



**Gemeente Rotterdam**

**Gemeentewerken**

Ingenieursbureau

## **Park Zestienhoven**

**Bruggen 2<sup>e</sup> fase**

**Verkeersbrug B4**

**Geotechnisch onderzoek en funderingsadvies**

**Projectcode**

R110201-P16H (2003-153)

**Datum**

17 februari 2011

**status**

definitief

**Opdrachtgever**

OntwikkelingsBedrijf Rotterdam

**Opsteller**

Ing. S. Bardak-Hristov

**Begeleider**

Ir. R. Andringa

**Paraaf Opsteller:**

**Paraaf Begeleider:**

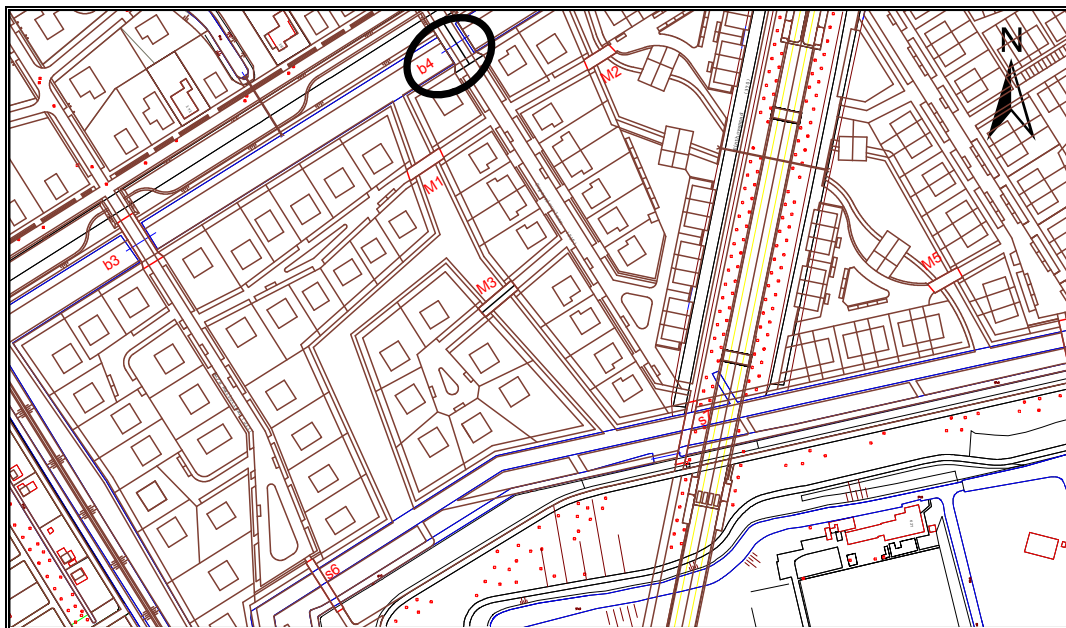


## **Inhoudsopgave**

<b>1.</b>	<b>Inleiding en projectomschrijving</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Veldonderzoek</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Bodemopbouw</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Grondwater</b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>Paalberekningen</b>	<b>6</b>
<b>4.1</b>	<b>Drukpalen</b>	<b>6</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Toetsing grenstoestanden</b>	<b>6</b>
<b>4.2</b>	<b>Uitgangspunten voor de berekeningen</b>	<b>7</b>
<b>4.3</b>	<b>Paalbelastingen</b>	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>Berekeningsresultaten</b>	<b>9</b>
<b>6.</b>	<b>Funderingsadvies</b>	<b>10</b>
	<b>Bijlage 1: Situatietekening grondonderzoek</b>	<b>11</b>
	<b>Bijlage 2: Sondeergrafieken</b>	<b>12</b>
	<b>Bijlage 3: Berekening van de negatieve kleeft</b>	<b>16</b>
	<b>Bijlage 4: MFoundation uitdraai</b>	<b>17</b>

# 1. Inleiding en projectomschrijving

In opdracht van het Ontwikkelingsbedrijf Rotterdam is door het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam grondonderzoek verricht ten behoeve van het funderingsadvies voor de verkeersbrug B4 in Park Zestienhoven. Deze brug is gesitueerd aan de noordkant van het gebied M. Voor deze brug geldt dat hij ondervaarbaar moet zijn. De brug steunt op twee landhoofden en vier bijzondere tussensteunpunten. Het brugdek is momentvast aan de landhoofden verbonden. De totale overspanning van de brug bedraagt 26,65 m.



**Figuur 1: Locatie van de Brug B4**



Onderliggend rapport bevat de resultaten van het grondonderzoek en het funderingsadvies voor de verkeersbrug B4.

**Figuur 2: Luchtfoto uit 2010**

## 2. Veldonderzoek

Het grondonderzoek bestaat uit 3 sonderingen. Deze sonderingen, uitgevoerd in april 2009, zijn gecodeerd als: EG 345, EG 346 en EG 347 met een verkende diepte van NAP -30,0 tot -31,0 m.

