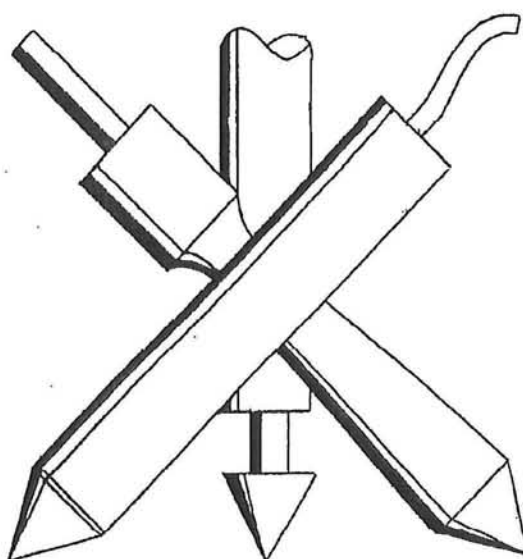


De betrouwbaarheid van het paal draagvermogen

Augustus 1995

E. van Herk



De betrouwbaarheid van het paal draagvermogen

E. van Herk

augustus 1995
Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Sectie Geotechniek

Afstudeer commissie:

Prof. ir. A.F. van Tol	TU Delft.
Ir. J.P. Oostveen	TU Delft.
Ir. W. Meermans	TU Delft.
Ir. K.G. Bezuijen	TU Delft.

Voorwoord

Dit rapport vormt de afronding van mijn afstudeeronderzoek dat handelt over de betrouwbaarheid van het paal draagvermogen.

In dit rapport worden probabilistische analyses gemaakt naar de betrouwbaarheid van het draagvermogen van een prefab paal. Met behulp van deze probabilistische analyses is het mogelijk een de betrouwbaarheid te berekenen van een funderingsontwerp volgens de norm en de werkelijke betrouwbaarheid met behulp van eerder bepaalde gemeten modelfactoren die zijn bepaald uit proefbelastingen.

Tijdens mijn onderzoek en het schrijven van het eindrapport ben ik veel dank verschuldigd aan mijn begeleiders ir. W Meermans, ir. J.P. Oostveen en prof. ir. A.F. van Tol voor hun enthousiaste begeleiding en kritische opmerkingen.

Zwijndrecht, augustus 1995.

Eduard van Herk.

Samenvatting

Voor de komst van de nieuwe Technische Grondslagen voor Bouwconstructies 1990 (TGB 1990) werden de berekeningen voor het paal draagvermogen met behulp van deterministische over-all veiligheidsfactoren gemaakt. Deze over-all veiligheidsfactoren schiepen een marge tussen het paal draagvermogen en de belasting. Met de huidige normen wordt deze marge gecreëerd met behulp van partiële factoren voor de sterkte en de belasting. De grootte van deze partiële factoren berusten op een probabilistische grondslag, waarbij rekening wordt gehouden met de door de overheid voorgeschreven faalkans. Bovendien wordt er naar gestreefd dat de partiële factoren geen breuk maken met de over-all veiligheidsfactor, die in het verleden werd toegepast.

Een probabilistische analyse vereist van iedere parameter inzicht in de spreiding van de parameter. Voor de bepaling van de partiële factoren is in de nieuwe TGB 1990 uitgegaan van een geschatte variatiecoëfficiënt voor de belasting (woningbouw), paal draagvermogen en de negatieve kleeft. Resultaten van recente proefbelasting laten hogere variatiecoëfficiënten zien dan die voor de normen zijn gebruikt.

De vraag is dan ook hoe groot is de betrouwbaarheidsindex werkelijk en waardoor wordt deze veroorzaakt? Wat kan er bovendien gedaan worden om deze spreiding te verkleinen?

Door te onderzoeken wat de werkelijke betrouwbaarheid van de paal is kan meer inzicht worden verkregen in de berekeningsmethode en waar de zwakke plekken in de berekeningsmethode zitten. Met behulp van deze informatie kan worden bepaald welk onderdeel van de berekening zinvol is te verbeteren om de betrouwbaarheid van het paal draagvermogen te vergroten.

In het eerste gedeelte van het onderzoek staat het berekenen centraal, van de gemeten modelfactoren op basis van resultaten van een aantal eerder uitgevoerde proefbelastingen. Met behulp van deze resultaten kunnen probabilistische analyses van prefab paal worden gemaakt voor berekeningen met modelfactoren conform en met gemeten modelfactoren. Deze berekeningen worden gemaakt op basis van 1 of 10 sonderingen afkomstig uit Stolwijk. Uit deze probabilistische analyses kan worden bepaald welk onderdeel van de berekeningsmethode voor verbetering in aanmerking komt.

Uit dit onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Uit de resultaten van de proefbelastingen blijkt dat de gemeten waarden van het paalpunt draagvermogen, het paalschacht draagvermogen en de negatieve kleeft kleiner zijn dan de berekende waarde. De variatiecoëfficiënten van de modelfactoren berekend uit proefbelastingen, zijn groter dan de variatiecoëfficiënten van de modelfactoren waarvan is uitgegaan.
2. Uit de probabilistische analyses met variatiecoëfficiënten van de modelfactoren waar de norm van is uitgegaan, leveren een betrouwbaarheidsindex rond de 3,45 op. Dit betekent dat de vereiste betrouwbaarheidsindex bijna wordt bereikt (veiligheidsklasse 3; $\beta = 3,6$; woningbouw). Indien de berekening wordt gemaakt met variatiecoëfficiënten van de modelfactoren berekend uit proefbelastingen, dan blijkt de werkelijke betrouwbaarheidsindex rond de waarde 2,0 te liggen.
3. Voor het toepassen van probabilistische niveau II methoden, is het een voorwaarde dat de stochasten (het paalpunt draagvermogen, het paalschacht draagvermogen, de negatieve kleeft en de belasting) in de betrouwbaarheidsfunctie onafhankelijk zijn. Voor een aantal stochasten is dit waarschijnlijk niet het geval, hierbij kan worden gedacht aan het paalpunt draagvermogen en het paalschacht draagvermogen. Deze worden beide berekend op basis van een deel van het zelfde traject van de sondering.
4. Naar aanleiding van het parameteronderzoek van het model Koppejan blijkt dat de variatiecoëfficiënt van de modelfactor van het rekenmodel, van 0,121 teruggebracht kan worden naar 0,079. De parameters voor het model Koppejan worden dan voor de invloed van traject I; II en III: 0,1 ; 0,8 en 0,1 , overige parameters veranderen niet.

Voor het berekenen van de modelfactoren op basis van resultaten van proefbelastingen is het van belang meer resultaten van proefbelastingen te hebben van verschillende locaties in Nederland om de betrouwbaarheid van de modelfactoren te vergroten. Vervolgens wordt aanbevolen verder onderzoek te

doen naar de betrouwbaarheid van het paal draagvermogen, eerst voor ieder onderdeel van de betrouwbaarheidsfunctie een correcte berekening maken op niveau III. Een geschikte methode hiervoor is een Monte Carlo simulatie.

Tot slot wordt aanbevolen de bepaling van de parameters van het model Koppejan op basis van meer resultaten uit proefbelastingen en voor meer parametercombinaties te herhalen. Op deze manier wordt een beter inzicht verkregen over de invloed van de parameters op de modelfactor van het rekenmodel Koppejan.

Lijst van symbolen

Symbool	Omschrijving	Eenheid
A_{punt}	oppervlakte paalpunt	m ²
CG1	geotechnische categorie 1	-
D_{eq}	equivalente paaldiameter	m
$f_x(x)$	kansdichtheidsfunctie	-
$f_{r,M}$	modelfactor voor het rekenmodel van het paal draagvermogen	-
$f_{r,M;\text{punt}}$	modelfactor voor het rekenmodel van het paalpunt draagvermogen	-
$f_{r,M;\text{schacht}}$	modelfactor voor het rekenmodel van het paalschacht draagvermogen	-
$f_{s,M}$	modelfactor voor het rekenmodel van de belasting	-
$f_{s,M;nk}$	modelfactor voor het rekenmodel van de negatieve kleef	-
$f_{r,R}$	modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van het paal draagvermogen	-
$f_{r,R;\text{punt}}$	modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van het paalpunt draagvermogen	-
$f_{r,R;\text{schacht}}$	modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van het paalschacht draagvermogen	-
$f_{s,R}$	modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van de belasting	-
$f_{s,R;nk}$	modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van de negatieve kleef	-
$F_{r,\text{max};\text{gem}}$	gemiddelde waarde maximale draagkracht paal	kN
$F_{r,\text{max};i}$	maximale draagkracht voor het gekozen paalpuntniveau uit sondering i	kN
$F_{r,\text{max};\text{rep}}$	representatieve waarde maximale draagkracht paal	kN
$F_{r,\text{fund};\text{max};\text{rep}}$	representatieve waarde maximale draagkracht fundering	kN
$F_{r,\text{fund};\text{max};d}$	rekenwaarde draagkracht fundering	kN
$F_{r,\text{max};\text{punt}}$	maximale waarde paalpunt draagvermogen	kN
$F_{r,\text{max};\text{punt};i}$	maximale draagkracht van de paalpunt bij sondering i	kN
$F_{r,\text{max};\text{schacht}}$	maximale waarde paalschachtwrijving	kN
$F_{r,\text{max};\text{schacht};i}$	maximale draagkracht van de paalschacht bij sondering i	kN
$F_{s;d}$	rekenwaarde belasting	kN
$F_{s;g;d}$	rekenwaarde van de permanente belasting	kN
$F_{s;g;q}$	permanente en variabele belasting	kN
$F_{s;q;d}$	rekenwaarde van de variabele belasting	kN
$F_{s;q;\text{gem}}$	gemiddelde waarde van de variabele belasting	kN
$F_{s;nk}$	wrijvingskracht t.g.v. negatieve kleef	kN
$F_{s;nk;d}$	rekenwaarde van de negatieve kleef	kN
$F_{s;nk;\text{rep}}$	representatieve wrijvingskracht t.g.v. de negatieve kleef	kN
$F_x(x)$	verdelingsfunctie	-
h_i	dikte van de grondlaag i	m
k	aantal malen standaardafwijking om bepaalde over- of onderschrijdingskansen te markeren	-
$K_{0;i;\text{rep}}$	representatieve waarde van de neutrale gronddruk in laag i	-
K_0	neutrale gronddrukcoëfficiënt	-
K_s	horizontale gronddrukcoëfficiënt	-
M	aantal palen onder beschouwde bouwwerk	-
n	aantal grondlagen waar negatieve kleef werkt	-
N	aantal sondering op perceel waarvoor berekening geldt	-
O_p	omtrek paalschacht in laag waar paalvoet is geplaatst	m
O_s	omtrek van de dwarsdoorsnede van de paalschacht	m

Symbool	Omschrijving	Eenheid
P_f	overschrijdingskans	-
$P_{r,max;punt}$	maximale waarde paalpuntweerstand	MPa
$P_{r,max;schacht}$	maximale waarde paalschachtwrijving	MPa
q_c	conusweerstand	MPa
$q_{c;z,a}$	gereduceerde conusweerstand volgens NEN 6740	MPa
$q_{cI,gem}$	gemiddelde conusweerstand traject I	MPa
$q_{cII,gem}$	gemiddelde conusweerstand traject II	MPa
$q_{cIII,gem}$	gemiddelde conusweerstand traject III	MPa
R	sterkte	kN
R^*	design point sterkte	kN
R^o	eerste schatting designpointwaarde	kN
R_d	ontwerpwaarde van de belasting	kN
R_{rep}	representatieve waarde van de belasting	kN
s	invloed vorm dwarsdoorsnede paalvoet	-
S	belasting	kN
S^*	design point belasting	kN
S^o	eerste schatting designpointwaarde	kN
S_d	ontwerpwaarde van de belasting	kN
S_{rep}	representatieve waarde van de belasting	kN
$V()$	variatiecoëfficiënt ()	-
V_R	variatiecoëfficiënt van de sterkte	-
V_S	variatiecoëfficiënt van de belasting	-
w	zakking	m
z_{gw}	diepte van het grondwaterpeil	m
Z	betrouwbaarheidsfunctie	-

Symbool	Omschrijving	Eenheid
α_f	invloedscoëfficiënt van de belasting	-
α_m	invloedscoëfficiënt van de sterkte	-
α_p	paalklassefactor	-
α_s	schachtwrijvingscoëfficiënt	-
$\alpha_{p,corr}$	correctiefactor mechanische sondering	-
β	invloed paalvoetvorm, betrouwbaarheidsindex	-
γ_f	partiële belastingsfactor	-
$\gamma_{f,g}$	partiële belastingsfactor voor de permanente belasting	-
$\gamma_{f,nk}$	partiële belastingsfactor voor de negatieve kleef	-
$\gamma_{f,q}$	partiële belastingsfactor voor de variabele belasting	-
$\gamma_{i,rep}$	representatieve waarde van het volumegewicht van de grond van laag i	kN/m ³
$\gamma_{i,sat,rep}$	representatieve waarde van het verzadigde volumieke gewicht van de grond van laag i	kN/m ³
γ_m	partiële materiaalfactor	-
$\gamma_{m;b}$	materiaalfactor volgens tabel 3 van 8.9 NEN 6740	-
γ_w	volumiek gewicht water	kN/m ³
δ	wrijvingshoek tussen schacht en grond	°
$\delta_{i,rep}$	representatieve waarde van de wrijvingshoek tussen paalschacht en grond in laag i	°
θ	Rotatie	-
ξ	factor, afhankelijk van M en N	-
ϕ	hoek van inwendige wrijving	°
$\phi_{i,rep}$	representatieve waarde hoek van inwendige wrijving	°
ΔL	lengte stukje paal	m
σ	standaardafwijking	-
σ_R	standaardafwijking van de belasting	-
σ_S	standaardafwijking van de sterkte	-
σ_Z	standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunctie	-
σ'_h	gemiddelde effectieve horizontale spanning	kPa
σ'_v	gemiddelde effectieve verticale spanning	kPa
$\sigma_{v,i,rep}$	representatieve waarde van de effectieve spanning onder in de laag i	kPa
μ	gemiddelde	-
μ_R	gemiddelde waarde sterkte	kN
μ_S	gemiddelde waarde belasting	kN
μ_Z	gemiddelde waarde van de betrouwbaarheidsfunctie	-

Inhoudsopgave

Voorwoord	iii
Samenvatting	v
Lijst van symbolen	vii
1 Inleiding	1
2 Huidige ontwerpmethoden	3
2.1 Inleiding	3
2.2 TGB 1990 (Normen)	3
2.2.1 Draagvermogen van een paalfundering	8
2.2.1.1 Paalpunt draagvermogen	9
2.2.1.2 Paalschacht draagvermogen	10
2.2.2 Belasting op een paalfundering	11
2.2.2.2 Belasting van het gebouw	13
2.2.3 Grenstoestanden	14
2.3 Overzicht variatiecoëfficiënten	17
2.4 Probabilistische berekeningsmethoden	17
2.4.1 Niveau 0 (deterministische methode)	17
2.4.2 Niveau I (huidige ontwerpmethoden, partiële factoren)	18
2.4.3 Niveau II (benaderende methoden)	19
2.4.4 Niveau III (exacte methoden)	19
2.5 Betrouwbaarheidsfunctie	19
3 Gemeten modelfactoren	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Uitgangspunten en aannamen	22
3.3 Berekening modelfactoren	22
3.3.1 Paalpunt draagvermogen	22
3.3.2 Paalschacht draagvermogen	27
3.3.3 Paal draagvermogen	28
3.3.4 Negatieve kleeft	28
3.3.5 Gebouwbelasting	29
4 Reël ontwerp paalfundering	33
4.1 Inleiding	33
4.2 Beschrijving reël ontwerp	33
4.3 Berekening fundering	34
5 Probabilistische berekeningen	39
5.1 Inleiding	39
5.2 Approximate Full Distribution Approach	39
5.3 Betrouwbaarheidsfunctie	42
5.4 Resultaten probabilistische berekeningen	43
5.5 Interpretatie resultaten probabilistische berekeningen	56

6	Parameter onderzoek model Koppejan	57
6.1	Inleiding	57
6.2	Computerprogramma Koppejan	57
6.3	Resultaten onderzoek parameters model Koppejan	58
6.4	Evaluatie onderzoek parameters model Koppejan	61
7	Conclusies en aanbevelingen	63
7.1	Modelfactoren	63
7.2	Probabilistische analyse	63
7.3	Parameters model Koppejan	64
	Literatuurlijst	67
Bijlage I	Computerprogramma Koppejan	69

1 Inleiding

Voor de komst van de nieuwe Technische Grondslagen voor Bouwconstructies 1990 (TGB 1990) werden de berekeningen voor het paal draagvermogen met behulp van deterministische over-all veiligheidsfactoren gemaakt. Deze over-all veiligheidsfactor schiep een marge tussen het paal draagvermogen en de paalbelasting. In de huidige normen wordt gebruik gemaakt van partiële factoren die eveneens een marge scheppen tussen het paal draagvermogen en de belasting. Aan de bepaling van de grootte van deze partiële factoren ligt een probabilistische analyse ten grondslag. Bij deze probabilistische analyses is rekening gehouden met de door de overheid voorgeschreven faalkans voor woningbouw waar dit onderzoek over handelt. Bovendien wordt er naar gestreefd dat de partiële factoren geen breuk maken met de over-all veiligheidsfactor die in het verleden werd toegepast. Bij de bepaling van de numerieke waarde van de partiële factoren werden in de probabilistische analyse geschatte variatiecoëfficiënten van belasting en de sterkte gebruikt. De vroegere over-all veiligheidsfactor (2) komt in de huidige berekening terug met behulp van partiële factoren en geeft een over-all veiligheid die ligt in de orde van grootte van 1,8 en 2,17. Dit is afhankelijk van het aantal sonderingen waarop de berekeningen is gebaseerd en het aantal palen waarop de berekening betrekking heeft.

