²

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:
$R_{s;cal;max;i} = O_{s;\Delta l;gem} * \Sigma\, q_{s;max;z;i} * d_z$
$= 932$ kN

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

Nr	Laag	Nivo [m]	$O_{s;gem}$ [m]	α_s	Perc. [%]	$q_{c;z;a}$ [MPa]	$q_{s;max}$ [MPa]	d_z [m]	$R_{c;cal}$ [kN]
--	----	-16.00	--	--	--	--	--	--	--
1	Zand - Schoon - Vast	-16.54	0.57	0.0080	100	10.63	0.085	0.54	26.0
2	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-17.00	0.57	0.0080	100	12.00	0.096	0.46	25.0
3	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-17.74	0.94	0.0080	100	10.02	0.080	0.74	55.9
4	Zand - Schoon - Vast	-17.94	0.94	0.0080	100	10.46	0.084	0.20	15.8
5	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-18.74	0.94	0.0080	100	11.17	0.089	0.80	67.4
6	Klei - Zwak zandig - Vast	-19.14	0.94	0.0000	0	5.72	0.000	0.40	0.0
7	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-19.33	0.94	0.0080	100	8.50	0.068	0.19	12.2

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

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

Nr	Laag	Nivo [m]	$O_{s;gem}$ [m]	α_s	Perc. [%]	$q_{c;z;a}$ [MPa]	$q_{s;max}$ [MPa]	d_z [m]	$R_{c;cal}$ [kN]
8	Klei - Zwak zandig - Vast	-19.53	0.94	0.0000	0	9.44	0.000	0.20	0.0
9	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-20.53	0.94	0.0080	100	7.81	0.062	1.00	58.9
10	Klei - Zwak zandig - Vast	-20.93	0.94	0.0000	0	5.08	0.000	0.40	0.0
11	Zand - Schoon - Vast	-27.00	0.94	0.0080	100	14.67	0.117	6.07	671.4
totaal			0.91	0.0076		12.22	0.093	11.00	932.4

Maximale draagkracht

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

$R_{c;cal;i} = R_{b;cal;max;i} + R_{s;cal;max;i}$
$= 1753$ kN $(= 820 + 932)$

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

$R_{c;k} = R_{c;cal} / \xi_{3\ (n=1)}$
$= 1328$ kN

waarin :		in dit geval :
$\xi_{3\ (n=1)}$	= factor volgens art. A.3.3.3 bij 1 sondering	= 1.32 -

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

$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R$
$= 1106$ 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 -

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

DETAIL BER. NEGATIEVE KLEEF Ø 300 DKM 1; DKM2 (02); N.A.P.-27.00

Uitgangspunten
- gehanteerde sondering : DKM2 (02)
- gehanteerde paal : SIP Ø 180_300 mm
- paalpuntniveau : N.A.P.-27.00 m
- paalkopniveau : N.A.P. -0.45 m
- traject negatieve kleef : N.A.P. 2.65 m
  tot : N.A.P.-12.50 m
- $p_{sur;rep}$: 53.20 kN/m^2

Berekening negatieve kleef

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

$F_{nk;rep}$ = $O_{s;gem} * \Sigma\, d_j * K_{0;j;k} * \tan \delta_{j;k} * (\sigma'_{v;j-1;rep} + \sigma'_{v;j;rep})/2.0$
= -185.0 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 representatieve waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i
$\delta_{j;rep}$ = de representatieve waarde van de wrijvingshoek
$\sigma'_{v;j;rep}$ = de representatieve 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]	$K_{0;j} * \tan(\delta_i)$	$\sigma'_{v;j;rep}$ [kN/m^2]
--	----	-0.45	--	--	--	53.20
1	Grind - Zwak siltig - Vast	-0.55	0.10	0.57	0.25	54.40
2	Veen - Matig voorbelast - Mati	-0.75	0.20	0.57	0.25	55.00
3	Grind - Zwak siltig - Vast	-0.95	0.20	0.57	0.25	57.40
4	Klei - Zwak zandig - Vast	-1.15	0.20	0.57	0.25	59.60
5	Klei - Organisch - Matig	-1.35	0.20	0.57	0.25	60.80
6	Klei - Zwak zandig - Vast	-1.75	0.40	0.57	0.25	65.20
7	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-1.95	0.20	0.57	0.25	67.40
8	Klei - Zwak zandig - Vast	-2.15	0.20	0.57	0.25	69.60
9	Klei - Organisch - Matig	-4.75	2.60	0.57	0.25	85.20
10	Klei - Zwak zandig - Vast	-5.15	0.40	0.57	0.25	89.60
11	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-6.15	1.00	0.57	0.25	100.60
12	Zand - Schoon - Vast	-6.75	0.60	0.57	0.25	107.80
13	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-6.95	0.20	0.57	0.25	110.00
14	Zand - Schoon - Vast	-8.75	1.80	0.57	0.25	131.60
15	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-9.15	0.40	0.57	0.25	136.00
16	Zand - Schoon - Vast	-9.55	0.40	0.57	0.25	140.80
17	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-9.75	0.20	0.57	0.25	143.00
18	Klei - Zwak zandig - Vast	-10.15	0.40	0.57	0.25	147.40
19	Zand - Sterk siltig - Kleiig	-12.14	1.99	0.57	0.25	169.29
20	Klei - Zwak zandig - Vast	-12.50	0.36	0.57	0.25	173.25