Tabel 2.1: Veldonderzoek

Brug	Sonderingen	Situatie
B4	EG 345 EG 346 EG 347	

Tabel 2.2: Locaties van de sonderingen voor de brug B4

brug	Sondering	x [m]	y [m]	z [m NAP]	Niveau bovenkant vaste zandlaag [m NAP]
B4	EG345	90603,00	439998,00	-4,81	-16,1
	EG346	90609,46	439981,88	-5,60	-16,5
	EG 347	90616,94	439975,01	-5,56	-17,3

Situatietekening met grondonderzoek is als bijlage 1 gepresenteerd. Sondeergrafieken van in de berekeningen gebruikte sonderingen zijn in bijlage 2 verzameld.

De sonderingen zijn uitgevoerd met een elektrische kleefmantelconus, waarbij de plaatselijke kleef en de afwijking van de verticaal tijdens het sonderen is gemeten. Bij de sondering is het wrijvingsgetal (verhouding plaatselijke wrijving/conusweerstand in %) berekend en gepresenteerd. Gesondeerd is volgens NEN 5140, klasse 2.

Het wrijvingsgetal geeft samen met de conusweerstand over het algemeen een goed beeld van de bodemopbouw onder de grondwaterstand. In de onderstaande tabel zijn voor de gladde elektrische kleefmantelconus enige indicatieve waarden van het wrijvingsgetal aangegeven.

grondsoort	Grind,Grof zand	zand	Silt, leem, loss	klei	potklei	veen
Wrijvingsgetal in %	0,2-0,6	0,6-1,2	1,2-4,0	3,0-5,0	5,0-7,0	5,0-10,0

### 3. Bodemopbouw

Ter plaatse en ten tijde van de nieuwe sonderingen lag het maaiveld bij sonderingen EG 346 en EG 347 op ca. NAP -5,6 m (oorspronkelijk maaiveldniveau). Vanaf het maaiveld wordt een veenlaag met een dikte van ruim 3 m aangetroffen. De onderliggende lagen bestaan uit voornamelijk slappe kleilagen, afgewisseld met venige kleilagen.

In tegenstelling van deze twee sonderingen, is bij de sondering voor de noordelijke landhoofd (EG 345) een antropogene laag vanaf het maaiveld (NAP -4,81 m) tot NAP -7,50 m geconstateerd. Daar heeft vroeger een sloot gelegen, die ter plaatse van de toekomstige brug in 2008 gedempt was. De onderliggende lagen wijken niet veel af van de omgeschreven grondopbouw voor de andere twee sonderingen.



**Figuur 3: Luchtfoto uit 2007 (met de oude sloot)**

De diepte van het draagkrachtige zand ter plaatse van de brug varieert van NAP -16,1 m (noord) tot NAP -17,2 m (zuid).

Het toekomstige maaiveld naast de brug ligt op NAP -4,8 m. In de berekeningen van de negatieve kleef is rekening gehouden met een zanderige toplaag tot max. NAP -7,3 m ter plaatse de noordelijke landhoofden en tot NAP -6,50 m ter plaatse van de zuidelijke landhoofd. Voor de berekeningen van de middensteunpunten is de bodemverzwaring in de watergang geschematiseerd van NAP -7,0 m tot NAP -8,0 m.

#### 3.1 Grondwater

Het singelpeil fluctueert tussen NAP -6,0 m en NAP -6,2 m.

De gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ligt op NAP -4,00 m en de maximale stijghoogte is NAP -3,55 m.

## 4. Paalberekeringen

### 4.1 Drukpalen

De berekeningen zijn gemaakt met het programma MFoundation conform NEN 6740:2006 en NEN 6743-1:2006.

#### 4.1.1 Toetsing grenstoestanden

Voor een geotechnische constructie (fundering op palen) dienen de uiterste grenstoestanden 1A en 1B te worden getoetst, evenals de bruikbaarheidsgrenstoestand 2.

**Uiterste grenstoestand 1A:** bezwijkmechanisme in de grond. Hiervoor moet worden getoetst of de rekenwaarde voor de belasting kleiner is dan de rekenwaarde van het paal draagvermogen.

$$F_{s;d} \leq F_{r;d}$$

**Uiterste grenstoestand 1B:** vervormingen zodanig dat voor de bouwconstructie niet meer wordt voldaan aan de eis van veiligheid.

Maximale relatieve rotatie  $\beta < 1:100$ . Uitgaande van afstanden tussen de funderingselementen van ca. 5 m bedraagt de maximale verschilzakking  $5 \cdot 0,01 = 0,05$  m. Dit resulteert volgens NEN 6740, art. 11.9 in een maximum zakkingseis van 0,15 m. Bij paalfunderingen met diameters tot 0,5 m is bij dergelijke grote zakkingen al sprake van grondmechanisch bezwijken. Dit zakkingcriterium kan worden vervangen door toetsing van het belastingcriterium:

$$F_{s;d} + F_{s;nk;d} \leq F_{r;d}$$

$$F_{r;net;d} = \frac{(F_{r,max;schacht} + F_{r,max;punt}) \cdot \xi_{M;N}}{\gamma_{m;b4}} - F_{s;nk;d}$$

waarin:	$F_{s;d}$	=	de rekenwaarde van de belasting op de paalkop;
	$F_{s;nk;d}$	=	de rekenwaarde van de wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleeft;
	$F_{r;d}$	=	de rekenwaarde van de draagkracht van de paal;
	$F_{r,max;schacht}$	=	de maximale paalschachtwrijvingskracht;
	$F_{r,max;punt}$	=	de maximale puntweerstandskracht van de paalpunt;
	$\xi_{M;N}$	=	een factor volgens tabel 1 van NEN 6743-1:2006;
	$\gamma_{m;b4}$	=	de materiaalfactor volgens tabel 3 van NEN 6740:2006.