Een probabilistische analyse vereist van iedere parameter inzicht in de spreiding van de parameter. Voor de bepaling van de partiële factoren in de nieuwe TGB 1990 is uitgegaan van een geschatte variatiecoëfficiënt van 0,10 voor de belasting (woningbouw) en een variatiecoëfficiënt van 0,15 voor het paal draagvermogen. Resultaten van recente proefbelastingen (Stresswave lit. [17], Prepal lit. [14]) doen vermoeden dat de werkelijke (gemeten) variatiecoëfficiënten van de grondmechanische parameters groter zijn dan waar de normen van uit zijn gegaan. Dit heeft tot gevolg dat de werkelijke betrouwbaarheid van een paalfundering, ontworpen met behulp van de huidige normen, wel eens kleiner zou kunnen zijn dan beoogd door de overheid.

De vraag is dan ook hoe groot de betrouwbaarheidsindex (β) werkelijk is en waardoor wordt deze variatie in de grondparameter veroorzaakt? Wat kan er bovendien gedaan worden om deze spreiding te verkleinen?

In dit rapport wordt gepoogd meer inzicht te verkrijgen in de werkelijke betrouwbaarheid van een paalfundering en in de zwakke punten van de berekeningsmethode en hoe deze verbeterd kunnen worden.

Het eerste gedeelte van het onderzoek is gericht op de bepaling van de werkelijke variatiecoëfficiënt aan de hand van resultaten van een aantal uitgevoerde proefbelastingen ter bepaling van het paalpunt draagvermogen, paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleeft. Er is echter maar een beperkt aantal proefpalen beschikbaar. Met behulp van deze proefpalen worden de gemeten ("werkelijke") variatiecoëfficiënten bepaald. Vervolgens zijn ten behoeve van het maken van probabilistische berekening in dit rapport enige funderingsontwerpen gemaakt op basis van eerder uitgevoerd grondonderzoek bestaande uit sonderingen. Het betreft hier 10 sonderingen uit Stolwijk. Met behulp van deze 10 sonderingen wordt de ruimtelijke spreiding bepaald in de draagkracht van het paalpunt-, het paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleeft.

In dit rapport worden van verschillende ontwerpen een aantal probabilistische analyses (Niveau II berekeningen) gemaakt. Bij deze analyses worden het paalpunt draagvermogen, het paalschachtdraagvermogen, de negatieve kleeft en de belasting als stochast beschouwd, dat wil zeggen een variabele met een verwachtingswaarde en een spreiding.

De probabilistische berekening zal eerst worden gemaakt met afgeschatte variatiecoëfficiënten die in de voorbereiding van de normen zijn toegepast. Daarna worden berekeningen gemaakt met de variatiecoëfficiënten, gevonden met behulp van de resultaten van de proefbelastingen. Aan de hand van deze resultaten wordt geconcludeerd welke stochasten een grote invloed hebben op het eindresultaat en in welke

richting verder onderzoek moet worden verricht om de gevonden faalkans te verkleinen. Er wordt onder andere onderzocht gedaan naar de parameters van het model Koppejan, waarmee het paalpunt draagvermogen wordt berekend. Door de parameters in dit model te laten variëren wordt ten slotte geprobeerd de berekening van het paalpunt draagvermogen te optimaliseren.

2 Huidige ontwerpmethoden

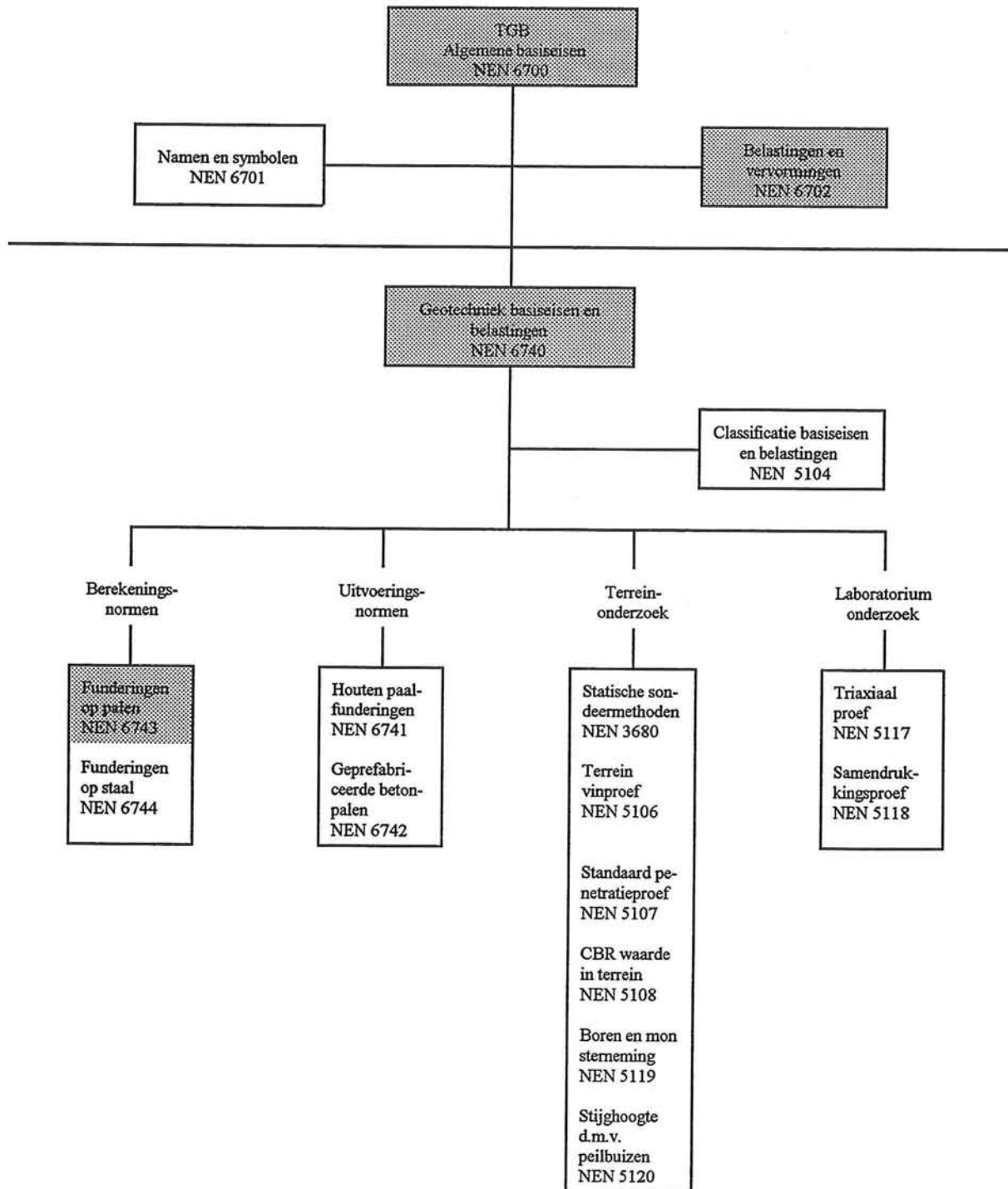
2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op de huidige ontwerpmethoden die door normen worden voorgeschreven en die nodig zijn voor het ontwerpen van een paalfundering. Verder wordt ingegaan op de verschillende probabilistische berekeningsmethoden die onderscheiden kunnen worden.

2.2 TGB 1990 (Normen)

In dit rapport is gebruik gemaakt van verschillende normen die in de nieuwe TGB 1990 voorkomen. De veiligheidsbeschouwing in de TGB 1990 is gebaseerd op een semi-probabilistische analyse met een door de overheid voorgeschreven faalkans. In figuur 2.2-1 wordt een overzicht gegeven van de normen voor de geotechniek. De normen die voor dit rapport zijn gebruikt worden met een grijs tint aangegeven.

Overzicht Geotechnische Normen 1990



Figuur 2.2-1 Overzicht geotechnische normen.

In deze normen komen de volgende relevante onderwerpen voor dit onderzoek aan de orde:

NEN 6700

In deze norm staan de eisen die de overheid stelt aan de betrouwbaarheid van bouwconstructies vermeld. Tabel 2.2-1 geeft een overzicht van de vereiste betrouwbaarheid.

Vereiste betrouwbaarheidsindex voor iedere veiligheidsklasse					
Veiligheidsklasse	Gevolgen van bezwijken		Betrouwbaarheidsindex (β)		
	kans op levensgevaar	kans op economische schade	uiterste grenstoestand		bruikbaarheidsgrenstoestand
			indien wind maatgevend	overige belastingen maatgevend	
1	verwaarloosbaar klein	klein	2,3	3,2	1,8
2	klein	groot	2,4	3,4	1,8
3	groot	groot	2,6	3,6	1,8

Tabel 2.2-1 Veiligheidsklassen voor bouwconstructies m.b.t. tot de gevolgen van bezwijken.

In dit rapport wordt er alleen gekeken naar woningbouw veiligheidsklasse 3 voor de uiterste grenstoestand van de maatgevende belasting. De vereiste betrouwbaarheidsindex voor woningbouw bedraagt in dit geval 3,6.

NEN 6702

In deze norm wordt onderscheid gemaakt in veiligheidsklassen:

Veiligheidsklasse 1

Deze klasse is de laagste veiligheidsklasse waarbij falen tot geringe economische schade leidt en de kans op levensgevaar verwaarloosbaar is. Hieronder vallen onder andere geotechnische constructies als dijken en damwanden. Verder valt onder deze veiligheidsklasse:

- alle onderdelen en samengestelde onderdelen van de bouwconstructie waarvan het bezwijken geen aanleiding geeft tot bezwijken van de hoofddraagconstructie en waarbij bovendien aan de volgende voorwaarden is voldaan:
 - het gewicht is minder dan 2 kN of het gewicht per oppervlakte is minder dan $0,3 \text{ kN/m}^2$;
 - de fundamentele belastingscombinatie met extreme belasting slechts door personen, meubilair en aankleding volgens NEN 6702 §8.2, is niet maatgevend;
- bouwwerken tijdens de bouwfase en hulpconstructies.

Veiligheidsklasse 2

Tot deze klasse behoren ten minste:

- industriële gebouwen;
- niet in een logiegebouw gelegen logieverblijven;
- niet in een woongebouw gelegen woningen;
- woonwagens;
- alle onderdelen van bouwwerken waarvan het bezwijken geen aanleiding geeft tot bezwijken van de hoofddraagconstructie en waarbij bovendien de fundamentele belastingscombinatie met als extreme belasting de belasting door personen, meubilair en aankleding volgens NEN 6702 §8.2, niet maatgevend is.

Veiligheidsklasse 3

Tot deze klasse behoren ten minste:

- bijeenkomstgebouwen;
- gezondheidsgebouwen;
- horecagebouwen;
- kantoorgebouwen;
- logiesgebouwen;
- onderwijsgebouwen;
- sportgebouwen;
- stationsgebouwen;
- winkelgebouwen;
- woongebouwen;
- alle gebouwen met meer dan twee bouwlagen met uitzondering van niet in woongebouwen gelegen logiesverblijven;
- alle bouwwerken waarin een algemene toegankelijkheidssector is gelegen;
- alle bouwwerken ten behoeve van primaire nutsvoorzieningen, of bouwwerken met een primaire maatschappelijke of culturele functie.

In dit rapport worden alleen woningen beschouwd die allemaal vrijwel volledig in veiligheidsklasse 3 vallen. Dit leidt tot een vereiste betrouwbaarheidsindex (β) = 3,6. Voor de belasting geeft dit de volgende partiële coëfficiënten (zie tabel 2.2-2):

- permanente belasting $\gamma_{fg} = 1,2$;
- variabele belasting $\gamma_{fq} = 1,5$.

Belastingsfactoren uiterste grenstoestand					
Veiligheidsklasse	Belastings combinaties	γ_{fg}		γ_{fq}	γ_{fa}
		normaal (ongunstig)	gunstig		
1 2 3 1-2-3	fundamentele combinaties 1 1 1 2	1,2	0,9	1,2	-
		1,2	0,9	1,3	-
		1,2	0,9	1,5	-
		1,35	0,9	-	-
1-2-3	bijzondere combinaties 3	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabel 2.2-2 Belastingsfactoren uiterste grenstoestand.

Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt bij het berekenen van de belasting op de fundering gerekend met de werkelijke belasting. Dit betekent dat alle partiële coëfficiënten van de belasting 1,0 zijn (zie tabel 2.2-3).

Belastingsfactoren bruikbaarheidstoestand					
Veiligheidsklasse	Belastings combinaties	γ_{ts}		γ_{tq}	γ_{ta}
		normaal (ongunstig)	gunstig		
1-2-3	incidentele combinaties 4	1,0	1,0	1,0	-
1-2-3	momentane combinaties 5	1,0	1,0	1,0	-

Tabel 2.2-3 Belastingsfactoren bruikbaarheidsgrenstoestand.

NEN 6740

In deze norm worden de geotechnische categorieën gedefinieerd. Indeling van de geotechnische categorie is afhankelijk van: type en afmeting van de constructie, de grond en de grondwatergesteldheid en invloeden vanuit de omgeving.

Geotechnische categorie 1 (GC1)

Lichte en eenvoudige bouw- en grondconstructies waarvan het gedrag op de bouwplaats op grond van de plaatselijke kennis kan worden bepaald, moet worden geplaatst in GC1

Geotechnische categorie 2 (GC2)

Deze omvat meer dan 90% van alle gebouwen in Nederland. Ook het funderingsontwerp in dit rapport valt in deze geotechnische categorie

Geotechnische categorie 3 (GC3)

Tot deze categorie behoren zeer grote en bijzondere constructies, constructies die buitengewone risico's inhouden en constructies in bijzondere moeilijke grond - of belastingscondities. Voorbeelden van GC3-constructies zijn:

- tunnels, grote bruggen en sluizen;
- machinefundaties met hoge dynamische belastingen;
- offshore constructies;
- constructies in sterk verontreinigde grond;
- hoge schoorstenen, torens en grote windmolens.

De geotechnische categorie waarin de constructie valt geeft de mate aan van grondonderzoek en berekeningen die uitgevoerd moeten worden. Het funderingsontwerp voor woningbouw dat in dit rapport wordt gemaakt valt in geotechnische categorie 2.

In deze norm staat ook de partiële materiaalfactor vermeld voor het paal draagvermogen bepaald op basis van sonderingen. $\gamma_{m;b4} = 1,25$ voor uiterste grenstoestand 1A en 1B. Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (grenstoestand 2) $\gamma_{m;b4} = 1$.

De partiële factor van de negatieve kleef bedraagt voor de uiterste grenstoestand 1A en 1B $\gamma_{f,nk} = 1,4$. Indien voor de berekening van de negatieve kleef is aangenomen dat de grond over de volledige lengte van de paal - bovenkant paal tot de draagkrachtige laag - waarin de paalpunt is geplaatst - langs de paal slipt

mag voor de partiële belastingsfactor $\gamma_{m,b4} = 1$ worden aangehouden. Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (grenstoestand 2) wordt de partiële coëfficiënt: $\gamma_{f,nk} = 1$.

NEN 6743

Deze norm beschrijft de berekeningsmethode voor het paalpunt draagvermogen, het paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleef. Tevens worden voor het paal draagvermogen de factoren gegeven voor de ruimtelijke spreiding en de stijfheid van het gebouw.

In de volgende paragrafen worden de berekeningsmethoden die nodig zijn voor het berekenen van het paal draagvermogen en de belasting op de paal beschreven.

2.2.1 Draagvermogen van een paalfundering

Het draagvermogen van een paalfundering wordt bepaald door de som van de afzonderlijke draagkracht van de palen. Het draagvermogen van een paal wordt berekend op basis van sonderingen die op die locatie zijn gemaakt. Reducties worden toegepast voor de stijfheid (herverdeling van de belasting) van het gebouw, het aantal palen onder het gebouw en het aantal sonderingen die waarop de berekening van de fundering gebaseerd is. Deze facetten worden verwerkt in een partiële factor ξ en $F_{r,max,min/gem}$ waaruit de maximale representatieve draagkracht wordt bepaald.

