

Triops Advies BV
Wilhelminastraat 1a
Postbus 44
6850 AA Huissen
T 026-3886416
F 026-3886417
info@triopsadvies.nl

Voorbeeldberekeningen paal draagvermogen pulspalen

Gebaseerd op een fictieve sondering!

opdrachtgever : Niels Funderingstechniek BV
Postbus 185
6930 AD WESTERVOORT

Project : Voorbeeldberekening pulspalen
Projectnr. : 2020041BR001

Auteur(s) : ing. R.A. Giesen
Gecontroleerd : ing. R.A. Sünnen

Datum : 5 oktober 2020
Status : Definitief
Revisie : 0

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'R.A. Giesen', is written over the text of the author and reviewer.

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	02
2. Voorbeeldberekening pulspaal rond 219 mm	03
3. Voorbeeldberekening pulspaal rond 273 mm	05

INLEIDING

In opdracht van Niels Funderingstechniek BV zijn door Triops Advies BV indicatieve berekeningen gemaakt voor stalen pulspalen. Hiermee is voor constructeurs, die geen ervaring hebben met het berekenen van pulspalen, af te leiden welke paalfactoren gehanteerd dienen te worden.

Op basis van een fictieve (niet bestaande) sondering is voor pulspalen rond 219 mm en rond 273 mm berekend wat de opneembare belasting zou zijn, bij die fictieve uitgangspunten.

Standaard rekenwaarden voor de opneembare paalbelastingen zijn niet te geven, omdat elke ondergrond anders is.

Geadviseerd is, op basis van de fictieve berekeningen, om de paalbelasting echter wel te beperken tot maximaal 150 kN per paal. Wat niet wil zeggen dat dit ook haalbaar is op de bewuste locatie.

De werkelijke opneembare paalbelasting is namelijk geheel afhankelijk van de plaatselijke ondergrond. Hiervoor dient dus één of meerdere sonderingen beschikbaar te zijn. Hiermee kan de constructeur van het betreffende project de paalberekeningen maken voor die lokale situatie en toetsen of deze hoger zijn dan de optredende paalbelastingen.

De indicatieve berekeningen mogen dus niet worden gebruikt om hieraan een draagkracht voor pulspalen te ontleen.

draagkracht drukpalen volgens NEN-EN 1997-1 en NEN 9997-1

werk Niels stalen buispalen
werknummer werknummer
onderdeel onderdeel

algemene gegevens

paaltype pulspaal
omschrijving van het vaste punt NAP
ligging van rekenpeil tov vast punt L0= 0 m
schachtafmeting d1= 0,219 m
voetafmeting d2= 0,219 m
voetheogte H= 0 m
betreft het een stijf bouwwerk : nee
aantal sonderingen n= 1 stuks
begin positieve kleeft t.o.v. rekenpeil L1= 0 m
voor α_p rekenen met waarden na 1 januari 2017 = ja

sondering D-fictief $R_{c,net,d} = 125$ kN

specifieke gegevens per sondering

te berekenen sondering = D-fictief -
paalpuntniveau t.o.v. het rekenpeil L2= 6 m
lengte gebied II (onder de punt) = 4 * D_{eq}
7.3.2.2(j) overconsolidatiegraad OCR= 1 -
rekenwaarde maximum paalbelasting $F_{c,d} = 125$ kN

tabel met waarden voor $R_{s,k}$ bij >1 sonderingen

209			
-----	--	--	--

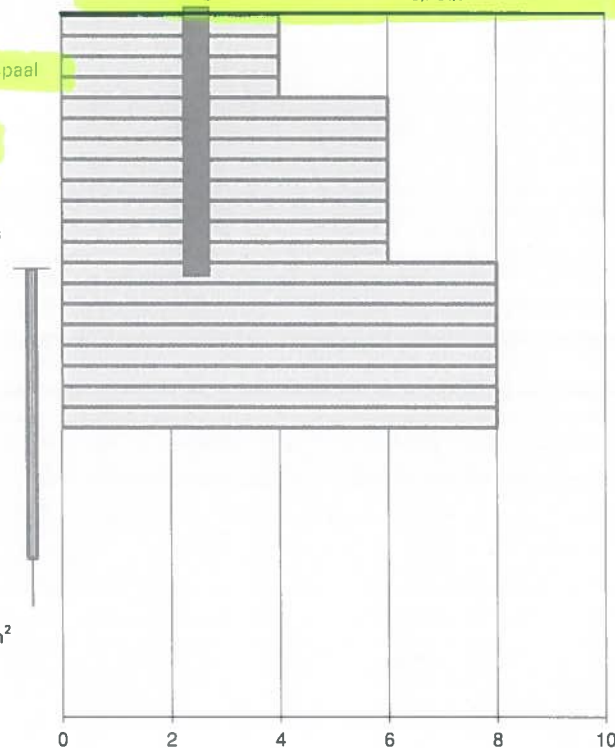
waarde bij sondering D-fictief = 209 kN

negatieve kleeft

bovenbelasting = 0 kN/m²

laagdikten in meters t.o.v rekenpeil

laag	van	tot	$\gamma_{l,rep}$
1	0	0	0
2	0	-	-
3	0	-	-



rekenwaarde van de netto draagkracht (incl. negatieve kleeft)