**Bruikbaarheidsgrenstoestand 2:** vervormingen zodanig dat verlies aan bruikbaarheid van de constructie ontstaat evenals schade en hoge onderhoudskosten.

$$w_d < 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Maximale rotatie } \theta < 1:300.$$

$$\text{Maximale relatieve rotatie } \beta < 1:300.$$

Veelal kan bij paalfunderingen dus worden volstaan met toetsing van het belastingcriterium behorende bij grenstoestand 1B. Voldoen zij hieraan, dan voldoen zij tevens aan de vervormingseis van grenstoestand 1B en 2. (N.B.: grenstoestand 1A is bij aanwezigheid van negatieve kleeft nooit maatgevend).

## 4.2 Uitgangspunten voor de berekeningen

- Vanwege de aanwezigheid van minder draagkrachtige en zettingsgevoelige lagen komt voor dit project alleen een fundering op palen in aanmerking.
- De twee landhoofden en de vier bijzondere tussensteunpunten worden als stijf beschouwd en de brug zelf als slap.
- Voor het project geldt Geotechnische Categorie 2 (NEN 6740:2006 art. 6.3).
- Voor de paalfundering is uitgegaan van centrisch op druk belaste palen. Momenten en horizontale belastingen zijn in dit rapport niet beschouwd. Horizontale krachten uit aanvaring op de palen van de bijzondere tussensteunpunten van de brug B4 zijn eveneens door ons niet beschouwd.
- Wij gaan ervan uit dat de gronddruk die veroorzaakt wordt door het maaiveld- en zanddikteverschil aan weerszijde van de fundering probleemloos door de constructie kan worden verwerkt.
- De toetsing van grenstoestand 1B op sterkte, dus met inbegrip van negatieve kleeft.
- Voor de berekening van de negatieve kleeft is er van uitgegaan dat de maaiveldzetting groter is dan 0,1 m, zodat de maximale negatieve kleeft in rekening is gebracht. Daarbij is er van uitgegaan dat de zettingen zich voordoen tot aan het niveau van de draagkrachtige zandlaag.
- De constructeur heeft de paalbelasting vanuit de constructie voor de grenstoestanden 1 (UitersteGrensToestand) en 2 (BruikbaarheidsGrensToestand) opgegeven.
- Alle palen staan te lood.
- Paalkopniveau ligt op NAP -6,0 m ter plaatse van de landhoofden en op NAP -7,50 m ter plaatse van de tussensteunpunten.
- De brug is gefundeerd op in totaal 34 palen (7 palen noordelijke landhoofd, vier tussensteunpunten elk met 4 palen en 11 palen zuidelijke landhoofd).
- Het singelpeil fluctueert in de toekomst tussen NAP -6,0 en NAP -6,2 m.
- De hoogte van het toekomstige maaiveld rond de brug bedraagt NAP -4,8 m.
- De volgende tekening van het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam is beschikbaar gesteld: Overschie, Park Zestienhoven, Brug B4, Bestektekening, tekeningnummer: P16H-P131-B-BT-130, versie a, concept d.d. 05-04-2010.
- Conform de normen is gerekend met  $\gamma_{m;b4}=1,2$ ;  $\xi_{M;N} = 0,76$  (voor middensteunpunt, N=1 en M=4);  $\xi_{M;N} = 0,78$  (voor noordelijke landhoofd, N=1 en M=7);  $\xi_{M;N} = 0,79$  (voor zuidelijke landhoofd, N=1 en M=11);  $\gamma_{f,nk}=1,0$ ;