De gemiddelde draagkracht van een paal ($F_{r,max,gem}$) onder een fundering wordt bepaald met behulp van de volgende formule:

$$F_{r,max,gem} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} F_{r,max,i} \quad (2.2.1-1)$$

en

$$F_{r,max,i} = F_{r,max,punt,i} + F_{r,max,schacht,i} \quad (2.2.1-2)$$

waarin:

$F_{r,max,gem}$: de gemiddelde waarde van de maximale draagkracht van een paal;
$F_{r,max,i}$: de maximale draagkracht voor het gekozen paalpuntniveau uit sondering i;
$F_{r,max,punt,i}$: de maximale draagkracht van de paalpunt bij sondering i;
$F_{r,max,schacht,i}$: de maximale draagkracht van de paalschacht bij sondering i;
N	: het aantal sonderingen;

De representatieve waarde van de draagkracht van een paal uit een fundering wordt bepaald met:

$$F_{r,max,rep} = \xi \times F_{r,max,gem} \quad (2.2.1-3)$$

waarin:

$F_{r,max,rep}$: de representatieve waarde van de maximale draagkracht van de fundering onder het beschouwde gedeelte van het bouwwerk;
ξ	: de reductiefactor, afhankelijk van het aantal palen (M) en het aantal sonderingen (N).

De representatieve waarde voor de draagkracht van de fundering wordt dan:

$$F_{r,fund,max;rep} = M \times F_{r,max;rep} \quad (2.2.1-4)$$

waarin:

$F_{r,fund,max;rep}$: de representatieve waarde van de maximale draagkracht van de fundering;
 M : het aantal palen onder beschouwde bouwwerk.

De rekenwaarde van het maximale draagvermogen van de fundering onder een gebouw wordt bepaald door:

$$F_{r,fund,max;d} = \frac{F_{r,fund,max;rep}}{\gamma_{m;b}} \quad (2.2.1-5)$$

waarin:

$F_{r,fund,max;d}$: de rekenwaarde van de maximale draagkracht;
 $\gamma_{m;b}$: de materiaalfactor volgens tabel 3 van 8.9 van NEN 6740:1991.

2.2.1.1 Paalpunt draagvermogen

Het paalpunt draagvermogen wordt in NEN 6743 bepaald met behulp van het empirische model van Koppejan. Het berekeningsmodel wordt in de norm als volgt beschreven:

$$F_{r,max;punt} = A_{punt} P_{r,max;punt} \quad (2.2.1.1-1)$$

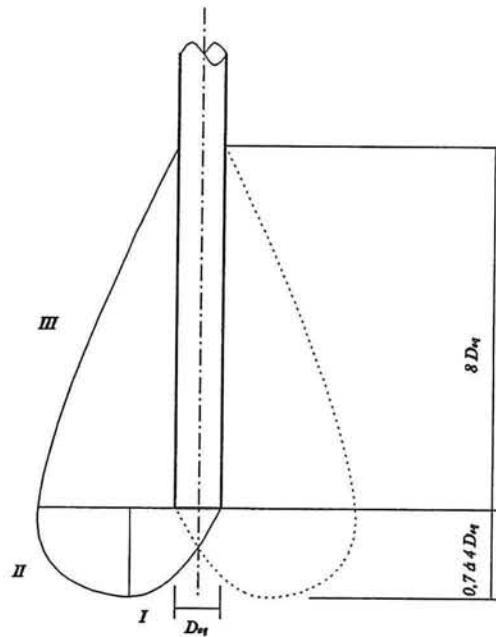
$$P_{r,max;punt} = \alpha_p \beta_s \frac{1}{2} \left(\frac{q_{c,I;gem} + q_{c,II;gem}}{2} + q_{c,III;gem} \right) \quad (2.2.1.1-2)$$

waarin:

$F_{r,max;punt}$: de maximale waarde van de draagkracht van de paalpunt;
 $P_{r,max;punt}$: maximale puntweerstand;
 A_{punt} : het oppervlakte van de paalpunt;
 $q_{c,I;gem}$: de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject I, dat loopt vanaf het paalpuntniveau tot een niveau dat ten minste 0,7 maal de equivalente middellijn (D_{eq}) en ten hoogste 4 maal D_{eq} dieper ligt. De onderkant van traject I moet, binnen de hiervoor gegeven grenzen, zo zijn gekozen dat $p_{r,max;punt}$ minimaal is;
 $q_{c,II;gem}$: de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject II, dat loopt van de onderkant van traject I naar het paalpuntniveau, waarbij de in rekening te brengen waarde voor de conusweerstand nooit hoger mag zijn dan de eronder liggende waarde;
 $q_{c,III;gem}$: de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject III dat van beneden naar boven wordt doorlopen van paalpuntniveau tot een niveau dat 8 maal de equivalente middellijn (D_{eq}) boven het paalpuntniveau ligt. Evenals

bij traject II mag de in rekening te brengen waarde voor de conusweerstand nooit hoger zijn dan de eronder liggende waarde, te beginnen met de laagste in rekening gebrachte waarde van de conusweerstand over traject II;

- α_p : de paalklassefactor;
 (B) : de factor, die de invloed van de paalvoetvorm in rekening brengt;
 s : de factor, die de invloed van de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet in rekening brengt.



Figuur 2.2.1.1-1 De trajecten van het model Koppejan.

2.2.1.2 Paalschachtdraagvermogen

Het paalschachtdraagvermogen wordt bepaald op basis van de conusweerstand zoals deze in NEN 6743 is beschreven. Bij deze methode wordt de schuifspanning tussen de paal en de grond bepaald met behulp van een percentage van de conusweerstand.

$$F_{r,max;schacht} = O_p \Delta L p_{r,max;schacht} \quad (2.2.1.2-1)$$

$$p_{r,max;schacht} = \alpha_s q_c \quad (2.2.1.2-2)$$

waarin:

- $F_{r,max;schacht}$: de maximale paalschachtwrijving;
 O_p : de omtrek van de paalschacht;
 ΔL : de lengte van het stuk paal, waarvoor de paalschachtwrijving is genomen;
 $p_{r,max;schacht}$: de maximale paalschachtwrijving.

De factor α_s is het percentage van de conusweerstand dat als schachtwrijving in rekening mag worden gebracht. In deze factor komt het paalttype en de schachtruwheid tot uitdrukking.

2.2.2 Belasting op een paalfundering

De belasting op een paalfundering kan worden opgesplitst in twee delen. Het eerste deel betreft de belasting van het gebouw. Deze bestaat uit een permanente- en een variabele belasting. Het tweede deel betreft de negatieve kleeft die optreedt wanneer de grond meer zakt dan de paal waardoor de grond als het ware aan de paal gaat hangen.

De rekenwaarde van de belasting kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$F_{s,d} = F_{s,g,d} + F_{s,q,d} + F_{s,nk,d} \quad (2.2.2-1)$$

waarin:

$F_{s,d}$: de rekenwaarde van de belasting;
$F_{s,g,d}$: de rekenwaarde van de permanente belasting;
$F_{s,q,d}$: de rekenwaarde van de variabele belasting;
$F_{s,nk,d}$: de rekenwaarde van de negatieve kleeft.

In de volgende paragrafen wordt de belasting nader toegelicht.

2.2.2.1 Negatieve kleeft (slipmethode)

Voor dit onderzoek wordt de negatieve kleeft met behulp van de slipmethode berekend. Deze methode moet worden gezien als een bovengrens voor de negatieve kleeft.

De slipmethode wordt toegepast voor alleenstaande palen, palen geplaatst in een rij, of palen waarvan de onderlinge afstand tussen de palen gelijk is aan 5 meter of meer. Voor deze palen moet de representatieve waarde van de totale neerwaarts gerichte wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleeft, $F_{s,nk,rep}$ zijn bepaald met de formule:

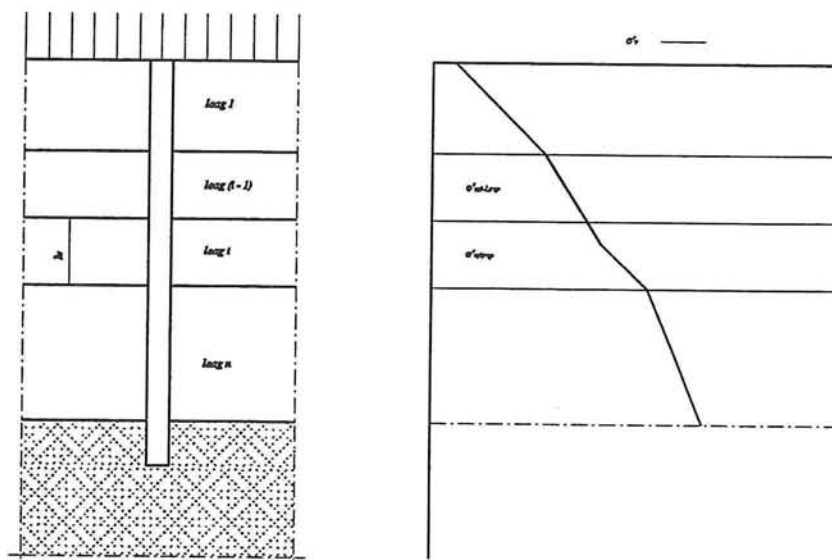
$$F_{s,nk,rep} = O_s \sum_{i=1}^{i-1} h_i K_{0,i} \lg(\delta_{i,rep}) \frac{\sigma_{v,i-1,rep} + \sigma_{v,i,rep}}{2} \quad (2.2.2.1-1)$$

$$\sigma_{v,i,rep} = z_{gw} \gamma_{1,rep} + (h_1 - z_{gw}) (\gamma_{1,sat,rep} - \gamma_w) + \sum_{i=1}^{i-z} h_i \gamma_{i,sat,rep} - \gamma_w \left(\sum_{i=1}^{i-1} h_i - z_{gw} \right) \quad (2.2.2.1-2)$$

waarin:

$F_{s,nk,rep}$: de representatieve waarde van de wrijvingskracht ten gevolge van de negatieve kleeft;
O_s	: de omtrek van de dwarsdoorsnede van de paalschacht; voor houten palen de gemiddelde omtrek van de paalschacht;

- $\sigma'_{v,i,rep}$: de representatieve waarden van de effectieve spanning onder in de laag i; i telt van boven naar beneden;
- n : het aantal grondlagen waarin de negatieve kleef werkt;
- γ_w : het volumieke gewicht van het water $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$;
- $\gamma_{i,rep}$: de representatieve waarde van het volumieke gewicht van de grond van de laag i; $\gamma_{i,rep} = \gamma_{i,sat,rep} - \gamma_w$;
- $\gamma_{i,sat,rep}$: de representatieve waarde van het verzadigd volumieke gewicht van de grond van 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;
 - $\delta_{i,rep} = 0.50 \phi_{i,rep}$ voor:
 - houten palen;
 - palen met een stalen omhulling;
- $K_{0,i,rep}$: de representatieve waarde van de neutrale gronddrukfactor in laag i: $K_{0,i,rep} = (1 - \sin \phi_{i,rep})$;
- $\phi_{i,rep}$: de representatieve waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond naast de palen in laag i;
- z_{gw} : de diepte van het grondwaterpeil;
- h_i : dikte van grondlaag i.



Figuur 2.2.2-1 Negatieve kleef, De slipmethode.

De rekenwaarde van de negatieve kleeft kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$F_{s,nk;d} = \gamma_{f,nk} \times F_{s,nk;rep} \quad (2.2.2.1-3)$$

waarin:

$F_{s,nk;d}$: de rekenwaarde van de wrijvingskracht ten gevolge van de negatieve kleeft;
 $\gamma_{f,nk}$: de partiële factor van de negatieve kleeft.

2.2.2.2 Belasting van het gebouw

Bij de belasting van een gebouw op een fundering kunnen twee typen belastingen onderscheiden worden, namelijk de permanente- en de variabele belasting. Voor het berekenen van de rekenwaarde van de belasting op de fundering is het van belang te weten hoe groot het aandeel van ieder type belasting is. Het aandeel van deze belasting is afhankelijk van het soort gebouw en het gebruik daarvan. In het studierapport m.b.t. compatibiliteit partiële factoren voor NEN 6740 (lit. [2]) wordt een indicatie gegeven voor de verhouding van de permanente en variabele belasting. Constructeurs achten in de praktijk de volgende verhoudingen plausibel:

	permanent	variabel
- woningen	0,7	0,3
- kantoorgebouwen	0,6	0,4
- sporthallen	0,3	0,7

Hiermee kan één waarde voor de belasting op de paal worden berekend, hetgeen één stochast minder betekent in de probabilistische berekening, wat de verdere berekeningen eenvoudiger maakt.

$$F_{s;d} = \gamma_{f,g} \times F_{s,g;rep} + \gamma_{f,q} \times F_{s,q;rep} \quad (2.2.2.2-1)$$

De gecombineerde belastingsfactor $\gamma_{f,s}$ voor woningen (veiligheidsklasse 3) wordt:

$$\gamma_f = 0,7 \times \gamma_{f,g} + 0,3 \times \gamma_{f,q} = 0,7 \times 1,2 + 0,3 \times 1,5 = 1,29$$

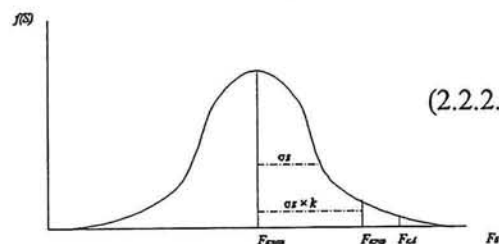
De berekening van de belasting op de fundering zal hier op een andere manier bepaald worden dan zoals in de norm is beschreven. Er is hier gekozen voor een andere manier van berekenen van de belasting van de fundering omdat hiermee veel rekenwerk, dat geen extra inzicht geeft in de betrouwbaarheid van de paal wordt voorkomen. De belasting op de paal wordt berekend uit het draagvermogen van de paal. Tevens wordt er van uit gegaan dat het een optimaal ontwerp van een fundering betreft. Dit betekent dat de rekenwaarde van het paal draagvermogen (F_{rd}) gelijk is aan de rekenwaarde van de belasting op de paal (F_{sd}).

De representatieve belasting kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$F_{s;rep} = \frac{F_{s;d}}{\gamma_f} \quad (2.2.2.2-2)$$

De gemiddelde belasting op de paal kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$F_{s;rep} = F_{s;gem} + k \times \sigma_s \quad (2.2.2.2-3) \quad \text{Figuur 2.2.2.2-1 Kansdichtheidsfunctie belasting.}$$



$$F_{s,gen} = \frac{F_{s,rep}}{(1 - k \times V_s)} \quad (2.2.2.2-4a)$$

Als wordt aangenomen dat de overschrijdingskans 5% is dan wordt k gelijk aan 1,64. De variatiecoëfficiënt voor de belasting (woningbouw) is 0,1 (lit.[2]). Dit geeft als resultaat:

$$F_{s,gen} = 0,859 \times F_{s,rep} \quad (2.2.2.2-4b)$$

2.2.3 Grenstoestanden

Bij het toetsen van funderingen worden verschillende mechanismen beschouwd. Een fundering verkeert in een grenstoestand als deze op het punt van falen en of bezwijken staat of zijn bruikbaarheid verliest. Voor elk mechanisme kan een grenstoestand worden gedefinieerd. Worden de grenstoestanden niet overschreden, dan wordt de constructie geacht te voldoen.

Uiterste grenstoestand (grenstoestand 1)

Van een uiterste grenstoestand is sprake wanneer op het grensvlak tussen de constructie en de grond een bezwijkmechanisme optreedt. Voor geotechnische constructies is deze te onderscheiden in 1A en 1B:

Grenstoestand 1A: een uiterste grenstoestand, waarbij in de grond of in het grensvlak tussen constructie en grond een bezwijkmechanisme optreedt (stabiliteit).

Voorbeeld: het bezwijken van een fundering op staal of een paalfundering door onvoldoende draagkracht van de grond.

Grenstoestand 1B: een uiterste grenstoestand, waarbij zodanige vervormingen in de constructie optreden, dat die niet meer voldoet aan de eis van veiligheid.

Voorbeeld: het bezwijken van een funderingsbalk door grote vervormingen van een paalfundering.

Bruikbaarheidsgrenstoestand (grenstoestand 2)

Er is sprake van een bruikbaarheidsgrenstoestand indien tijdens de gebruikstoestand vervormingen in de constructie leiden tot een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten.

In tabel 2.1.3-1 wordt een overzicht gegeven van de zakkingseisen en partiële veiligheidsfactoren bij de verschillende grenstoestanden 1A, 1B en 2.