Rekenwaarde
De rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting van een alleenstaande paal bedraagt :
$F_{nk;d}$ = $F_{nk;rep} * \gamma_{f;nk}$ = -185.0 kN

waarin : in dit geval :
$\gamma_{f;nk}$ = belastingfactor voor de negatieve kleef (art. 7.3.2.2 (b)) 1.0 -

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

SAMENVATTINGSTABEL Ø 300 DKM 1

Uitgangspunten
- paal : SIP Ø 180_300 mm
- paaltype : Eigen paal
- schachtafmeting : 180 mm

Paalklassefactor α_p : 0.90
Factor α_s (tabel 7.c EC 7.1) : 0.008 (zandlagen; voor kleilagen zie tabel 7.d)
Correlatiefactor $\xi_{3(n=1)}$: 1.32

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]
DKM2 (02)	2.65	-27.00	820.2	932.4	1752.7	1106.5	-185.0	921.5

Project : W2016.483 Amsterdam - Spuistraat 210 - Verbouwing Bungehuis
Onderdeel : SIP-palen

OVERZICHT NETTO DRAAGVERMOGEN DRUKPALEN

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

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	$R_{c;netto;d}$ Ø 300 DKM [kN]
DKM2 (02)	2.65	-27.00	921

Knikberekening

Algemeen
Aanvullend op het laboratoriumonderzoek heeft de Technische Universität München (TUM) een nieuw wiskundig model opgesteld gebaseerd op een lineair elastisch plastische bedding. Om een bovengrens aan de kniklast te definiëren wordt een plastisch bezwijkcriterium vastgesteld. De staaf gaat uit van het principe van een staaf met een continue kniklengte (vrij vervormbaar.

Modelbeschrijving
De basis voor het model van de (TUM) is gebaseerd op de Eurlerse/Engerse kniktheorie, waarbij de stabiliteit van een staaf dat onderhevig is aan een normaalkracht en excentriciteit wordt beschouwd. De grond is gemodelleerd als een lineair elastisch perfect plastische (LEPP) bedding en de maatgevende eigenvorm is aangenomen als een enkele knikvorm. Verder zijn in het model geometrische imperfecties geïmplementeerd gebaseerd op de EC3; deze zijn gemodelleerd als extra excentriciteit.
Verder maakt het model onderscheid tussen het bezwijken als gevolg van een overschreden knikstabiliteit en het plastisch bezwijken van de paal. Dit betekent dat het model dus zowel wiskundige als mechanische sterkte van de staaf beschouwt.

Het basis mechanicamodel, gebruikt door de TUM, blijft echter de staaf op een LEPP bedding.
De oplossing is gegeven door hier onderstaande vergelijking, waarin $e_0 = l_{buc} / imp$.

$$N_{buc} = \frac{w_{ki} \cdot \left(\frac{n \cdot \pi}{L}\right)^2 \cdot EI + k \cdot w_{ki} \cdot \left(\frac{L}{n \cdot \pi}\right)^2}{(w_{ki} + e_0)}$$

Waarin:

N_{buc} = De maatgevende kniklast [kN]

w_{ki} = de elastische grens van de bedding [m]

k = de lineaire beddingconstante [kN/m^2]

e_0 = de voorvervorming [m]

L = lengte van het systeem [m]

Omdat er is aangenomen dat de kniklengte zich onafhankelijk van de randvoorwaarden kan ontwikkelen wordt de LEPP oplossing omschreven. Uit de mechanica volgt $L_{buc} = n = l / n$. Substitutie in de LEPP oplossing van de hier bovenstaande vergelijking geeft:

$$N_{ki} = \frac{w_{ki} \cdot \left(\frac{\pi}{L_{buc}}\right)^2 \cdot EI + k \cdot w_{ki} \cdot \left(\frac{L_{buc}}{\pi}\right)^2}{\left(w_{ki} + \frac{L_{buc}}{imp}\right)}$$

Voor de bepaling van de maximale grondmobilisatie w_{ki} en de beddingconstante k, kunnen empirische relaties worden gebruikt. Voor de koppeling tussen verplaatsing en gronddruk kunnen bilaterale p-y relaties gebruikt worden op basis van van bijvoorbeeld de API p-y curve.

De, in het model, voorgestelde relatie is gegeven door (Vogt et al 2005):

$$w_{ki} = \frac{6 \cdot C_u \leq p_u \leq 11 \cdot C_u}{60 \cdot C_u \leq k \leq 110 \cdot C_u}$$

In de vergelijking voor N_{ki}, wordt de effectieve staaflengte L_{buc} bepaald door het minimaliseren van N_{ki}.
De minimaal gevonden normaalkracht N_{ki} is de maatgevende kniklast met de bijbehorende L_{buc}.