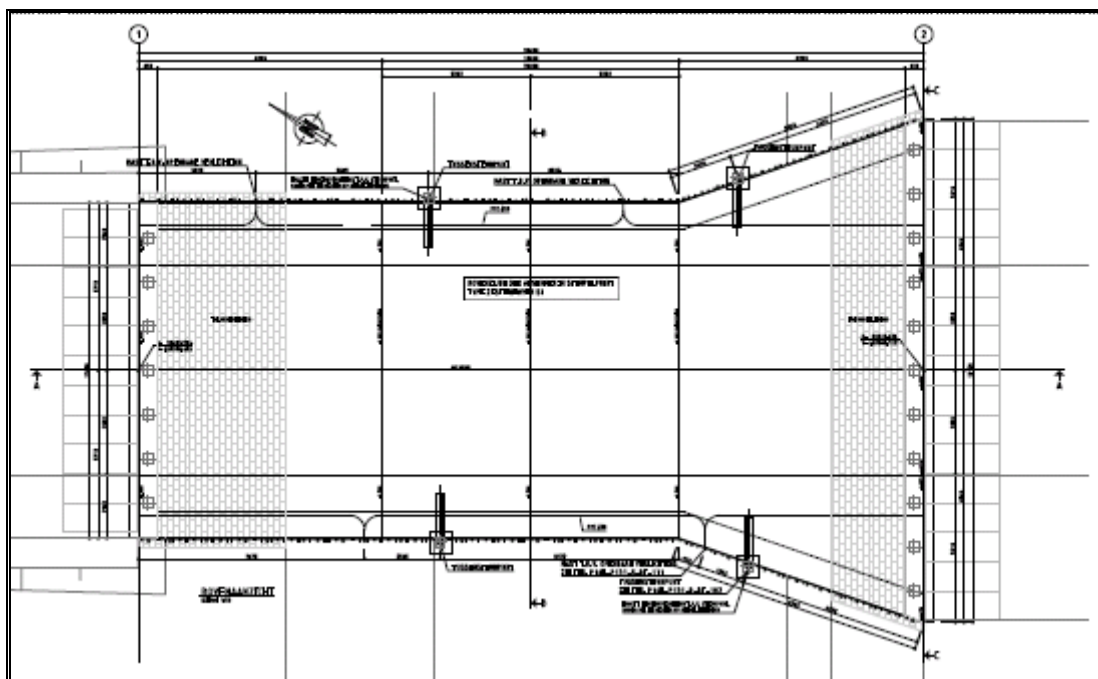
## 4.3 Paalbelastingen

In tabel 4.1 zijn de maatgevende paalreacties aangegeven, die door de constructeur aan ons ter beschikking zijn gesteld.

Tabel 4.1: Maximale axiale drukpaalbelastingen voor brug B4:

Brug	Onderdeel	Aantal palen per onderdeel	UGT [kN]	BGT [kN]
B4	landhoofd noord	7	620	525
	tussensteunpunt	4	690	520
	landhoofd zuid	11	430	360

## Palenplan





## 5. Berekeningsresultaten

In de onderstaande tabellen is het berekeningsresultaat aangegeven voor gladde geprefabriceerde voorgespannen gewapend betonnen palen met een schachtdoorsnede van 450 x 450 mm<sup>2</sup> bij de aangegeven drukbelasting en inheinniveaus.

Tabel 5.1: Rekenwaarde van de draagkracht op druk van een prefab beton paal 450 x 450 mm<sup>2</sup>.

BRUG B4	Sondering	PPNiveau [m NAP]	$F_{r,max;punt}$ [kN]	$F_{r,max;schacht}$ [kN]	$F_{r,max}$ [kN]	$F_{r,max,d}$ [kN]	$F_{s,nk;d}$ [kN]
Landhoofd Noord	EG 345	-20,0	1255	566	1821	1184	222
Landhoofd Zuid	EG 347	-20,0	1346	394	1740	1146 <sup>*)</sup>	205

\*) met  $\xi_{M,N} = 0,79$

Tabel 5.2: Rekenwaarde van de draagkracht op druk van een prefab beton paal 450 x 450 mm<sup>2</sup>.

BRUG B4 (tussensteunpunt)	Sondering	PPNiveau [m NAP]	$F_{r,max;punt}$ [kN]	$F_{r,max;schacht}$ [kN]	$F_{r,max}$ [kN]	$F_{r,max,d}$ [kN]	$F_{s,nk;d}$ [kN]
	EG 345	-20,0	1255	566	1821	1153	93
	EG 346	-20,0	1241	564	1805	1143	98
	EG 347	-20,0	1346	394	1740	1102	93

Voor grenstoestand 1B kan het zakkingscriterium worden vervangen door:

$$F_{s,d} + F_{s,nk;d} < F_{r,max;d}$$

Tabel 5.3: Toetsing inheinniveau op druk belaste prefab betonnen palen (landhoofd).

BRUG B4	Sondering	PPNiveau [m NAP]	$F_{s,d}$ [kN]	$F_{s,d} + F_{s,nk;d}$ [kN]		$F_{r,max,d}$ [kN]
Landhoofd Noord	EG 345	-20,0	620	842	<	1184
Landhoofd Zuid	EG 347	-20,0	430	635	<	1146

Tabel 5.4: Toetsing inheinniveau op druk belaste prefab betonnen palen (tussensteunpunt).

BRUG B4 (tussensteunpunt)	Sondering	PPNiveau [m NAP]	$F_{s,d}$ [kN]	$F_{s,d} + F_{s,nk;d}$ [kN]		$F_{r,max,d}$ [kN]
	EG 345	-20,0	690	783	<	1153
	EG 346	-20,0	690	788	<	1143
	EG 347	-20,0	690	783	<	1102

Een voorbeeldberekening van de negatieve kleef volgens NEN 6743-1:2006 is weergegeven in bijlage 3.

De M-Foundation uitdraai is als bijlage 4 aan dit rapport toegevoegd.

## 6. Funderingsadvies

Voor de paalbelastingen vanuit de constructie, volgens opgave van de constructeur, kunnen gladde geprefabriceerde voorgespannen gewapend betonnen palen met een schachtdoorsnede van 450 x 450 mm<sup>2</sup> worden toegepast.

Een paalpuntniveau dat vermeld is in tabel 6.1 dient te worden aangehouden.