Overzicht grenstoestanden, partiële veiligheidscoëfficiënten en vervormingen			
Grenstoestand	1A	1B	2
Partiële veiligheidsfactoren - Draagvermogen - ξ - $\gamma_{m;b4}$ - belasting - $\gamma_{f,g}$ - $\gamma_{f,q}$ - $\gamma_{f,nk}$	NEN 6743 tabel 1 1,25 NEN 6702 tabel 2 NEN 6702 tabel 2 -	NEN 6743 tabel 1 1,25 NEN 6702 tabel 2 NEN 6702 tabel 2 1,4 of 1,0	NEN 6743 tabel 1 1 1 1 1
Relatieve rotatie (β)	-	1:100	1:300
Rotatie θ	-	-	1:300
Zakking w	-	-	0,15

Tabel 2.1.3-1 Overzicht van de grenstoestanden.

Voor de vervormingseisen van grenstoestand 1B en 2 wordt door NEN 6740 §11.9 gesteld dat tussen twee naburige funderingselementen die geen onderlinge krachten kunnen overdragen de verschilzakking ten gevolge van heterogeniteit van de ondergrond en uitvoeringsonvolkomenheden ten minste 33% van de gemiddelde zakking bedraagt. Dit resulteert bij een gebruikelijke onderlinge afstand tussen de funderingselementen van 5 meter voor grenstoestand 1B in een eis voor de gemiddelde zakking van 0,15 m. Voor grenstoestand 2 wordt de eis van de gemiddelde zakking 0,05 m.

Voor het toetsen van een paalfundering aan de grenstoestanden mag bij grenstoestand 1A de negatieve kleeft buiten beschouwing worden gelaten. Bij de vervormingseis grenstoestand 1B wordt de negatieve kleeft wel als de belasting op de paal meegenomen. Voor grondverdringende palen zal grenstoestand 1B altijd maatgevend zijn omdat het last-zakkingsdiagram voor deze grenstoestand in de 'vloetakt' (doorgaande vervorming bij gelijkblijvende belasting) van het diagram zit. Pas bij zeer grote paaldiameters (groter dan ≈ 1500 mm) en boorpalen bestaat de kans dat grenstoestand 2 maatgevend wordt, deze palen worden hier echter buiten beschouwing gelaten.

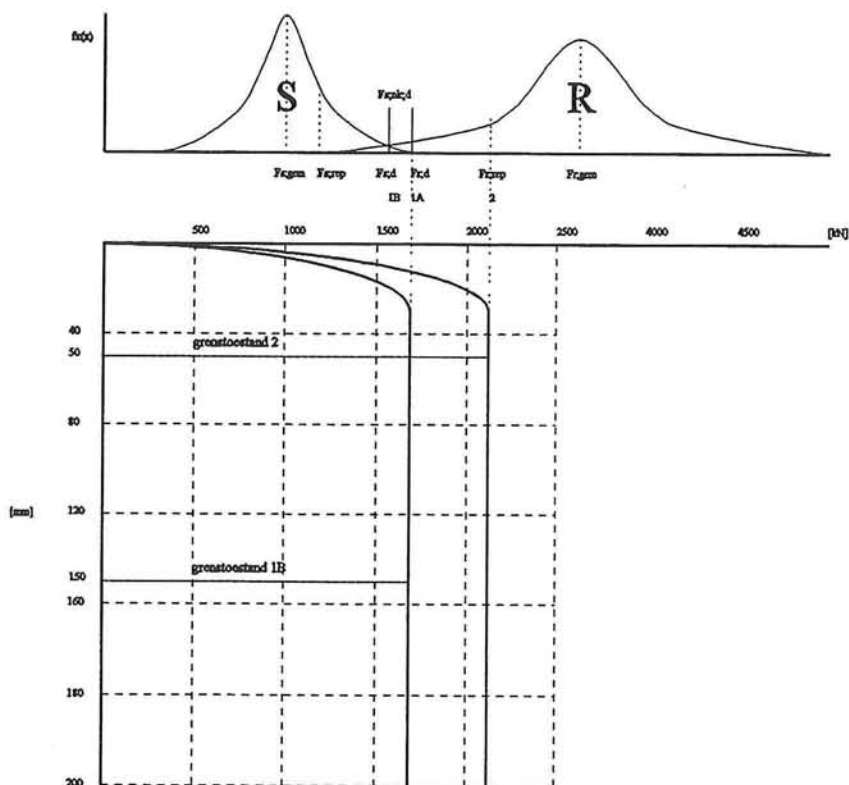
Met behulp van het last-zakkingsdiagram is het mogelijk de vervormingseisen van grenstoestand 1B en 2 uit te drukken in een sterketetoets.

Grenstoestand 1B wordt bepaald met behulp van de maximaal toegestane relatieve rotatie en de maximaal toegestane relatieve zakking tussen de funderingselementen die 33% van de gemiddelde zakking bedraagt. Bij de zakkingseis voor grenstoestand 1B wordt er van uitgegaan dat de afstand tussen de funderingselementen van 5 meter is zodat de toegestane zakking: $1/100 \times 5 \times 3 = 0,15$ m mag bedragen. Door nu op een niveau van 0,15 m in figuur 2.1.3-1 een horizontale lijn te trekken en het raakpunt te

bepalen met de linker diagram (met partiële factoren) kan op de horizontale as van het last-zakkingsdiagram het grensdragvermogen van grenstoestand 1A worden afgelezen. Grenstoestand 1B kan worden gevonden door de negatieve kleeft van grenstoestand 1A af te trekken

De zakkingseis van grenstoestand 2 wordt bepaald door: $1/300 \times 5 \times 3 = 0,05\text{m}$. Grenstoestand 2 is de bruikbaarheidsgrenstoestand en dus zijn de partiële factoren 1. Door een horizontale lijn te trekken op 0,05 m en het raakpunt van de rechter diagram (partiële factoren zijn 1) te bepalen kan op de horizontale as na het aftrekken van de negatieve kleeft de representatieve waarde van het grensdragvermogen ($F_{r,rep}$) voor grenstoestand 2 worden bepaald.

In figuur 2.1.3-1 wordt een voorbeeld gegeven van een last-zakkingsdiagram van een grondverdringende paal.



Figuur 2.1.3-1 Last zakkingsdiagram grondverdringende paal \varnothing 350 en h.o.h. 5 meter.

Als de paal 10% van de paaldiameter is gezakt wordt aangenomen dat de paal grondmechanisch is bezweken en dat deze onder gelijkblijvende belasting alleen nog verder zakt. Doordat zowel de maximaal toegestane vervorming van grenstoestand 1B en 2 groter is dan 10% van de paaldiameter zal grenstoestand 1B altijd maatgevend zijn ten opzichte van grenstoestand 2.

Grenstoestand 1B kan in formulevorm als volgt worden beschreven:

$$F_{r,d} \geq F_{s,d} + F_{s,nk,d} \quad (2.2.3-1)$$

waarin:

- $F_{r,d}$: de rekenwaarde van de sterkte;
- $F_{s,d}$: de rekenwaarde van de gebouwbelasting;
- $F_{s,nk,d}$: de rekenwaarde van de negatieve kleeft.

2.3 Overzicht variatiecoëfficiënten

De partiële factoren voor de belasting en sterkte in de normen zijn gebaseerd op een (semi-) probabilistische aanpak waarbij van het volgende is uitgegaan:

- probabilistische berekeningen met geschatte variatiecoëfficiënten;
- geen breuk met het verleden zodat ten aanzien van de veiligheid, de partiële veiligheidsfactoren, de over-all veiligheidsfactor met een waarde 2 benaderen.

De geschatte variatiecoëfficiënten die zijn toegepast ter bepaling van de partiële factoren in de normen zijn gebaseerd op een compatibiliteits studie partiële factoren (lit. [2]). Deze variatiecoëfficiënten zijn van belang bij het maken van een probabilistische analyse.

Voor het draagvermogen van de paal zijn het punt- en schachtdraagvermogen samen genomen. De gehanteerde variatiecoëfficiënt voor het model van het paal draagvermogen is 0,15. De ruimtelijke variatie in de resultaten van het berekende paal draagvermogen wordt voor woningen 0,12 aangehouden. Aan de belastingkant wordt onderscheid gemaakt in belasting ten gevolge van de negatieve kleeft en belasting ten gevolge van het gebouw. De variatiecoëfficiënt van het berekeningsmodel van de negatieve kleeft is 0,125 terwijl voor de ruimtelijke variatie 0,15 wordt aangehouden. De belasting van het gebouw bestaat uit twee delen, namelijk permanente en variabele belasting. Voor de variatiecoëfficiënt voor de gecombineerde variabele en permanente belasting wordt voor palen in de woningbouw 0,10 aangehouden. Alle genoemde variatiecoëfficiënten in deze alinea zijn afkomstig uit het rapport 'Studie compatibiliteit partiële factoren voor NEN 6740 serie geotechniek' (lit. [2]).

2.4 Probabilistische berekeningsmethoden

In de probabilistiek worden vier niveaus onderscheiden die een marge scheppen tussen de sterkte en belasting:

- Niveau 0 : deterministische methode;
- Niveau I : semi-probabilistische periode, partiële factoren;
- Niveau II : benaderende probabilistische methode;
- Niveau III : volledig probabilistisch.

In de volgende paragrafen worden de probabilistische niveaus nader toegelicht.

2.4.1 Niveau 0 (deterministische methode)

Bij niveau 0 worden conservatieve aannamen gedaan over de grootte van de basisvariabelen voor de sterkte (x_1, \dots, x_n) en de belasting (y_1, \dots, y_m). Er wordt vervolgens door middel van een over-all veiligheidsfactor (γ_0) een marge aangebracht tussen de berekende sterkte (R) en de belasting (S).

De eis heeft hierbij de vorm van:

$$R(x_1, \dots, x_n) \geq \gamma_0 \times S(y_1, \dots, y_m) \quad (2.4.1-1)$$

waarin:

- R : de sterkte;
- S : de belasting.

γ_0 is een veiligheidsfactor die geheel aan de belastingkant is ondergebracht (load factor design). Het is ook mogelijk een veiligheidsfactor alleen aan de sterkte kant toe te passen (resistance factor design). De veiligheidsfactor kan ook aan beide zijden worden ondergebracht (load and resistance factor design). De veiligheidsfactor kan opgesplitst worden in meer (partiële) veiligheidsfactoren.

2.4.2 Niveau I (huidige ontwerpmethoden, partiële factoren)

Niveau I bevat de huidige ontwerpmethoden, waarin een marge geschapen wordt tussen de representatieve waarden van de sterkte en die van de belastingen door middel van een verzameling van partiële factoren. De partiële factoren kunnen worden bepaald met een niveau II berekening. Met behulp van deze partiële factoren kan op eenvoudige wijze de rekenwaarde bepaald worden.

Relaties voor belasting en sterkte in het meest eenvoudige geval zijn:

$$S_d = \gamma_f S_{rep} \quad (2.4.2-1a)$$

$$R_d = \frac{R_{rep}}{\gamma_m} \quad (2.4.2-1b)$$

waarin:

S_d	: de ontwerpwaarde van de belasting;
γ_f	: de partiële factor voor de belasting;
S_{rep}	: de representatieve waarde van de belasting;
R_d	: de ontwerpwaarde voor de sterkte;
γ_m	: de partiële factor voor de sterkte;
R_{rep}	: de representatieve waarde van de sterkte.

$$S_{rep} = \mu_S - k \sigma_S \quad (2.4.2-2a)$$

$$R_{rep} = \mu_R - k \sigma_R \quad (2.4.2-2b)$$

waarin:

μ_S	: de gemiddelde waarde van de belasting;
σ_S	: de spreiding van de belasting;
μ_R	: de gemiddelde waarde van de sterkte;
σ_R	: de spreiding van de sterkte;
k	: het aantal malen standaardafwijking om een bepaalde over- of onderschrijdingskans te markeren.

De waarden van k zijn afhankelijk van het type verdeling en de vereiste over- of onderschrijdingskans. Bij een normale verdeling met een onderschrijdingskans van 5 procent voor de sterkte geldt: $k = 1,64$. Bij sterkte is k meestal negatief, waardoor $S_{rep} > \mu_S$, soms echter positief.

Als er meer stochasten in de belasting en sterkte zitten, dan ziet de ontwerp eis er als volgt uit:

$$R_d = \left(\frac{R_{rep_1}}{\gamma_{m_1}}, \dots, \frac{R_{rep_n}}{\gamma_{m_n}} \right) \geq S_d = (S_{rep_1} \gamma_{f_1}, \dots, S_{rep_m} \gamma_{f_m}) \quad (2.4.2-3)$$

Om aan de juiste faalkans, de P_f te voldoen is er een zekere marge tussen S_{rep} en R_{rep} nodig. Dit wordt bereikt door partiële factoren γ_f en γ_m toe te passen op de representatieve waarden zodat de ontwerpwaarden worden verkregen.

Het controleren van de bruikbaarheidsgrenstoestand kan worden gezien als een bijkomende controle. In het geval van een paalfundering wordt deze ontworpen op een kracht, en gecontroleerd op de toelaatbare vervormingen (zakking, rotaties van de gehele fundering) de γ_f is dan ≥ 1 . Na het bepalen van γ_f of de representatieve waarde, kan elke grenstoestand worden gecontroleerd met de aanname dat $R_d > S_d$.

2.4.3 Niveau II (benaderende methoden)

Niveau II omvat een aantal benaderende methoden waarbij het probleem wordt gelineariseerd rond een bepaald met zorg gekozen punt. Niveau II berekeningen verschaffen inzicht in de bijdragen van de diverse basisvariabelen in de variantie van de betrouwbaarheidsfunctie (invloedscoëfficiënten). In hoofdstuk 5 zal de niveau II methode verder worden toegelicht aan de hand van de Approximate Full Distribution Approach. Deze methode kan omschreven worden als een gewogen gevoeligheidsanalyse waarbij wordt getracht de betrouwbaarheidsfunctie te lineariseren rond het punt $Z = 0$ met de hoogste kansdichtheid van ontwerp punt.

2.4.4 Niveau III (exacte methoden)

Niveau III omvat de exacte probabilistische berekening, waarbij de kansdichtheidsfuncties van alle variabelen en hun afhankelijkheden in aanmerking worden genomen. De relaties tussen de variabelen (sterkte en belasting) moeten wiskundig worden geformuleerd zodat de grenstoestanden worden berekend. Vervolgens kan de kans op overschrijding van deze grenstoestand worden berekend. Niveau III berekeningen geven geen standaard inzicht in de bijdragen van de basisvariabelen in de variantie van de betrouwbaarheidsfunctie (invloedscoëfficiënten). Met behulp van enig programmeerwerk is dit echter wel mogelijk.

2.5 Betrouwbaarheidsfunctie

Een betrouwbaarheidsfunctie is een wiskundig model dat iets zegt over het fysisch gedrag van de constructie onder de belasting.

Een betrouwbaarheidsfunctie heeft de volgende structuur:

$$Z = R - S \quad (2.5-1)$$

R en S bevat één of meer stochasten die ieder een gemiddelde waarde en een spreiding hebben. Een stochast is een grootheid die aan toeval onderhevig is. Van iedere stochast moet het type verdeling, het gemiddelde en de standaardafwijking bekend zijn om een niveau II som te kunnen maken.

De betrouwbaarheidsfunctie van het draagvermogen van een paal wordt bepaald door de maatgevende grenstoestand. De maatgevende grenstoestand van een grondverdringende paal is grenstoestand 1B.

$$F_{r,d} - (F_{s,d} + F_{s,nk;d}) \geq 0 \quad (2.5-2)$$

Voor de betrouwbaarheidsfunctie wordt niet de rekenwaarde maar de gemiddelde waarde gesubstitueerd. De rekenwaarde komt tot uiting in de gemiddelde gebouwbelasting en dus in de betrouwbaarheidsindex.

In hoofdstuk 3 en 4 worden de variatiecoëfficiënten en de verwachtingswaarde van de stochasten bepaald die nodig zijn voor een probabilistische berekening op Niveau II. In hoofdstuk 5 worden de betrouwbaarheidsfuncties beschreven en worden probabilistische berekeningen gemaakt van de funderingsontwerpen.

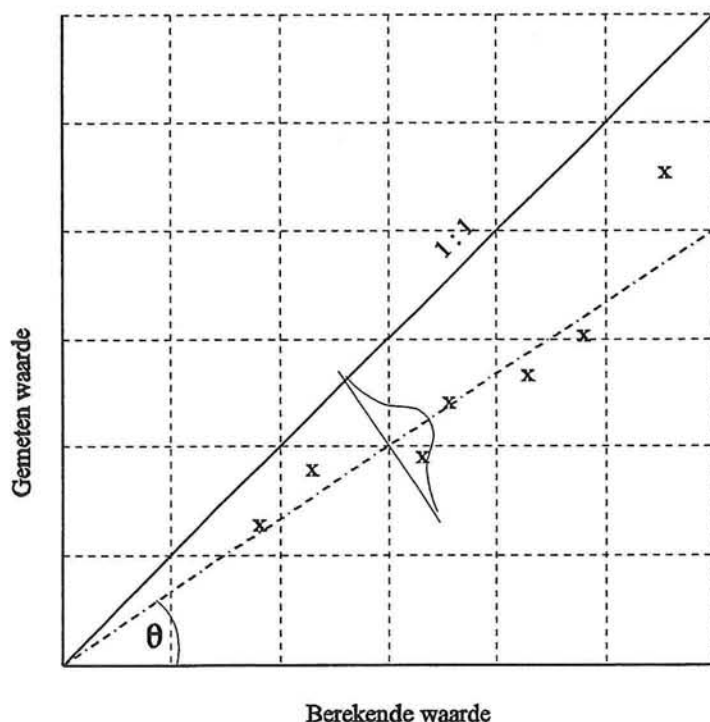
3 Gemeten modelfactoren

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de gemeten modelfactoren berekend met behulp van proefbelastingen en negatieve kleeftmetingen.