$R_{c,net,d} = R_{c,d} - R_{s,nk,d} = 125 - 0 = 125$ kN

7.6.2.1(1) unitycheck $F_{c,d} / R_{c,net,d} = 125 / 125 = 1,00$

berekening negatieve kleeft

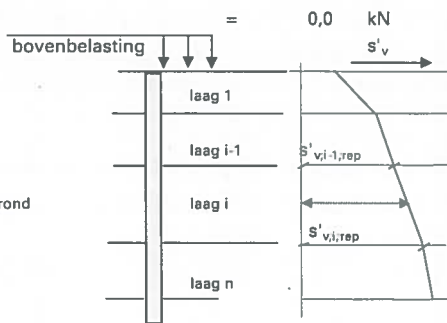
De representatieve waarde van de negatieve kleeftbelasting van een alleenstaande paal bedraagt:

NEN 9997 art. 7.3.2.2(d)

$R_{s,nk,rep} = O_{s,\Delta L,gem} * \sum_{i=1}^{i=n} [h_i * K_{o,i} * \tan \delta_i * ((\sigma'_{v,i-1,rep} + \sigma'_{v,i,rep}) / 2)]$

waarin:

- $R_{s,nk,rep}$ = de representatieve waarde van de negatieve kleeft in kN
- $O_{s,\Delta L,gem}$ = omtrek van de paalschacht in meters
- h_i = dikte van de grondlaag in meters
- $K_{o,i,rep}$ = de representatieve waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i (-)
- $\delta_{l,rep}$ = de representatieve waarde van de wrijvingshoek tussen paalschacht en grond in laag i met: $\delta_{l,rep} = 0,75 * \phi_{l,rep}$ voor betonpalen (tevens moet voldaan zijn aan: $K_{o,i} * \tan \delta_i \geq 0,25$)
- $\phi_{l,rep}$ = de representatieve waarde van de hoek van inwendige wrijving in graden
- $\sigma'_{v,i,rep}$ = de representatieve effectieve verticale spanning onderin laag i in kN/m²



berekening negatieve kleeft in laag	$O_{s,\Delta L,gem}$	h_i	$K_{o,i,tan \delta_i} (\sigma'_{v,i-1,rep} + \sigma'_{v,i,rep}) / 2$	$R_{s,nk,rep,i}$
laag 1	0,688	0	0,25	0
laag 2	0,688	0	0,25	0,0
laag 3	0,688	0	0,25	0,0
				0,0

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

$R_{s,nk,d} = R_{s,nk,rep} * \gamma_{f,nk} = 0,0 * 1,00 = 0,0$ kN
art. 7.3.2.2(b) $\gamma_{f,nk}$ = belastingfactor voor de negatieve kleeft (berekening volgens 7.6.2.2(d)) = 1,00



draagkracht van de punt

equivalente punt diameter		D_{eq}	=	1	0,219	=	0,219	m
invloedsgebied boven de punt	8	$*D_{eq}$	=	8	0,219	=	1,75	m
invloedsgebied onder de punt	4	$*D_{eq}$	=	4	0,219	=	0,88	m

NEN 9997 art. 7.6.2.3 (e)

$q_{b,max}$	=	$0,5 \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \cdot \left\{ \left(\frac{q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem}}{2} + q_{c,III,gem} \right) \right\}$	=	2,52	MPa
$q_{b,max}$	=	$0,5 \cdot 0,35 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot \left\{ \left(\frac{8,00 + 8,00}{2} + 6,38 \right) \right\}$	=	8,00	MPa
$q_{c,I,gem}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I	=	8,00	MPa
$q_{c,II,gem}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject II	=	8,00	MPa
$q_{c,III,gem}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject III	=	6,38	MPa