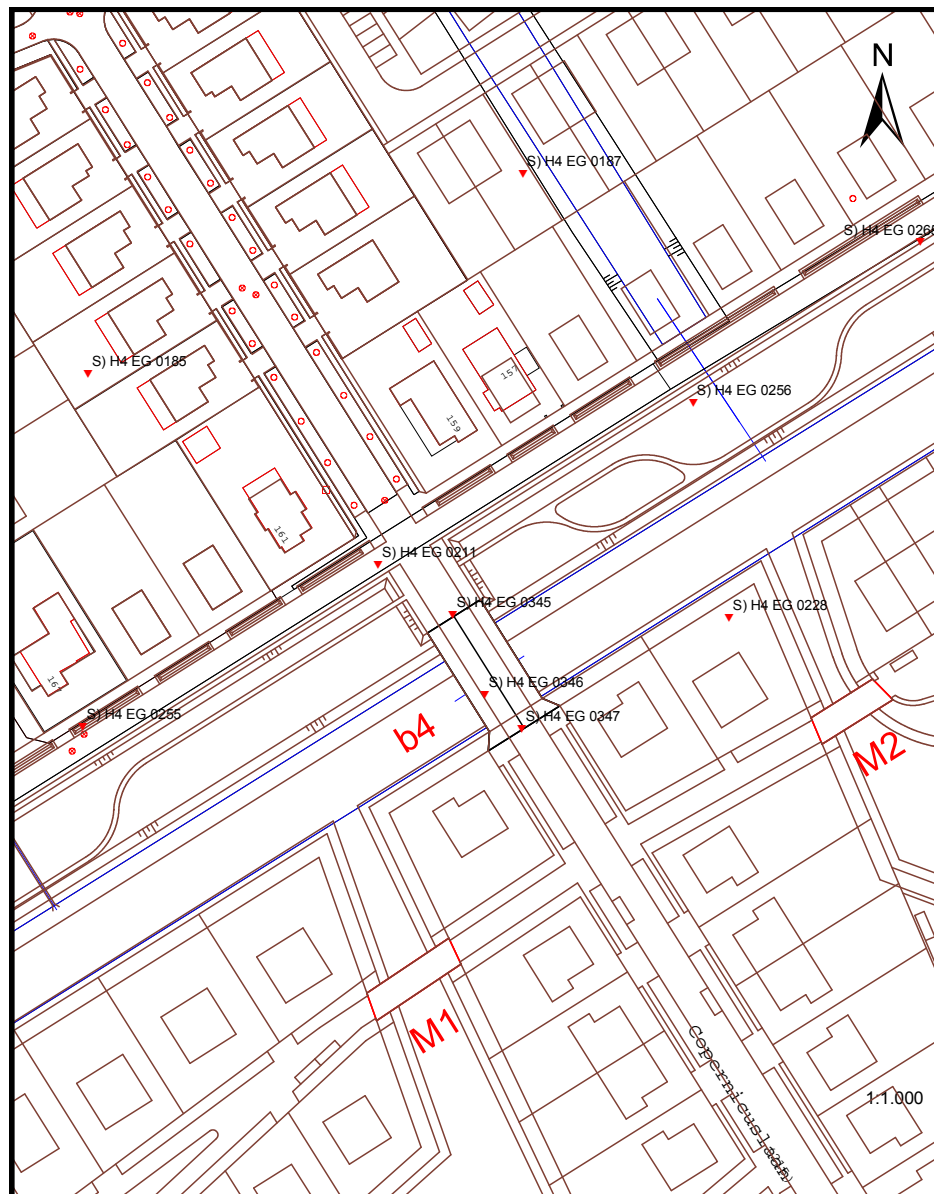
Tabel 6.1: Aan te houden paalpuntniveaus per steunpunt voor de brug B4:

Brug B4	Inheidiepte [m NAP]	Aantal palen per onderdeel	Paaltype	Paalafmeting [mm <sup>2</sup> ]
Noordelijke landhoofd	-20,0	7	Prefab betonnen paal	450 x 450
Tussensteunpunt	-20,0	4		
Zuidelijke landhoofd	-20,0	11		

Deze brug bevindt zich in een gebied met een kwelstroom. Dit wordt veroorzaakt doordat de stijghoogte van het spanningswater in het Pleistocene zand ca. 2,3 m hoger ligt dan het freatische grondwaterstand. In de uitvoering vraagt deze kwestie extra aandacht.