De modelfactor is een factor die zegt iets over de ligging van de gemiddelde waarde van de uitkomst van het model en het zegt iets over de spreiding van de ligging van de gemiddelde waarde. Om de modelfactor te bepalen wordt er gebruik gemaakt van de berekende en de gemeten waarden van bijvoorbeeld het paalpunt draagvermogen. Door de gemiddelde waarde te bepalen uit de quotiënten van de gemeten en berekende waarde ($\tan \theta$) van het paalpunt draagvermogen kan de berekende waarde uit het model gecorrigeerd worden naar de gemeten waarden.

Als van een proefbelasting de berekende waarde overeenkomt met de gemeten waarden dan zal deze in figuur 3.1-1 op de lijn 1:1 liggen. Is de berekende waarde kleiner dan de gemeten waarde dan zal dit punt boven de lijn 1:1 liggen. Is de berekende waarde groter dan de gemeten waarde dan zal deze onder de lijn 1:1 liggen en is $\tan \theta$ kleiner dan 1. De spreiding van het model wordt berekend uit de spreiding van de quotiënten van de gemeten en berekende waarden.



Figuur 3.1-1 Bepaling modelfactor.

Om de huidige ontwerpmethoden te kunnen toetsen of de vereiste betrouwbaarheidsindex wordt gehaald is het belangrijk te weten wat de gemeten modelfactoren van alle stochasten (paalpunt draagvermogen, paalschachtdraagvermogen, negatieve kleeft) zijn. In dit hoofdstuk worden de gemeten modelfactoren berekend voor het paalpunt draagvermogen, het paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleeft. Deze modelfactoren kunnen worden gebruikt om de werkelijke betrouwbaarheid van de prefab paal te berekenen

3.2 Uitgangspunten en aannamen

De variatiecoëfficiënten ten behoeve van de gemeten modelfactoren worden bepaald met behulp van het quotiënt van de gemeten en berekende waarde. De variatiecoëfficiënten van de modelfactoren van het paalpunt draagvermogen, het paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleeft zijn als volgt berekend:

- voor ieder resultaat van de proefbelasting is het quotiënt berekend van het gemeten en het berekende paalpunt draagvermogen, paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleeft. (tg θ uit figuur 3.1-1);
- van deze quotiënten is voor de gewenste groep proefbelastingen het gemiddelde en de spreiding bepaald.

Bij een probabilistische analyse worden deze modelfactoren toegepast in de betrouwbaarheidsfunctie. Bij het bepalen van deze modelfactoren is er in dit rapport van uitgegaan dat paal van de proefbelasting op exact de zelfde plaats heeft gestaan als waar de sondering is gemaakt. Er wordt dus aangenomen dat de ruimtelijke spreiding geen rol speelt. De berekende waarden van het paalpunt draagvermogen, paalschachtdraagvermogen en de negatieve kleeft worden bepaald conform NEN 6743.

3.3 Berekening modelfactoren

3.3.1 Paalpunt draagvermogen

Voor het berekenen van de modelfactor van het paalpunt draagvermogen is gebruik gemaakt van resultaten van proefbelastingen van diverse paaltypen. In 1983 heeft A.H. Rol een publikatie geschreven over de resultaten van 19 proefbelastingen (lit.[1]) en heeft deze uitgezet in een grafiek tegen het berekende paalpunt draagvermogen. In dit rapport zijn de proefbelastingresultaten van de Stresswave en Prepal (lit.[17] en lit.[14]) toegevoegd aan de resultaten van proefbelastingen van A.H. Rol (lit.[1]). Van deze resultaten zijn de variatiecoëfficiënten bepaald zoals deze in §3.2 staat beschreven.

In tabel 3.3.1-1 staan de resultaten vermeld van de proefbelastingen onderverdeeld in bepaalde groepen. Bij deze tabel moet wel worden opgemerkt dat de resultaten zijn gebaseerd op zowel de mechanische sondeerconus als de elektrische sondeerconus.

**Resultaten variatiecoëfficiënt paalpunt draagvermogen
op basis van mechanische en elektrische sondeerconus ongecorrigeerd.**

Grondverdringende palen	aantal proefpalen	gemiddeld $e \alpha_p$	standaard afwijking	variatie coëfficiënt
Data A.H. Rol (1983) Diverse paaltypen (Mech. sond.)	19	1,184	0,443	0,374
Data A.H. Rol (1983) Stresswave (1992) en Prepal (1993) Diverse paaltypen (Mech. en Elec. sond.)	24	1,056	0,468	0,443
Data A.H. Rol (1983) Alleen prefab palen (Mech. sond.)	9	0,894	0,284	0,318
Data A.H. Rol (1983), Alleen prefab palen (Mech. sond.) Delft	5	0,767	0,106	0,139
Data A.H. Rol (1983), Stresswave (1992) en Prepal (1993) Alleen prefab palen (Mech. en Elec. sond.)	14	0,777	0,280	0,360
Data A.H. Rol (1983), Delft Stresswave (1992) en Prepal (1993) Alleen prefab palen (Mech. en Elec. sond.)	10	0,667	0,134	0,201
Data Stresswave en Prepal Alleen prefab palen Delft (Elec. sond.)	5	0,567	0,069	0,121
Data Stresswave (1992) Alleen prefab palen Delft (Elec. sond.)	3	0,595	0,044	0,073
Data Prepal (1993) Alleen prefab palen Delft (Elec. sond.)	2	0,525	0,077	0,147

Tabel 3.3.1-1 Resultaten onbewerkte variatiecoëfficiënten paalpunt draagvermogen

Van de oudere proefbelastingen zijn de berekende paalpunt draagvermogens gebaseerd op de mechanische sondeerconus. De recente proefbelastingen (Prepal en Stresswave) die voor dit rapport zijn gebruikt, zijn de berekende paalpunt draagvermogens gebaseerd op de elektrische sondeerconus.

Uit de tabel 3.3.1-1 blijkt dat bij de meeste proefbelastingen het gemeten paalpunt draagvermogen kleiner is ($\alpha_p < 1$) dan het berekende paalpunt draagvermogen conform NEN 6743. De variatiecoëfficiënten zijn vrij groot (groter dan 0,15 waar bij de normen van is uitgegaan) hetgeen bij een probabilistische analyse zal leiden tot een kleinere betrouwbaarheidsindex. Bij het bepalen van de variatiecoëfficiënt van het paalpunt draagvermogen zijn de resultaten van sonderingen op basis van de mechanische en elektrische sondeerconus door elkaar gebruikt. Uit de literatuur is bekend dat deze niet altijd de zelfde waarden geven.

In het verleden zijn onderzoeken gedaan naar de verschillen tussen de mechanische- en de elektrische sondeerconus zoals onder andere door ir. W. Heijnen lit.[16] is gedaan. Hierin wordt geschreven dat de gladde elektrische sondeerconus gemiddeld circa. 20% hogere conusweerstand geeft dan de mechanische mantelconus. De heer A.H. Rol lit.[15] heeft eveneens onderzoek gedaan naar de verschillen tussen de mechanische en elektrische sondeerconus op twee verschillende locaties (Diemen en Delft). Uit dat onderzoek blijkt dat gemiddeld over de hele lengte van de sondering nagenoeg geen verschil is tussen de mechanische en elektrische sondeerconus. Wordt er alleen naar de draagkrachtige zandlagen gekeken dan geeft de elektrische sondeerconus in Diemen gemiddeld 15 % lagere waarden dan de mechanische sondeerconus. Voor Delft geeft de elektrische sondeerconus 1% lagere waarde. Op grond van deze publikaties is echter niet te concluderen dat de elektrische sondeerconus per definitie hogere sondeerwaarden geeft dan de mechanische sondering.

Als wordt aangenomen dat de proefbelastingen uit Delft onderling vergelijkbaar zijn en het verschil alleen veroorzaakt wordt door de wijze van sonderen (mechanisch- of elektrisch sondeerapparaat), dan kunnen de resultaten in tabel 3.3.1-1 gecorrigeerd worden naar berekende paalpunt draagvermogens op basis van elektrische sonderingen.

De correctiefactor $C_{p,corr}$ voor de mechanische conus wordt bepaald door:

$$C_{p,corr} = \frac{\alpha_{p_{elec}}}{\alpha_{p_{mech}}} \quad (3.3.1-1)$$

Voor de elektrische conus zijn resultaten van proefbelastingen verzameld van de prefab palen (Stresswave en Prepal) uit Delft. Voor de mechanische conus zijn resultaten van proefbelastingen verzameld van de prefab palen uit Delft van A.H. Rol. Voor het bepalen van de correctiefactor zijn maar zeer weinig meetresultaten beschikbaar (5 resultaten op basis van mechanische sondering en 5 resultaten op basis van elektrische sondering). Voor een meer betrouwbaarder correctiefactor zijn meer resultaten uit proefbelastingen nodig en van verschillende locaties. De correctiefactor wordt:

$$C_{p,corr} = \frac{0,567}{0,767} = 0,739$$

Het paalpunt draagvermogen op basis van de elektrische sondeerconus kan nu worden berekend door het paalpunt draagvermogen op basis van de mechanische sondeerconus te vermenigvuldigen met de correctiefactor.

In tabel 3.3.1-2 zijn alle berekende paalpunt draagvermogens gecorrigeerd alsof deze op basis van een elektrische sondeerconus zijn bepaald.

Resultaten variatiecoëfficiënt paalpunt draagvermogen op basis van elektrische sondeerconus gecorrigeerd.				
grondverdringende palen	aantal proefpalen	gemiddelde α_p	standaard afwijking	variatie coëfficiënt
Data A.H. Rol (1983) Diverse paaltypen	19	0,875	0,327	0,374
Data A.H. Rol (1983) Stresswave (1992) en Prepal (1993) Diverse paaltypen	24	0,811	0,318	0,393
Data A.H. Rol (1983) Alleen prefab palen	9	0,661	0,210	0,318
Data A.H. Rol (1983), Alleen prefab palen Delft	5	0,567	0,079	0,139
Data A.H. Rol (1983), Stresswave (1992) en Prepal (1993) Alleen prefab palen	14	0,627	0,179	0,286
Data A.H. Rol (1983), Delft Stresswave (1992) en Prepal (1993) Alleen prefab palen	10	0,567	0,074	0,130
Data Stresswave en Prepal Alleen prefab palen Delft	5	0,567	0,069	0,121
Data Stresswave (1992) Alleen prefab palen Delft	3	0,595	0,044	0,073
Data Prepal (1993) Alleen prefab palen Delft (Elec. sond.)	2	0,525	0,077	0,147

Tabel 3.3.1-2 Resultaten bewerkte variatiecoëfficiënten paalpunt draagvermogen.

De variatiecoëfficiënt voor alleen prefab palen voor data van A.H. Rol, Stresswave en Prepal heeft nu een waarde van 0,286 in plaats van 0,360 gekregen. Deze resultaten zijn gebaseerd op 5 paar proefbelastingen.

Uit tabel 3.3.1-2 kan voor de modelfactor van het paalpunt draagvermogen op basis van de resultaten van proefbelastingen voor alleen prefab palen (data van A.H. Rol, Stresswave en Prepal) worden aangenomen:

$$\begin{aligned}\mu(f_{r,M;punt}) &= 0,627 \\ \sigma(f_{r,M;punt}) &= 0,179 \\ V(f_{r,M;punt}) &= 0,286\end{aligned}$$

De modelfactor van het paalschachtdraagvermogen is gebaseerd op zeer weinig resultaten van proefbelastingen (5). Tevens valt op dat de resultaten van de Prepal proefbelasting zeer laag uitkomen. Er is geen oorzaak gevonden waarom deze resultaten zo laag zijn.

De ruimtelijke spreiding van het paalpunt draagvermogen $V(f_{r,R;punt})$ kan worden bepaald uit de spreiding van de berekende paalpunt draagvermogens op basis van verschillende sonderingen die op de locatie waar de palen moeten komen te staan zijn gemaakt.

3.3.2 Paalschachtdraagvermogen

De modelfactor van het paalschachtdraagvermogen wordt berekend met behulp van de resultaten van 5 proefbelastingen in Delft, zie tabel 3.3.2-1. Deze proefbelastingen zijn afkomstig van de Stresswave (1992) en de Prepal (1993). Het berekende paalschachtdraagvermogen heeft plaatsgevonden op basis van elektrische sonderingen.

De variatiecoëfficiënten van de modelfactor voor het paalschachtdraagvermogen zijn bepaald zoals in §3.2 staat beschreven.

Resultaten quotiënt gemeten en berekend paalschachtdraagvermogen op basis van elektrische sondeerconus			
Proefbelasting	Berekende schachtwrijving [kN]	Gemeten schachtwrijving [kN]	Quotiënt gemeten en berekend
Stresswave 01c	385	400	1,039
Stresswave 01d	353	450	1,275
Stresswave 01e	364	370	1,016
Prepal 01	526	300	0,570
Prepal 02	585	350	0,598

Tabel 3.3.2-1 Resultaten quotiënt gemeten en berekend schachtdraagvermogen.

De modelfactor van het paalschachtdraagvermogen heeft de volgende waarden:

$$\begin{aligned}\mu(f_{r,M;schaft}) &= 0,900 \\ \sigma(f_{r,M;schaft}) &= 0,273 \\ V(f_{r,M;schaft}) &= 0,303\end{aligned}$$

De ruimtelijke spreiding van het paalschachtdraagvermogen $V(f_{r,R;schaft})$ kan worden bepaald uit de spreiding van de berekende paalschachtdraagvermogens op basis van verschillende sonderingen die op de locatie waar de palen moeten komen te staan zijn gemaakt.

3.3.3 Paal draagvermogen

De modelfactor van het paal draagvermogen wordt berekend met behulp van de resultaten van 5 proefbelastingen in Delft, zie tabel 3.3.3-1. De modelfactor van het paal draagvermogen is bepaald over de som van het paalpunt- en paalschachtdraagvermogen. Deze proefbelastingen zijn afkomstig van de Stresswave (1992) en de Prepal (1993). De berekeningen van het berekende paal draagvermogen heeft plaats gevonden op basis van elektrische sonderingen.

De variatiecoëfficiënten van de modelfactor voor het paalschachtdraagvermogen zijn bepaald zoals in §3.2 staat beschreven.

Resultaten quotiënt gemeten en berekend paal draagvermogen op basis van elektrische sondeerconus			
Proefbelasting	Berekende paal draagvermogen [kN]	Gemeten paal draagvermogen [kN]	Quotiënt gemeten en berekend
Stresswave 01c	1186	870	0,734
Stresswave 01d	1177	900	0,764
Stresswave 01e	1132	870	0,769
Prepal 01	1640	970	0,591
Prepal 02	1567	790	0,504

Tabel 3.3.3-1 Resultaten quotiënt gemeten en berekend paal draagvermogen.

De modelfactor van het paal draagvermogen heeft de volgende waarden:

$$\mu(f_{T,M}) = 0,672$$

$$\sigma(f_{T,M}) = 0,106$$

$$V(f_{T,M}) = 0,158$$

Opgemerkt moet worden dat de modelfactor van het paal draagvermogen sterk afhankelijk is van de onderlinge verhouding van het paalpunt en het schachtdraagvermogen. Deze is afhankelijk van de diameter van de paal en de grondgesteldheid.

De ruimtelijke spreiding van het paal draagvermogen $V(f_{T,R})$ kan worden bepaald uit de spreiding van de berekende paal draagvermogens op basis van verschillende sonderingen die op de locatie waar de palen moeten komen te staan zijn gemaakt.

3.3.4 Negatieve kleef

De modelfactor van de negatieve kleef is bepaald met behulp van resultaten van 5 proefbelastingen van 5 gladde onbehandelde palen uit de omgeving van Rotterdam, zie tabel 3.3.4-1.

De variatiecoëfficiënten van de modelfactor voor het paalschachtdraagvermogen zijn bepaald zoals in §3.2 staat beschreven.

Resultaten quotiënt gemeten en berekend negatieve kleeft op basis van mechanische sondering ongecorrigeerd.			
Locatie proefpaal	Berekende negatieve kleeft [kN]	Gemeten negatieve kleeft [kN]	Quotiënt gemeten en berekend
D.W.L. Kralingen	800	750	0,938
Eemshaven R. dam	800	935	1,169
E.N.C.I. R. dam	1400	1200	0,857
Gulf R. dam	1300	1300	1,000
I.C.I. Rozenburg	990	810	0,818

Tabel 3.2.4-1 Resultaten quotiënt gemeten en berekend negatieve kleeft.