NEN 9997.1 art. 7.6.2.3 tabel 7.c

α_p	=	paalklassefactor	=	1,00	*	0,35	=	0,35	-	
β	=	factor voor de paalvoet	=				=	1,00	-	
art. 7.6.2.3 (h)	s	=	factor voor de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet	r	=	1,00				
	$s = \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) / \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)$									
reductiefactor	=	reductiefactor voor $q_{b,max}$ i.v.m. overconsolidatiegraad	=				=	1,00	-	
art. 7.6.2.3 (j)	$q_{b,max,r}$	=	de gereduceerde puntweerstand $\sqrt{\left(\frac{1}{1} \right) \cdot 2,52}$				=	2,52	MPa	
$R_{b,d}$	(7.9)	=	$A_{punt} \cdot q_{b,max,r}$	=	0,0377	2,52	10^3	=	95	kN
A_{punt}	=	oppervlak van de paalvoet	$0,785 \cdot 0,219^2$	=				=	0,038	m ²

paalschachtwrijving

NEN 9997 art. 7.6.2.3 (i)

$q_{s,max,z}$	=	$\alpha_s \cdot q_{c,z,a}$	=	0,005	5,52	=	0,0276	MPa
---------------	---	----------------------------	---	-------	------	---	--------	-----

waarin:

α_s	tabel 7.c	=	factor voor uitvoering en paaltype	=	1,00	*	0,005	=	0,005	-
$q_{c,z,a}$	=	gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend	=				=	5,52	MPa	

art. 7.6.2.3 (c)

De maximale schachtwrijvingkracht

$R_{s,d}$	(7.9)	=	$O_{s,\Delta L,gem} \cdot \Delta L \cdot q_{s,max,z}$	=	0,69	6,00	0,0276	10^3	=	114	kN
-----------	-------	---	---	---	------	------	--------	--------	---	-----	----

waarin:

$O_{s,\Delta L,gem}$	=	omtrek van de paalschacht	$4 \cdot 0,219 \cdot 0,785$	=				=	0,688	m
ΔL	=	traject schachtwrijving	$L2 - L1$	=	6,00	-	0,00	=	6,00	m

berekening (bruto) draagkracht

art. 7.6.2.3 (c) en (3)

(7.6)

$R_{c,d} = R_{b,d} + R_{s,d} = 95 + 114 = 209$ kN

art. 7.6.2.3 (b)

bij één sondering geldt $(R_{c,cal})_{gem} = (R_{c,cal})_{min}$

karakteristieke waarde punt draagkracht $R_{b,k} = \frac{R_{b,cal}}{\xi_3} = \frac{95}{1,39} = 68$ kN

karakteristieke waarde schachtwrijving $R_{s,k} = \frac{R_{s,cal}}{\xi_3} = \frac{114}{1,39} = 82$ kN

totaal karakteristieke draagkracht (7.8) $R_{c,k} = 68 + 82 = 150$ kN

totaal rekenwaarde draagkracht (7.7) $R_{c,d} = \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$

$R_{c,d} = \frac{68}{1,2} + \frac{82}{1,2} = 125$ kN

art. 7.6.2.3 (5)

bij meer dan één sondering geldt formule (7.8): $R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{gem}}{\xi_3} \text{ en } \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$

$(R_{c,cal})_{gem} = 209$ kN $R_{c,k} = \frac{(R_{c,cal})_{gem}}{\xi_3} = \frac{209}{1,39} = 150$ kN

$(R_{c,cal})_{min} = 209$ kN $R_{c,k} = \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} = \frac{209}{1,39} = 150$ kN

totale rekenwaarde draagkracht $R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma} = \frac{150}{1,20} = 125$ kN

opmerking

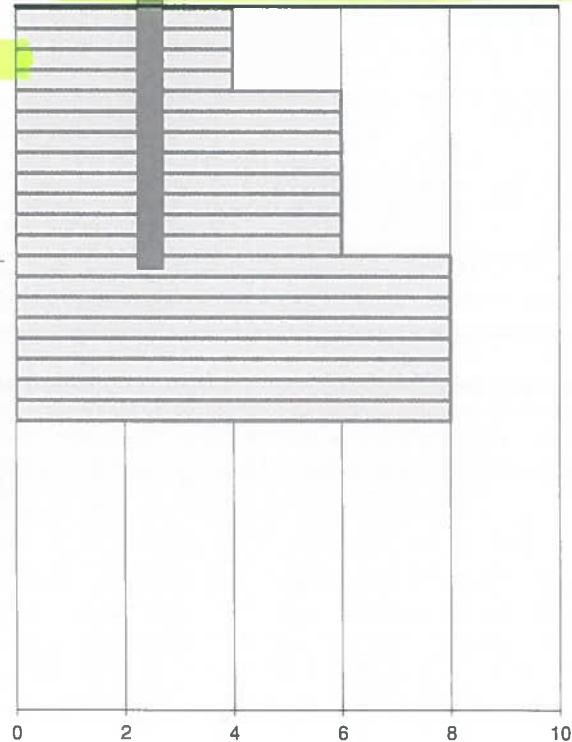
draagkracht drukpalen volgens NEN-EN 1997-1 en NEN 9997-1