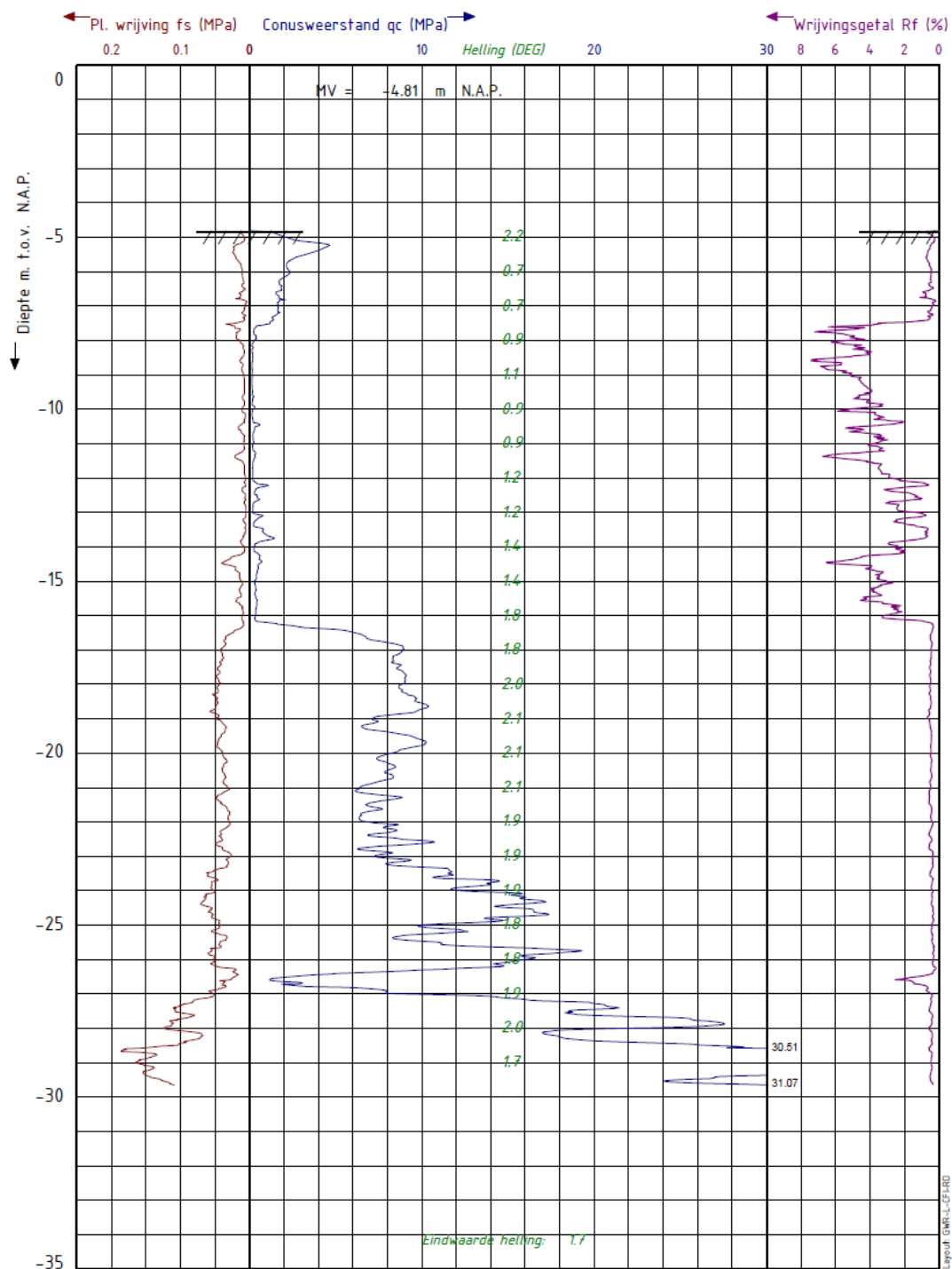


## Bijlage 1: Situatietekening grondonderzoek





## **Bijlage 2: Sondeergrafieken**



Project : Park Zestienhoven  
Dossier : 2003-153  
Locatie : Rotterdam

Datum test : 6-4-2009  
MV. hoogte : -4.812 m. t.o.v. N.A.P.  
coördinaten in RD-stelsel  
X : 90603.003 Y : 439997.999  
Opmerking 1:

SONDERING:

EG345

Paraaf 1: 2:

Pagina 1/1

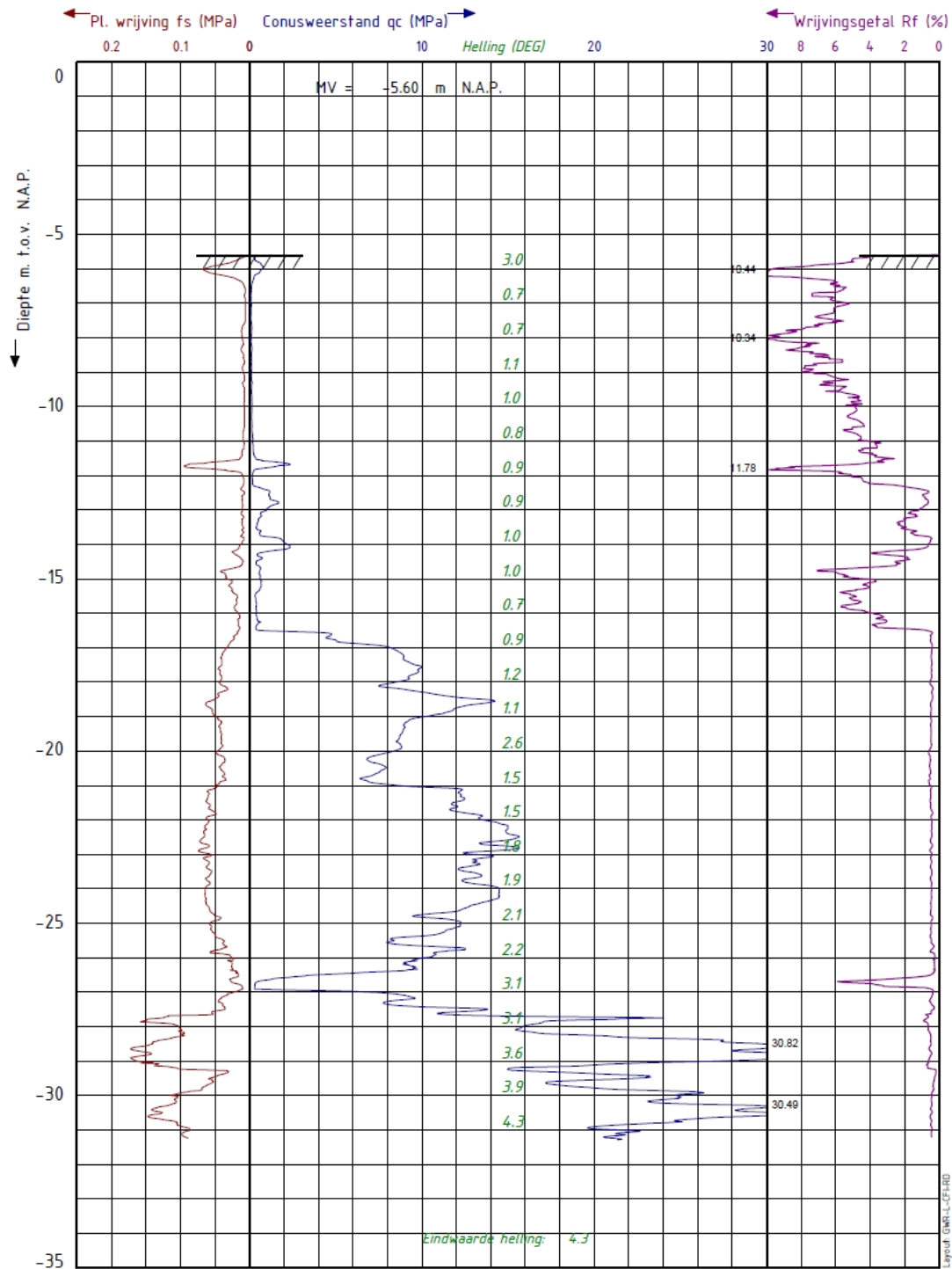
Conus type: CFP10-10

Nummer: 090332

Sondering volgens NEN 5140 Klasse 2



Gemeente Rotterdam  
Gemeentewerken  
Ingenieursbureau



Project : Park Zestienhoven  
Dossier : 2003-153  
Locatie : Rotterdam

Datum test : 6-4-2009  
MV. hoogte : -5.596 m. t.o.v. N.A.P.  
coördinaten in RD-stelsel  
X : 90609.461 Y : 439981.881  
Opmerking 1:

SONDERING:

EG346

Pagina 1/1

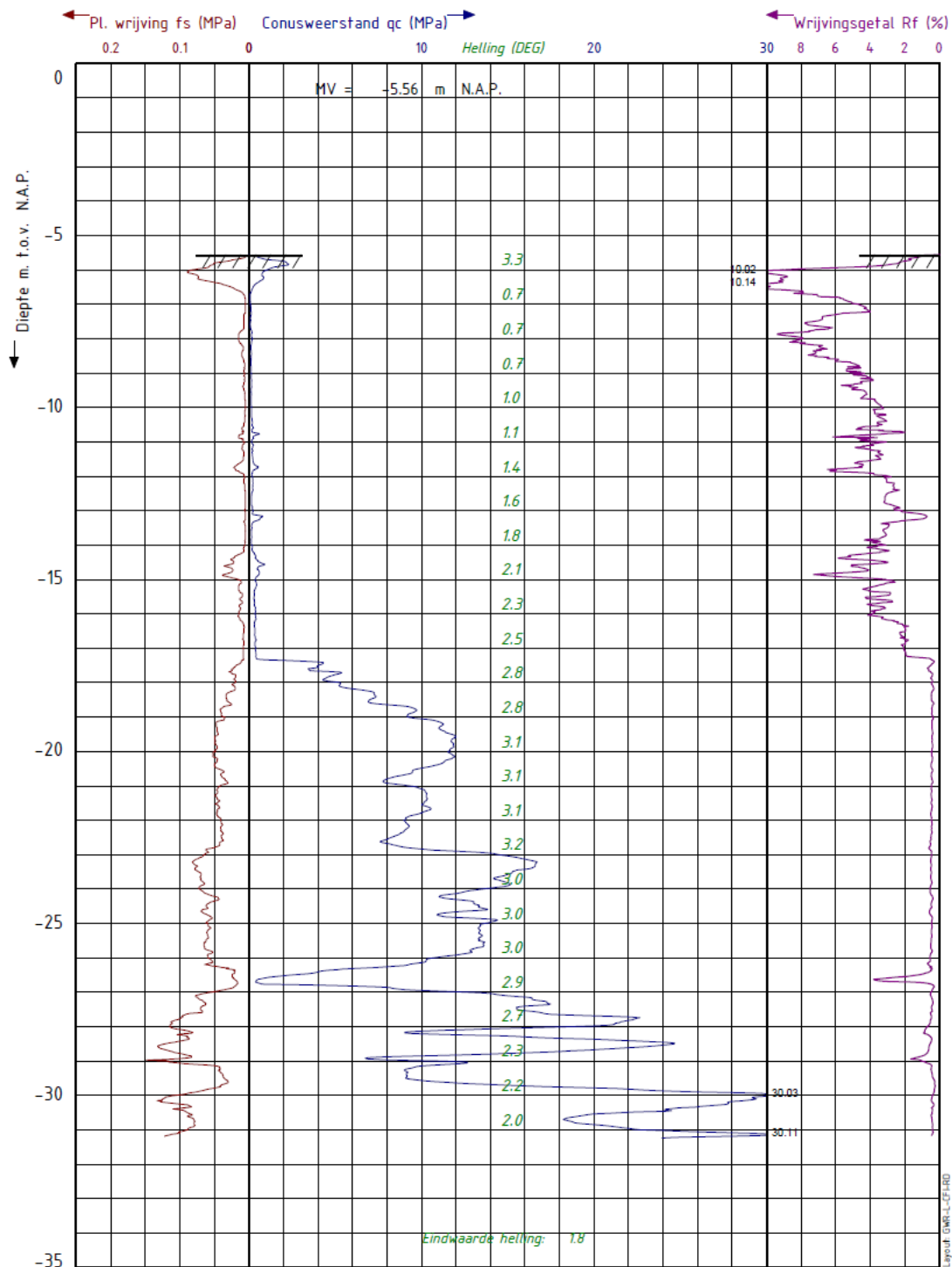
Conus type: CFP10-10

Nummer: 090332

Sondering volgens NEN 5140 Klasse 2



Gemeente Rotterdam  
Gemeentewerken  
Ingenieursbureau



Project : Park Zestienhoven  
Dossier : 2003-153  
Locatie : Rotterdam

Datum test : 6-4-2009  
MV, hoogte : -5.558 m. t.o.v. N.A.P.  
coördinaten in RD-stelsel  
X : 90616.941 Y : 439975.007  
Opmerking 1:

SONDERING:

EG347

Pagina 1/1

Conus type: CFP10-10

Nummer: 090332

Sondering volgens NEN 5140 Klasse 2



Gemeente Rotterdam  
Gemeentewerken  
Ingenieursbureau

### Bijlage 3: Berekening van de negatieve kleef

Voor de berekening van de negatieve kleef is ervan uitgegaan dat negatieve kleef optreedt in de samendrukbare lagen tot maximaal NAP -16,10 m, (sondering EG 345, prefab betonnen paal 450 x 450 mm<sup>2</sup>). De dieper gelegen lagen zijn dermate zanderig dat hierin geen zetting en derhalve geen negatieve kleef te verwachten is.

Er is rekening gehouden met een maaiveldniveau op NAP -4,80 m en een grondwaterstand op NAP -6,00.

Paalkopniveau is op NAP -6,0 m.

Voor de berekeningen is de bodemopbouw geschematiseerd tot 3 lagen: een zanderige toplaag tot NAP -7,30 m, een samendrukbare laag tot NAP -16,10 m, gevolgd door een onsamendrukbare zandlaag.

De representatieve waarde van de maximale negatieve kleefbelasting voor een alleenstaande paal volgens art. 7.2 van NEN 6743-1:2006 bedraagt:

$$F_{s,nk;rep} = O_s \cdot [h_1 \cdot K_{0;1} \cdot \tan \delta_1 \cdot (\sigma'_{v;1} + \sigma'_{v;2})/2 + h_2 \cdot K_{0;2} \cdot \tan \delta_2 \cdot (\sigma'_{v;2} + \sigma'_{v;3})/2]$$

$$F_{s,nk;rep} = 222 \text{ kN}$$

waarin:

In dit geval:

$h_1$	dikte van de toplaag in contact met paal	1,3	m
$h_2$	dikte van de samendrukbare lagen	8,8	m
$K_{0;i} \cdot \tan \delta_i$	= product van de representatieve waarde van de neutrale gronddruk factor met de tangens van de wrijvingshoek tussen paal en grond in laag i	0,25	
$\sigma'_{v;1}$	= representatieve waarde van de effectieve verticale korrelspanning op het niveau van de paalkop	21,6	kN/m <sup>2</sup>
$\sigma'_{v;2}$	= representatieve waarde van de effectieve verticale korrelspanning op het niveau van de onderkant van de toplaag	34,6	kN/m <sup>2</sup>
$\sigma'_{v;4}$	= representatieve waarde van de effectieve verticale korrelspanning op het niveau van de onderkant van de samendrukbare laag	69,7	kN/m <sup>2</sup>
$O_s$	= Omtrek van de paalschacht	1,8	m

De rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting van een alleenstaande paal is 222 kN.

$$F_{s,nk;d} = F_{s,nk;rep} \cdot \gamma_{f,nk}$$

Waarin:

$$\gamma_{f,nk} = \text{Belastinfactor voor de negatieve kleef volgens art. 11.5.1 van NEN 6740:2006} \quad 1$$





## **Bijlage 4: MFoundation uitdraai**