De modelfactor van de negatieve kleeft heeft de volgende waarden:

$$\mu(f_{s;M;nk}) = 0,956$$

$$\sigma(f_{s;M;nk}) = 0,124$$

$$V(f_{s;M;nk}) = 0,129$$

De ruimtelijke spreiding van het paalschachtdraagvermogen $V(f_{s;R;nk})$ kan worden bepaald uit de spreiding van de berekende paalpunt draagvermogens op basis van verschillende sonderingen die op de locatie waar de palen moeten komen te staan zijn gemaakt.

3.3.5 Gebouwbelasting

In deze paragraaf wordt de afleiding gegeven van de variatiecoëfficiënt van de belasting op de fundering. Hier wordt de permanente en variabele belasting samen genomen zodat in de betrouwbaarheidsfunctie een stochast minder zit. Dit betekent dat ook de variatiecoëfficiënt voor de gecombineerde belastingsfactor berekend worden. Van de permanente en variabele belasting wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld en onafhankelijk zijn.

De totale belasting wordt berekend met de volgende formule:

$$F_{s;g+q;gem} = F_{s;g;gem} + F_{s;q;gem} \quad (3.3.5-1a)$$

ofwel:

$$\mu(F_{s;g+q}) = \mu(F_{s;g}) + \mu(F_{s;q}) \quad (3.3.5-1b)$$

De spreiding van de gecombineerde belasting wordt bepaald door:

$$\sigma(F_{s;g+q}) = \sqrt{(\sigma^2(F_{s;g}) + \sigma^2(F_{s;q}))} \quad (3.3.5-2)$$

$$\sigma(F_{s;g}) = V(F_{s;g}) \times \mu(F_{s;g}) \quad (3.3.5-3a)$$

$$\sigma(F_{s;q}) = V(F_{s;q}) \times \mu(F_{s;q}) \quad (3.3.5-3b)$$

De verhouding tussen de representatieve permanente en variabele belasting wordt als geschreven:

$$\Theta = \frac{F_{s,g,rep}}{F_{s,q,rep}} \quad (3.3.5-4)$$

In dit rapport zal Θ de waarde van $0,7:0,3 = 2,33$ hebben (woningbouw)

Voor de gemiddelde permanente belasting geldt:

$$F_{s,g,gem} = F_{s,g,rep} = \Theta \times F_{s,q,rep} \quad (3.3.5-5)$$

De representatieve belasting kan worden bepaald met:

$$S_{rep} = \mu_s - k \times \sigma_s \quad (k = -1,64 \quad 5\% \text{ overschrijdingskans}) \quad (3.3.5-6)$$

Voor de gemiddelde variabele belasting geldt met $V(F_{s,q,gem}) = 0,4$:

$$F_{s,q,gem} = \frac{F_{s,q,rep}}{1 + 1,64 \times V(F_{s,q,gem})} \quad (3.3.5-7a)$$

$$F_{s,q,gem} = 0,604 \times F_{s,q,rep} \quad (3.3.5-7b)$$

De totale belasting kan worden geschreven als:

$$F_{s,g+q,gem} = \Theta \times F_{s,q,rep} + 0,604 \times F_{s,q,rep} \quad (3.3.5-8a)$$

$$F_{s,g+q,gem} = (\Theta + 0,604) \times F_{s,q,rep} \quad (3.3.5-8b)$$

De standaardafwijking van de gecombineerde belasting wordt:

$$\sigma(F_{s,g+q}) = \sqrt{(\Theta \times V(F_{s,g}) \times F_{s,g,rep})^2 + (0,604 \times V(F_{s,q}) \times F_{s,q,rep})^2} \quad (3.3.5-8b)$$

Als de variatiecoëfficiënten voor de permanente $V(F_{s,g}) = 0,07$ en variabele belasting $V(F_{s,q}) = 0,4$ worden gesubstitueerd wordt de volgende vergelijking verkregen:

$$\sigma(F_{s,g+q}) = F_{s,q,rep} \sqrt{0,0049 \times \Theta^2 + 0,0584} \quad (3.3.5-9b)$$

De variatiecoëfficiënt voor de totale belasting wordt voor $\Theta = 2,33$: $V(F_{s,g+q}) = 0,10$

De spreiding kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$V(F_{s,g+q}) = \frac{\sqrt{0,0049 \times \Theta^2 + 0,0584}}{\Theta + 0,605} \quad (3.3.5-10)$$

$$V(F_{s,g+q}) = \frac{\sigma(F_{s,g+q})}{F_{s,g+q}} \quad (3.3.5-11a)$$

$$\sigma(F_{s,g+q}) = F_{s,g+q} \times V(F_{s,g+q})$$

(3.3.5-11b)

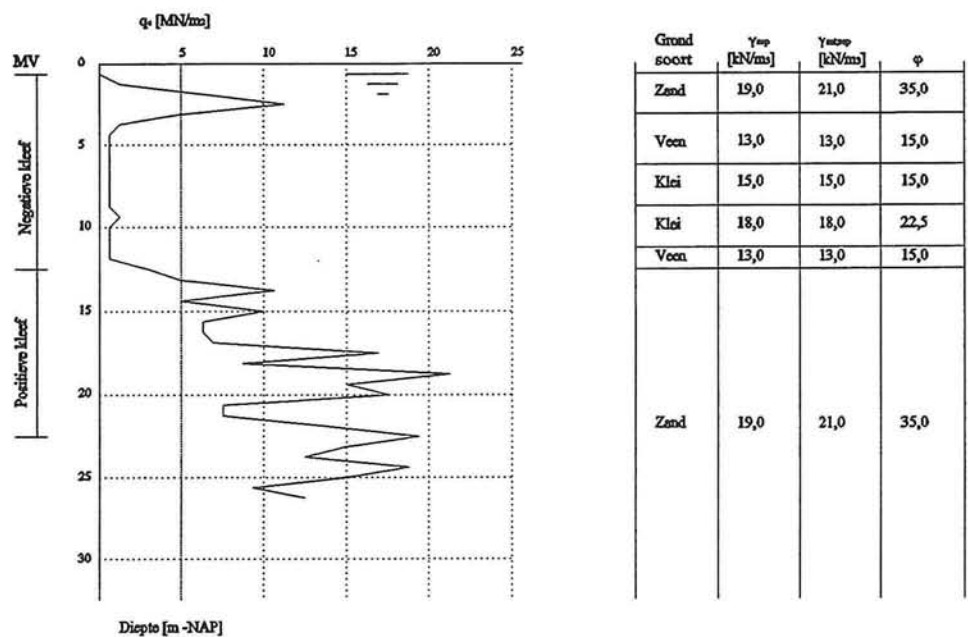
4 Reëel ontwerp paalfundering

4.1 Inleiding

Om meer inzicht te krijgen in de werkelijke betrouwbaarheid van een paalfundering is het van belang een reëel ontwerp van een paalfundering volgens de norm te maken en daarvan de betrouwbaarheidsindex te bepalen. Met behulp van de resultaten van proefbelastingen zijn in hoofdstuk 3 de gemeten modelfactoren van de stochasten bepaald. De betrouwbaarheid van de paalfundering ontworpen volgens de norm kan nu worden bepaald met gevonden modelfactoren uit de proefbelastingen. De belasting op de paalfundering is op een andere wijze bepaald dan gebruikelijk is. De belasting wordt berekend uit het draagvermogen van de paal. Hier is uitgegaan van een optimaal funderingsontwerp waarbij is gesteld dat de rekenwaarde van het paal draagvermogen ($F_{r,d}$) gelijk is aan de rekenwaarde van de belasting ($F_{s,d}$). In dit hoofdstuk worden funderingsontwerpen berekend waarmee in hoofdstuk 5 een probabilistische niveau II berekening wordt gemaakt waaruit de betrouwbaarheidsindex volgt.

4.2 Beschrijving reëel ontwerp

Het funderingsontwerp is gebaseerd op sonderingen afkomstig uit Stolwijk, die zijn gemaakt voor een uitbreidingsplan voor woningbouw.



Figuur 4.2-1 Sondering stol01.

Het funderingsontwerp wordt gemaakt voor woningen waarvan wordt aangenomen dat deze vallen onder veiligheidsklasse 3, geotechnische categorie 2 en dat uiterste grenstoestand 1B maatgevend is. Voor dit funderingsontwerp zijn de sonderingen stol01 t/m stol10 in aanmerking genomen. Het funderingsontwerp is gemaakt voor prefab betonpalen \square 350 mm waarvan de paalpunt op 22,5 -NAP staat. De keuze van het paalpuntniveau is op 22,5 -NAP gekozen omdat de variatiecoëfficiënt ten gevolge van ruimtelijke spreiding van het draagvermogen van de paal daar klein is (lit.[19]).

Eén funderingsontwerp wordt in §4.3 geheel uitgewerkt, waarna de overige resultaten van de funderingsontwerpen in tabelvorm worden weergegeven. Zie de tabellen 4.2-1 t/m 4.2-3, 4.2-5 en 4.2-6. Het funderingsontwerp dat volledig wordt uitgewerkt betreft één alleenstaande paal die berekend wordt op basis van een één sondering (stol01).

4.3 Berekening fundering

Paalpunt en paalschachtdraagvermogen

De berekening van het paalpunt en paalschachtdraagvermogen zijn uitgevoerd met behulp van het computerprogramma Koppejan. Het computerprogramma berekent het maximale draagvermogen van een paal ($F_{r,max;i}$).

$$\begin{aligned} F_{r,punt,max\ i} &= 1178,15 \text{ kN} & \alpha_p &= 1 \\ F_{r,schacht,max,i} &= 1268,75 \text{ kN} & \alpha_s &= 0,01 \\ F_{r,max,i} &= F_{r,punt,max\ i} + F_{r,schacht,max,i} = 1178,15 + 1268,75 = 2446,90 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dit uitgewerkte funderingsontwerp wordt gemaakt voor één paal op basis van 1 sondering zodat:

$$F_{r,max,gem} = F_{r,max,i}$$

De representatieve draagkracht wordt voor 1 paal ($M = 1$) op basis van 1 sondering stol01 ($N = 1$) wordt:

$$F_{r,max,rep} = \xi \times F_{r,max,gem} = 0,75 \times 2446,90 = 1835,18 \text{ kN}$$

De rekenwaarde van het draagvermogen van de paal, op basis van deze sondering wordt:

$$F_{r,max,d} = \frac{F_{r,max,rep}}{\gamma_{m;b4}} = \frac{1835,18}{1,25} = 1468,14$$

Tabel 4.2-1 geeft een overzicht van de resultaten van de berekeningen van het paal draagvermogen gebaseerd op de sonderingen stol01 t/m stol10.

Resultaten berekening paal draagvermogen						
Sondering	Conform norm, $\mu(F_{r,punt}) = 1, \mu(F_{r,schacht}) = 1$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r,gem}$	$F_{r,rep}$	$F_{r,d}$	$F_{r,gem}$	$F_{r,rep}$	$F_{r,d}$
stol01	2446,9	1835,2	1468,1	2446,9	2006,5	1605,2
stol02	2528,9	1896,7	1517,4	2528,9	2073,7	1659,0
stol03	2797,8	2098,4	1678,7	2797,8	2294,2	1835,4
stol04	2494,2	1870,6	1496,5	2494,2	2045,2	1636,2
stol05	2913,8	2185,3	1748,3	2913,8	2389,3	1911,4
stol06	2304,3	1728,2	1382,6	2304,3	1889,5	1511,6
stol07	2583,3	1937,5	1550,0	2583,3	2118,3	1694,6
stol08	2436,1	1827,0	1461,6	2436,1	1997,6	1598,0
stol09	2754,1	2065,6	1652,5	2754,1	2258,4	1806,7
stol10	2865,8	2149,4	1719,5	2865,8	2350,0	1880,0
gemiddeld	2612,5	1959,4	1567,5	2612,5	2142,3	1713,8
spreading	196,1			196,1		

Tabel 4.2-1 Resultaten berekening paal draagvermogen.

Resultaten berekening paal draagvermogen												
Sondering	Met gemeten model factoren, $\mu(F_{r, M_{paal}}) = 0,627$, $\mu(F_{r, M_{schacht}}) = 0,9$						Met gemeten model factor $\mu(F_{r, M}) = 0,672$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$			1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r, gem}$	$F_{r, rep}$	$F_{r, d}$	$F_{r, gem}$	$F_{r, rep}$	$F_{r, d}$	$F_{r, gem}$	$F_{r, rep}$	$F_{r, d}$	$F_{r, gem}$	$F_{r, rep}$	$F_{r, d}$
stol01	1880,6	1410,4	1128,3	1880,6	1542,1	1233,7	1644,3	1233,2	986,6	1644,3	1348,3	1078,7
stol02	1941,6	1456,2	1164,9	1941,6	1592,1	1273,7	1699,4	1274,6	1019,6	1699,4	1393,5	1114,8
stol03	2084,9	1563,7	1251,0	2084,9	1709,6	1367,7	1880,1	1410,1	1128,6	1880,1	1541,7	1233,3
stol04	1948,3	1461,2	1169,0	1948,3	1597,6	1278,1	1676,1	1257,1	1005,7	1676,1	1374,4	1099,5
stol05	2227,0	1670,2	1336,2	2227,0	1826,1	1460,9	1958,1	1468,6	1174,9	1958,1	1605,6	1284,5
stol06	1850,8	1388,1	1110,5	1850,8	1517,7	1214,1	1548,5	1161,4	929,1	1548,5	1269,8	1015,8
stol07	1987,9	1490,9	1192,7	1987,9	1630,1	1304,1	1736,0	1302,0	1041,6	1736,0	1423,5	1138,8
stol08	1896,2	1422,1	1137,7	1896,2	1554,9	1243,9	1637,1	1227,8	982,3	1637,1	1342,4	1073,9
stol09	2091,4	1568,6	1254,8	2091,4	1714,9	1372,0	1850,8	1388,1	1110,5	1850,8	1517,7	1214,1
stol10	2200,4	1650,3	1320,3	2200,4	1804,4	1443,5	1925,8	1444,4	1155,5	1925,8	1579,2	1263,3
gemiddeld	2010,9	1508,2	1206,5	2010,9	1648,9	1319,2	1755,6	1316,7	1053,4	1755,6	1439,6	1151,7
spreiding	126,3			126,3			131,8			131,8		86,5

Tabel 4.2-2 Resultaten berekening paal draagvermogen.

De resultaten voor het paal draagvermogen kunnen ook voor het paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart worden bekeken. Tabel 4.2-3 en tabel 4.2-4 geven de resultaten weer van de berekeningen.

Resultaten berekening paalpunt draagvermogen												
Sondering	Conform norm, $\mu(F_{r, M_{paal}}) = 1$						Met gemeten model factor $\mu(F_{r, M_{paal}}) = 0,627$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$			1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r, punt, gem}$	$F_{r, punt, rep}$	$F_{r, punt, d}$	$F_{r, punt, gem}$	$F_{r, punt, rep}$	$F_{r, punt, d}$	$F_{r, punt, gem}$	$F_{r, punt, rep}$	$F_{r, punt, d}$	$F_{r, punt, gem}$	$F_{r, punt, rep}$	$F_{r, punt, d}$
stol01	1178,2	883,6	706,9	1178,2	966,1	772,9	738,7	554,0	443,2	738,7	605,7	484,6
stol02	1225,2	981,9	735,1	1225,2	1004,6	803,7	768,2	576,1	460,9	768,2	629,9	503,9
stol03	1586,4	1189,8	951,9	1586,4	1300,9	1040,7	994,7	746,0	596,8	994,7	815,7	652,5
stol04	1086,0	814,4	651,5	1086,0	890,4	712,4	680,9	510,6	408,5	680,9	558,3	446,6
stol05	1448,4	1086,3	869,0	1448,4	1187,6	950,1	908,1	681,1	544,9	908,1	744,7	595,7
stol06	817,1	612,8	490,3	817,1	670,0	536,0	512,3	384,2	307,4	512,3	420,1	336,1
stol07	1234,7	926,0	740,8	1234,7	1012,5	810,0	774,2	580,6	464,5	774,2	634,8	507,8
stol08	1085,6	813,9	651,1	1085,6	889,8	711,9	680,4	510,3	408,2	680,4	557,9	446,3
stol09	1418,8	1064,1	851,3	1418,8	1163,4	930,7	889,6	667,2	533,7	889,6	729,4	583,6
stol10	1387,6	1040,7	832,5	1387,6	1137,8	910,2	870,0	652,5	522,0	870,0	713,4	570,7
gemiddeld	1246,7	935,04	748,0	1246,7	1022,3	817,9	781,7	586,3	469,0	781,7	641,0	512,8
spreiding	211,5			211,5			132,6			132,6		

Tabel 4.2-3 Resultaten berekening paalpunt draagvermogen.