werk Niels stalen buispalen
werknummer werknummer
onderdeel onderdeel

sondering D-fictief $R_{c,net,d} = 173$ kN

algemene gegevens

paaltype **pulspaal**
omschrijving van het vaste punt NAP
ligging van rekenpeil tov vast punt L0= 0 m
schachtafmeting d1= 0,273 m
voetafmeting d2= 0,273 m
voetheogte H= 0 m
betreft het een stijf bouwwerk : nee
aantal sonderingen n= 1 stuks
begin positieve kleeft t.o.v. rekenpeil L1= 0 m
voor α_p rekenen met waarden na 1 januari 2017 = ja



specifieke gegevens per sondering

te berekenen sondering = D-fictief -
paalpuntniveau t.o.v. het rekenpeil L2= 6 m
lengte gebied II (onder de punt) = 4 * D_{eq}
7.3.2.2(j) overconsolidatiegraad OCR= 1 -
rekenwaarde maximum paalbelasting $F_{c,d} = 125$ kN

tabel met waarden voor $R_{r,k}$ bij >1 sonderingen

289				
-----	--	--	--	--

waarde bij sondering D-fictief = 289 kN

negatieve kleeft

bovenbelasting = 0 kN/m²

laagdikten in meters t.o.v rekenpeil

laag	van	tot	$\gamma_{i,rep}$
1	0	0	0
2	0	-	-
3	0	-	-

rekenwaarde van de netto draagkracht (incl. negatieve kleeft)

$R_{c,net,d} = R_{c,d} - R_{s,nk,d} = 173 - 0 = 173$ kN

7.6.2.1(1) unitycheck $F_{c,d} / R_{c,net,d} = 125 / 173 = 0,72$

berekening negatieve kleeft

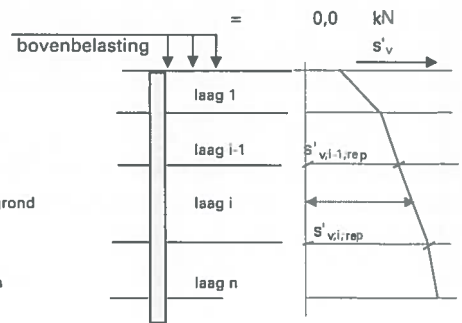
De representatieve waarde van de negatieve kleeftbelasting van een alleenstaande paal bedraagt:

NEN 9997 art. 7.3.2.2(d)

$R_{s,nk,rep} = O_{s,\Delta L,gem} * \sum_{i=1}^{n} [h_i * K_{o,i} * \tan \delta_i * ((\sigma'_{v,i-1,rep} + \sigma'_{v,i,rep}) / 2)]$

waarin:

- $R_{s,nk,rep}$ = de representatieve waarde van de negatieve kleeft in kN
- $O_{s,\Delta L,gem}$ = omtrek van de paalschacht in meters
- h_i = dikte van de grondlaag in meters
- $K_{o,i,rep}$ = de representatieve waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i (-)
- $\delta_{i,rep}$ = de representatieve waarde van de wrijvingshoek tussen paalschacht en grond in laag i met: $\delta_{i,rep} = 0,75 * \phi_{i,rep}$ voor betonpalen (tevens moet voldaan zijn aan: $K_{o,i} * \tan \delta_i \geq 0,25$)
- $\phi_{i,rep}$ = de representatieve waarde van de hoek van inwendige wrijving in graden
- $\sigma'_{v,i,rep}$ = de representatieve effectieve verticale spanning onderin laag i in kN/m²



berekening negatieve kleeft in laag	$O_{s,\Delta L,gem}$	h_i	$K_{o,i} \tan \delta_i$	$(\sigma'_{v,i-1,rep} + \sigma'_{v,i,rep}) / 2$	$R_{s,nk,rep,i}$
laag 1	0,858	0	0,25	0	0,0
laag 2	0,858	0	0,25	0	0,0
laag 3	0,858	0	0,25	0	0,0
					0,0

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

$R_{s,nk,d} = R_{s,nk,rep} * \gamma_{f,nk} = 0,0 * 1,00 = 0,0$ kN
art. 7.3.2.2(b) $\gamma_{f,nk}$ = belastingfactor voor de negatieve kleeft (berekening volgens 7.6.2.2(d)) = 1,00