De spreiding (standaarddeviatie (s)) wordt berekend met behulp van de volgende formule:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

waarin \bar{x} het rekenkundig gemiddelde is.

Resultaten berekening paalschachtdraagvermogen												
Sondering	Conform norm, $\mu(F_{r,skachtd}) = 1$						Met gemeten modelfactor, $\mu(F_{r,skachtd}) = 0,9$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$			1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$	$F_{r,skachtd}$
stol01	1268,8	951,6	761,3	1268,8	1040,4	832,3	1141,9	856,4	685,1	1141,9	936,3	749,1
stol02	1303,8	977,8	782,3	1303,8	1069,1	855,3	1173,4	880,0	704,0	1173,4	962,2	769,7
stol03	1211,4	908,5	726,8	1211,4	993,3	794,7	1090,2	817,7	654,1	1090,2	894,0	715,2
stol04	1408,3	1056,2	845,0	1408,3	1154,8	923,8	1267,4	950,6	760,5	1267,4	1039,0	831,4
stol05	1465,4	1099,0	879,3	1465,4	1201,6	961,3	1318,9	989,2	791,3	1318,9	1081,5	865,2
stol06	1487,2	1115,4	892,3	1487,2	1219,5	975,6	1338,5	1003,9	803,1	1338,5	1097,6	878,0
stol07	1348,6	1011,4	809,2	1348,6	1105,8	884,7	1213,7	910,3	728,2	1213,7	995,3	796,2
stol08	1350,9	1013,2	810,5	1350,9	1107,7	886,2	1215,8	911,9	729,5	1215,8	997,0	797,6
stol09	1335,4	1001,5	801,2	1335,4	1095,0	876,0	1201,8	901,4	721,1	1201,8	985,5	788,4
stol10	1478,3	1108,7	887,0	1478,3	1212,2	969,7	1330,4	997,8	798,3	1330,4	1091,0	872,8
gemiddeld	1365,8	1024,3	819,5	1365,8	1119,9	896,0	1229,2	921,9	737,5	1229,2	1008,0	806,4
spreiding	88,1			88,1			79,32			79,32		

Tabel 4.2-4 Resultaten berekening schachtdraagvermogen.

De negatieve kleef wordt berekend met behulp van de slipmethode. De negatieve kleef wordt gerekend vanaf het maaiveld (0,760 -NAP) en de draagkrachtige zandlaag waar de paalpunt in staat. Voor sondering stol01 wordt de negatieve kleef:

$$F_{s,nk,rep} = 179,6 \text{ (zie ook tabel 4.2-5)}$$

Berekening negatieve kleef op basis van sondering stol01			
Niveau t.o.v. -NAP [m]	$\gamma_{sat,rep}$ [kN/m ³]	$\sigma'_{v,rep}$ [kN/m ²]	$F_{s,nk,rep}$
0,76	0	0	0
1	21	2,64	0,11
3,5	13	30,14	14,45
5,5	15	36,14	37,65
8,5	18	51,14	83,47
11,5	13	75,14	149,77
12,5	21	78,14	176,59

Tabel 4.2-5 Berekening negatieve kleef op basis van sondering stol01.

De rekenwaarde van de negatieve kleef wordt bepaald door:

$$F_{s,nk,d} = \gamma_{fnk} \times F_{s,nk,rep} = 1 \times 179,6 = 179,6$$

γ_{fnk} is 1 omdat hier de negatieve kleef volgens de slipmethode is berekend en de kleef berekend is tot de zandlaag waar de paalpunt zich bevindt.

In tabel 4.2-6 wordt een overzicht gegeven van de negatieve kleef voor de sonderingen stol01 t/m stol10.

Resultaten berekening negatieve kleeft												
Sondering	Conform norm, $\mu(F_{r,skid}) = 1$						Met gemeten modelfactor, $\mu(F_{r,skid}) = 0,956$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$			1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r,skidgem}$	$F_{r,skidrep}$	$F_{r,skid}$	$F_{r,skidgem}$	$F_{r,skidrep}$	$F_{r,skid}$	$F_{r,skidgem}$	$F_{r,skidrep}$	$F_{r,skid}$	$F_{r,skidgem}$	$F_{r,skidrep}$	$F_{r,skid}$
stol01	176,6	176,6	176,6	176,6	176,6	176,6	168,8	168,8	168,8	168,8	168,8	168,8
stol02	173,9	173,9	173,9	173,9	173,9	173,9	166,2	166,2	166,2	166,2	166,2	166,2
stol03	189,0	189,0	189,0	189,0	189,0	189,0	180,7	180,7	180,7	180,7	180,7	180,7
stol04	107,9	107,9	107,9	107,9	107,9	107,9	103,1	103,1	103,1	103,1	103,1	103,1
stol05	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	147,2	147,2	147,2	147,2	147,2	147,2
stol06	187,9	187,9	187,9	187,9	187,9	187,9	179,6	179,6	179,6	179,6	179,6	179,6
stol07	126,5	126,5	126,5	126,5	126,5	126,5	120,9	120,9	120,9	120,9	120,9	120,9
stol08	162	162	162	162	162	162	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9
stol09	166,3	166,3	166,3	166,3	166,3	166,3	159,0	159,0	159,0	159,0	159,0	159,0
stol10	131,6	131,6	131,6	131,6	131,6	131,6	125,8	125,8	125,8	125,8	125,8	125,8
gemiddeld	157,5			157,5			150,6			150,6		
spread	26,0			26,0			24,9			24,9		

Tabel 4.2-6 Resultaten berekening negatieve kleeft.

De belasting op de paal wordt bepaald uit het paal draagvermogen minus de negatieve kleeft. Voor de belasting op de paal wordt tevens aangenomen dat $F_{s,d} = F_{r,d} - F_{s,nk}$

$$F_{s,d} = 1468,1 - 176,6 = 1291,5$$

De representatieve belasting op de paal wordt:

$$F_{s,rep} = \frac{F_{r,d}}{\gamma_{fm}} = \frac{1291,5}{1,29} = 1001,2$$

γ_{fm} is de gecombineerde belastingsfactor voor de permanente en variabele belasting.

De gemiddelde belasting wordt bepaald met behulp van de gecombineerde variatiecoëfficiënt $V(F_s) = 0,1$. De gemiddelde belasting kan worden bepaald met behulp van de volgende vergelijking:

$$F_{s,gem} = \frac{F_{s,rep}}{1 + 1,64 \times V(F_{s,gem})} = \frac{1001,1}{1 + 1,64 \times 0,1} = 860,1$$

Tabel 4.2-7 en 4.2.8 geeft een overzicht van de resultaten van de belasting op de paal.

Resultaten berekening paalbelasting												
Sondering	Conform norm, $\mu(F_{r,M_{groot}}) = 1, \mu(F_{r,M_{middel}}) = 1$						Met gemeten modelfactoren, $\mu(F_{r,M_{groot}}) = 0,627, \mu(F_{r,M_{middel}}) = 0,9$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$			1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r,groot}$	$F_{r,avg}$	$F_{r,d}$	$F_{r,groot}$	$F_{r,avg}$	$F_{r,d}$	$F_{r,groot}$	$F_{r,avg}$	$F_{r,d}$	$F_{r,groot}$	$F_{r,avg}$	$F_{r,d}$
stol01	860,2	1001,2	1291,6	951,4	1107,4	1428,6	639,0	743,8	959,6	709,2	825,5	1064,8
stol02	894,7	1041,5	1343,5	989,1	1151,3	1485,1	665,1	774,2	998,7	737,5	858,5	1107,5
stol03	992,1	1154,8	1489,7	1096,4	1276,2	1646,3	712,8	829,7	1070,3	790,5	920,2	1187,0
stol04	924,8	1076,5	1388,7	1017,8	1184,7	1528,3	709,8	826,3	1065,9	782,5	910,8	1173,0
stol05	1061,7	1235,9	1594,3	1170,4	1362,4	1757,4	791,8	921,7	1189,0	874,9	1018,4	1313,7
stol06	795,7	926,2	1194,7	881,6	1026,2	1323,8	620,0	721,6	930,9	689,0	802,0	1034,6
stol07	948,0	1103,5	1423,5	1044,4	1215,7	1568,2	713,8	830,9	1071,8	788,0	917,2	1183,2
stol08	865,5	1007,5	1299,6	956,4	1113,2	1436,0	654,6	761,9	982,8	725,3	844,2	1089,0
stol09	989,8	1152,1	1486,2	1092,5	1271,7	1640,4	729,8	849,5	1095,9	807,8	940,3	1213,0
stol10	1057,5	1230,9	1587,9	1164,4	1355,4	1748,4	795,5	926,0	1194,5	877,6	1021,5	1317,7
gemiddeld	939,0	1093,0	1410,0	1036,4	1206,4	1556,3	703,2	818,6	1055,9	778,2	905,8	1168,5
spreiding	83,0			90,2			56,7			61,3		

Tabel 4.2-7 Resultaten berekening paalbelasting.

Resultaten berekening paalbelasting						
Sondering	Met gemeten modelfactoren, $\mu(F_{r,M}) = 0,672$					
	1 paal, 1 sondering $\xi = 0,75$			1 paal, 10 sonderingen $\xi = 0,82$		
	$F_{r,groot}$	$F_{r,middel}$	$F_{r,d}$	$F_{r,groot}$	$F_{r,middel}$	$F_{r,d}$
stol01	544,6	634,0	817,8	605,9	705,3	909,9
stol02	568,3	661,6	853,4	631,7	735,3	948,6
stol03	631,2	734,8	947,9	700,9	816,0	1052,6
stol04	601,0	699,7	902,6	663,5	772,4	996,4
stol05	684,3	796,7	1027,7	757,3	881,6	1137,3
stol06	499,2	581,2	749,5	556,8	648,2	836,2
stol07	613,1	713,7	920,7	677,8	789,1	1017,9
stol08	551,0	641,4	827,4	612,0	712,4	919,0
stol09	633,6	737,6	951,5	702,6	817,9	1055,1
stol10	685,7	798,2	1029,7	757,5	881,8	1137,5
gemiddeld	601,2	699,9	902,8	665,6	862,2	1001,1
spreiding	57,7			62,4		

Tabel 4.2-8 Resultaten berekening paalbelasting.

5 Probabilistische berekeningen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden probabilistische berekeningen gemaakt van de funderingsontwerpen die zijn gemaakt in hoofdstuk 4. Het doel van deze berekeningen is het bepalen van de betrouwbaarheid van de paal. Op deze manier kan een ontwerp conform de norm getoetst worden aan de werkelijke betrouwbaarheid van de paal die bepaald is aan de hand van gemeten modelfactoren. De benaderende methode die wordt toegepast voor de probabilistische berekening is de Approximate Full Distribution Approach die door het computerprogramma AFDA wordt gebruikt. Voor de probabilistische analyses zijn drie situaties onderzocht zodat er drie verschillende betrouwbaarheidfuncties zijn te onderscheiden:

- het paalpunt en paalschachtdraagvermogen gezamenlijk bekeken;
- het paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart bekeken;
- geen aparte ruimtelijke spreiding in rekening gebracht.

Al deze berekeningen zijn uitgevoerd met modelfactoren conform de norm en de gemeten modelfactoren uit de resultaten van proefbelastingen.

5.2 Approximate Full Distribution Approach

In deze paragraaf zal worden uitgelegd hoe een niveau II som in elkaar zit en een Approximate Full Distribution Approach benadering in het bijzonder. Een Approximate Full Distribution Approach benadering is een verfijnde eerste orde tweede moment waarin niet normaal verdeelde verdelingen worden benaderd door normale verdelingen. Bij deze methode tracht men de Z functie te lineariseren rond het punt van de bezwijkgrens $Z = 0$ met de hoogste kansdichtheid $Z = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$.

Stel de eerste orde benadering van de nog onbekende gelineariseerde bezwijkgrens is:

$$Z \approx Z(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial Z}{\partial X_i} (X_i - X_i^0) = 0 \quad (5.2-1)$$

Waarin $\frac{\partial Z}{\partial X_i}$ berekend in $(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0)$. Het gemiddelde en de spreiding van de

betrouwbaarheidsfunctie Z wordt nu:

$$\mu_Z = Z(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial Z}{\partial X_i} (\mu_{x_i} - X_i^0) \quad (5.2-2)$$

en

$$\sigma_Z = \left\{ \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right)_{X_i=X_i^0}^2 \sigma_{x_i}^2 \right\}^{1/2} \quad (5.2-3)$$

De laatste betrekking wordt nu uitgedrukt in een lineaire functie van de standaardafwijkingen.

$$\sigma_Z = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right)_{X_i=X_i^0} \sigma_{X_i} \quad (5.2-4)$$

waarin:

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right)_{X_i=X_i^0} \sigma_{X_i}}{\left\{ \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial X_j} \right)_{X_j=X_j^0}^2 \sigma_{X_j}^2 \right\}^{1/2}} \quad (5.2-5)$$

Nu wetende dat het punt $Z = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ op de bezwijkgrens moet liggen, zou moeten gelden:

$$Z = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) = 0 \quad (5.2-6)$$

Hieruit volgt:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) + \sum_{i=1}^n (\mu_{x_i} - X_i^*) \frac{\partial Z}{\partial X_i}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\partial Z}{\partial X_i} \sigma_{x_i}} \quad (5.2-7)$$

De oplossing van deze vergelijking geeft een nieuwe schatting voor $Z = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ dat gewoonlijk het current (= "lopend" tijdens het iteratieproces) design point wordt genoemd.

$$X_{nieuw}^* = \mu_{x_i} - \alpha \beta \sigma_{x_i} \quad \text{voor alle } i \quad (5.2-8)$$

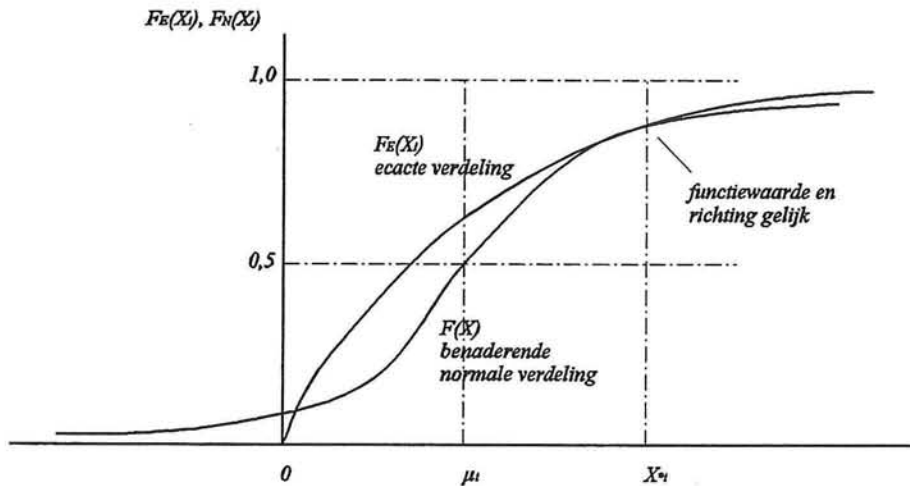
De waarden van de partiële afgeleiden werden echter in het oude punt bepaald. Een herhaling van de procedure is daarom noodzakelijk totdat een stabiele waarde voor het design point $Z = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ gevonden is.

Bij formule (5.2-7) voor β is verondersteld dat $Z^* = 0$, die nodig was om formule (5.2-8) te kunnen afleiden. Zolang het juiste design point nog niet gevonden is zal echter $Z^* > \varepsilon$ zijn, waarin ε de afbreekwaarde is voor het numerieke proces. Als het einde van het iteratieproces is bereikt dan geldt:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{x_i} - X_i^*) \frac{\partial Z}{\partial X_i}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\partial Z}{\partial X_i} \sigma_{x_i}} \quad (5.2-9)$$

Nu is er een μ_Z een σ_Z en de β bekend. De verdeling van de betrouwbaarheidsfunctie echter niet.

Deze niveau twee methode werkt met vervangende normale verdelingen. Dit betekent dat de verdeling van iedere niet normaal verdeelde stochast wordt benaderd door een normale verdeling zodanig dat de overschrijdskans en de kansdichtheid in het ontwerppunt voor de exacte en benaderende verdeling gelijk zijn. In de grafiek van de verdelingsfunctie van elke stochast betekent dat, dat in het ontwerppunt de functiewaarde en de richting voor de exacte en de benaderende verdeling gelijk zijn.



Figuur 5.2-1 Benaderende normale verdeling.

Wiskundig gezien vindt de aanpassing van de normale verdeling aan de exacte verdeling als volgt plaats. Bepaal de overschrijdskans van de ontwerpwaarde X_i^* van de basisvariabele:

$$P_f = F_X(X_i^*) \quad (5.2-10)$$

Met behulp van de inverse van de normale verdeling stelt men nu vast hoeveel malen de standaardafwijking het gemiddelde $\mu_N(X_i)$ van de benaderende normale verdeling van de ontwerpwaarde verwijderd moet zijn.

$$k = F_N^{-1}(P_f) \quad (5.2-11)$$

Uit een vergelijking van de kansdichtheden (richtingen) volgt de standaardafwijking.

$$\sigma_N(X_i) = \frac{f_N(k)}{f_X(X_i^*)} \quad (5.2-12)$$

De waarde van het gemiddelde van de benaderende verdeling ligt nu vast volgens

$$\mu_N(X_i) = X_i^* - k \sigma_N(X_i) \quad (5.2-13)$$

De twee parameters μ_z en σ_z zijn parameters van de benaderende verdeling en dus niet van de werkelijke verdeling van de betrouwbaarheidsfunctie. Deze is meestal onbekend.

Alle niveau II berekeningen in dit rapport worden uitgevoerd met het computerprogramma AFDA.PAS.

5.3 Betrouwbaarheidsfunctie

Voor de berekeningen van de betrouwbaarheid van het funderingsontwerp zijn drie type betrouwbaarheidsfuncties te onderscheiden:

Betrouwbaarheidsfunctie Z_I

Het paalpunt- en paalschachtdraagvermogen zijn hier samen genomen tot één draagvermogen van de paal. De modelfactor voor het berekeningsmodel en de ruimtelijke spreiding is over het gehele paal draagvermogen bepaald.

$$Z_I = f_{r,M} \times f_{r,R} \times F_{r,gem} - f_{s,M;nk} \times f_{s,R;nk} \times F_{s,nk,gem} - f_{s,M} \times F_{s,gem} \quad (5.3-1)$$

waarin:

$f_{r,M}$: de modelfactor voor het rekenmodel van het paal draagvermogen;
$f_{r,R}$: de modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van het paal draagvermogen;
$F_{r,gem}$: de gemiddelde waarde van het draagvermogen van de paal;
$f_{s,M;nk}$: de modelfactor voor het rekenmodel van de negatieve kleef;
$f_{s,R;nk}$: de modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van de negatieve kleef;
$F_{s,nk,gem}$: de gemiddelde waarde van de negatieve kleef langs de paal;
$f_{s,M}$: de factor voor de onzekerheid van de belasting;
$F_{s,gem}$: de gemiddelde waarde van de gebouwbelasting op de paal.

Het paal draagvermogen, de negatieve kleef en de belasting zijn als deterministische grootheden opgenomen in de betrouwbaarheidsfunctie. De modelfactoren voor het rekenmodel en de ruimtelijke spreiding zijn de stochasten in de betrouwbaarheidsfunctie.

Betrouwbaarheidsfunctie Z_{II}

Het paalpunt- en het paalschachtdraagvermogen worden apart in de betrouwbaarheidsfunctie opgenomen. Dit heeft tot gevolg dat voor het paalpunt- en het paalschachtdraagvermogen modelfactoren zijn opgenomen. Bij de veel proefbelastingen zijn het paalpunt- en paalschachtdraagvermogen apart bekeken en zijn hiervan aparte modelfactoren bepaald. Voor deze berekeningen is aangenomen dat het paalpunt en paalschachtdraagvermogen onafhankelijk van elkaar zijn (eis voor AFDA berekeningen). De belasting wordt op dezelfde wijze gemodelleerd zoals bij betrouwbaarheidsfunctie Z_I .

(5.3-3)

$$Z_{II} = f_{r,M;punt} \times f_{r,R;punt} \times F_{r,punt,gem} + f_{r,M;schacht} \times f_{r,R;schacht} \times F_{r,schacht,gem} - f_{s,M;nk} \times f_{s,R;nk} \times F_{s,nk,gem} - f_{s,M} \times F_{s,gem}$$

waarin:

$f_{r,M;punt}$: de modelfactor van het rekenmodel van het paalpunddraagvermogen;
$f_{r,R;punt}$: de modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van het paalpunddraagvermogen;
$F_{r,punt;gem}$: de gemiddelde waarde van het paalpunddraagvermogen;
$f_{r,M;schacht}$: de modelfactor voor het rekenmodel van het paalschachtdraagvermogen;
$f_{r,R;schacht}$: de modelfactor voor de ruimtelijke spreiding van het paalschachtdraagvermogen;
$F_{r,schacht;gem}$: de gemiddelde waarde van het paalschachtdraagvermogen van de paal.

Het paalpunddraagvermogen, het paalschachtdraagvermogen, de negatieve kleeft en de belasting zijn als determinant opgenomen in de betrouwbaarheidsfunctie. De modelfactoren van het rekenmodel en de ruimtelijke spreiding zijn de stochasten in de betrouwbaarheidsfunctie.

Betrouwbaarheidsfunctie Z_{III}

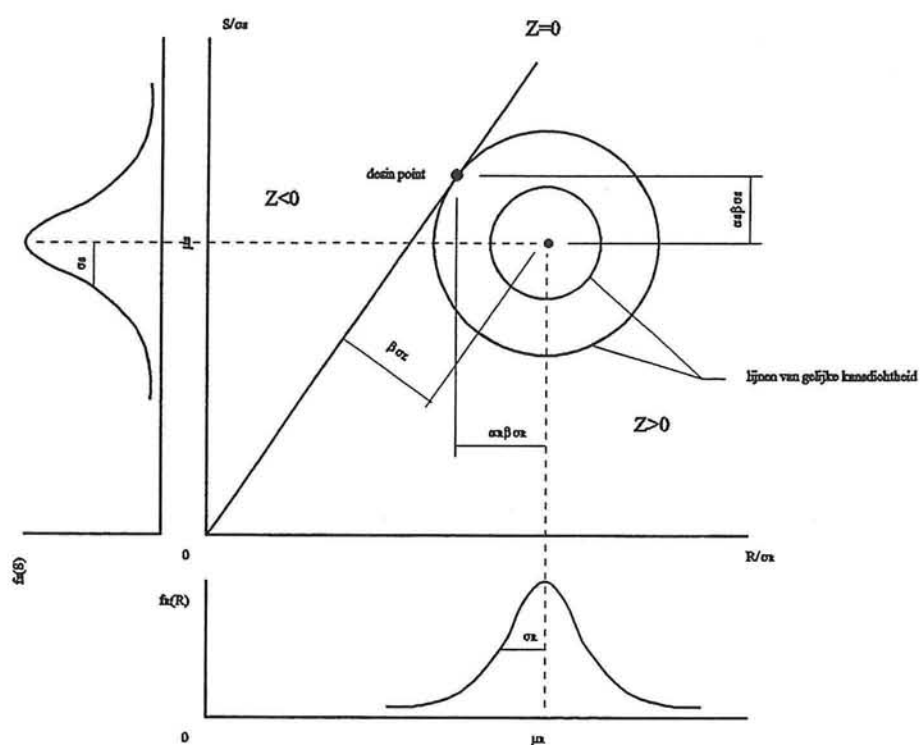
Er wordt verondersteld dat de ruimtelijke spreiding van het paalpunddraagvermogen, het paalschachtdraagvermogen, het paaldraagvermogen en de negatieve kleeft verdisconteerd zit in de modelfactor van het rekenmodel. De belasting wordt op dezelfde wijze gemodelleerd zoals bij betrouwbaarheidsfunctie Z_I .

$$Z_{III} = f_{r,M} \times F_{r,gem} - f_{s,M,nk} \times F_{s,nk;gem} - f_{s,M} \times F_{s;gem} \quad (5.3-4b)$$

Het paalpunddraagvermogen, het paalschachtdraagvermogen, het paaldraagvermogen, de negatieve kleeft en de belasting zijn als determinant opgenomen in de betrouwbaarheidsfunctie. De modelfactoren van het rekenmodel en de ruimtelijke spreiding zijn de stochasten in de betrouwbaarheidsfunctie.

5.4 Resultaten probabilistische berekeningen

In deze paragraaf worden de resultaten vermeld van de probabilistische berekeningen voor de verschillende betrouwbaarheidsfuncties. De resultaten bestaan uit de betrouwbaarheidsindex, de faalkans, de designpointwaarden en de invloedscoëfficiënten van de stochasten. Figuur 5.1.4-1 geeft een voorstelling voor twee onafhankelijk normaal verdeelde stochasten.



Figuur 5.1.4-1 Kansdichtheidsfunctie van twee onafhankelijk normaal verdeelde stochasten.

Het designpoint is het punt van de laatste iteratie waar de betrouwbaarheidsindex is berekend. De invloedscoëfficiënten α_i^2 geven invloed van de stochast i in de betrouwbaarheidsindex aan.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de verschillende betrouwbaarheidsfuncties, conform de norm, met gemeten modelfactoren en voor 1 paal op basis van 1 of 10 sonderingen.

Betrouwbaarheidsfunctie Z_T

I.1.a Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen samen genomen;
- modelfactoren conform de norm;
- 1 paal op basis van 1 sondering.

Invoergegevens:

Modelfactoren (stochasten):

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 1 \quad \sigma(f_{r,M}) = 0,15$$

$$\mu(f_{r,R}) = 1 \quad \sigma(f_{r,R}) = 0,12$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M;nk}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M;nk}) = 0,125$$

$$\mu(f_{s,R;nk}) = 1 \quad \sigma(f_{s,R;nk}) = 0,15$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte

$$F_{r,gem} = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s,nk,gem} = 157,5$$

$$F_{s,gem} = 939,0$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 3,451$

Faalkans $= 2,8E-04$

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	1,000	0,150	0,565	0,707
$f_{r,R}$	1,000	0,120	0,804	0,223
$f_{s,M;nk}$	1,000	0,125	1,023	0,003
$f_{s,R;nk}$	1,000	0,150	1,033	0,004
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,086	0,063

De betrouwbaarheidsindex (β) komt nagenoeg overeen met de door de overheid vereiste betrouwbaarheidsindex ($\beta = 3,6$).

I.1.b Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen samen genomen;
- modelfactoren conform de norm;
- 1 paal op basis van 10 sonderingen.

Omdat de berekening van het paal draagvermogen op meer sonderingen heeft plaatsgevonden en dus meer zekerheid over grootte van het paal draagvermogen bestaat mag de ruimtelijke spreiding $\sigma(f_{r,R})$ kleiner worden genomen. De ruimtelijke spreiding van het paal draagvermogen wordt: $0,12 / \sqrt{10} = 0,038$.

Invoer gegevens:

Modelfactoren:

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 1 \quad \sigma(f_{r,M}) = 0,15$$

$$\mu(f_{r,R}) = 1 \quad \sigma(f_{r,R}) = 0,038$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M;nk}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M;nk}) = 0,125$$

$$\mu(f_{s,R;nk}) = 1 \quad \sigma(f_{s,R;nk}) = 0,15$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte

$$F_{r,gem} = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s,nk,gem} = 157,5$$

$$F_{s,gem} = 1036,4$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 3,463$

Faalkans $= 2,7E-04$

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	1,000	0,150	0,504	0,913
$f_{r,R}$	1,000	0,038	0,984	0,015
$f_{s,M;nk}$	1,000	0,125	1,022	0,003
$f_{s,R;nk}$	1,000	0,150	1,031	0,004
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,089	0,066

De betrouwbaarheidsindex (β) komt nagenoeg overeen met de door de overheid vereiste betrouwbaarheidsindex ($\beta = 3,6$). De factor ξ en de factor $(\sqrt{10})^{-1}$ geven het gewenste resultaat. De toename van de gemiddelde draagkracht en de kleinere ruimtelijke spreiding geeft in de probabilistische analyse ongeveer het zelfde betrouwbaarheidsindex uit berekening I.1.a.

I.2.a Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen samen genomen;
- met gemeten modelfactoren;
- 1 paal op basis van 1 sondering.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 0,672 \quad \sigma(f_{r,M}) = 0,106$$

$$\mu(f_{r,R}) = 1 \quad \sigma(f_{r,R}) = 0,075$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M,nk}) = 0,956 \quad \sigma(f_{s,M,nk}) = 0,124$$

$$\mu(f_{s,R,nk}) = 1 \quad \sigma(f_{s,R,nk}) = 0,165$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte

$$F_{r,gem} = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s,nk,gem} = 157,5$$

$$F_{s,gem} = 939,0$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

$$\text{Betrouwbaarheidsindex } \beta = 2,162$$

$$\text{Faalkans} = 1,5E-02$$

Stochasten	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	0,672	0,106	0,468	0,791
$f_{r,R}$	1,000	0,075	0,950	0,096
$f_{s,M,nk}$	0,956	0,124	0,974	0,005
$f_{s,R,nk}$	1,000	0,165	1,031	0,007
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,069	0,101

Het verschil van deze berekening met berekening I.1.a is dat deze probabilistische berekening is gemaakt met de gemeten modelfactoren en variatiecoëfficiënten. Uit deze berekening blijkt dat de werkelijke betrouwbaarheid van de paal veel lager ligt dan de vereiste betrouwbaarheidsindex van 3,6 en de berekende betrouwbaarheid van I.1.a.

I.2.b Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen samen genomen;
- met gemeten modelfactoren;
- 1 paal op basis van 10 sonderingen.

Omdat de berekening van het paal draagvermogen op meer sonderingen heeft plaatsgevonden en dus meer zekerheid over grootte van het paal draagvermogen bestaat mag de ruimtelijke spreiding $\sigma(f_{r,R})$ kleiner worden genomen. De ruimtelijke spreiding van het paal draagvermogen wordt: $0,075 / \sqrt{10} = 0,024$.

Invoer gegevens:

Modelfactoren:

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 0,672 \quad \sigma(f_{r,M}) = 0,106$$

$$\mu(f_{r,R}) = 1 \quad \sigma(f_{r,R}) = 0,024$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M;nk}) = 0,956 \quad \sigma(f_{s,M;nk}) = 0,124$$

$$\mu(f_{s,R;nk}) = 1 \quad \sigma(f_{s,R;nk}) = 0,165$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte

$$F_{r,gem} = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s,nk,gem} = 157,5$$

$$F_{s,gem} = 1036,4$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 1,902$

Faalkans = $2,9E-02$

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	0,672	0,106	0,485	0,857
$f_{r,R}$	1,000	0,024	0,995	0,010
$f_{s,M;nk}$	0,956	0,124	0,972	0,005
$f_{s,R;nk}$	1,000	0,165	1,027	0,007
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,066	0,121

Uit de berekening blijkt dat vereiste betrouwbaarheidsindex van 3,6 niet wordt gehaald en dat de werkelijke betrouwbaarheid lager ligt dan uit de berekeningen van I.1.b blijkt. Ook valt op te merken dat de toename van de berekende draagkracht ten gevolgen van een grotere ξ niet volledig wordt gecompenseerd door een kleinere ruimtelijke spreiding (β berekening I.2.a > β berekening I.2.b).

Betrouwbaarheidsfunctie Z_{II}

II.1.a Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart gehouden;
- met gemeten modelfactoren;
- 1 paal op basis van 1 sondering.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

Sterkte		Belasting	
$\mu(f_{r,M;punt})$	= 0,627	$\mu(f_{s,M;nk})$	= 0,956
$\mu(f_{r,R;punt})$	= 1	$\mu(f_{s,R;nk})$	= 1
$\mu(f_{r,M;schaft})$	= 0,9	$\mu(f_{s,M})$	= 1
$\mu(f_{r,R;schaft})$	= 1		
$\sigma(f_{r,M;punt})$	= 0,179	$\sigma(f_{s,M;nk})$	= 0,124
$\sigma(f_{r,R;punt})$	= 0,170	$\sigma(f_{s,R;nk})$	= 0,165
$\sigma(f_{r,M;schaft})$	= 0,273	$\sigma(f_{s,M})$	= 0,10
$\sigma(f_{r,R;schaft})$	= 0,065		

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte		Belasting	
$F_{r,punt;gem}$	= 1246,7	$F_{s,nk;gem}$	= 157,5
$F_{r,schaft;gem}$	= 1365,8	$F_{s;gem}$	= 939,0

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 2,013$

Faalkans = 2,2E-02

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M;punt}$	0,627	0,179	0,460	0,214
$f_{r,R;punt}$	1,000	0,170	0,925	0,048
$f_{r,M;schaft}$	0,900	0,273	0,447	0,681
$f_{r,R;schaft}$	1,000	0,065	0,989	0,008
$f_{s,M;nk}$	0,956	0,124	0,967	0,002
$f_{s,R;nk}$	1,000	0,165	1,019	0,003
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,042	0,044

Deze berekening heeft plaats gevonden op basis van apart gemeten modelfactoren voor het paalpunt- en paalschachtdraagvermogen. Deze berekening geeft inzicht in de werkelijke betrouwbaarheid van de paal. De betrouwbaarheidsindex ligt in de zelfde orde van grootte van berekening I.2.a en blijkt de werkelijke betrouwbaarheid kleiner te zijn dan vereist ($\beta = 3,6$).

II.1.b Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart gehouden;
- met gemeten modelfactoren;
- 1 paal op basis van 10 sonderingen.

Omdat de berekening van het paalpunt- en paalschachtdraagvermogen op meer sonderingen heeft plaatsgevonden en dus meer zekerheid over grootte van het paal draagvermogen bestaat mag de ruimtelijke spreiding $\sigma(f_{r,R})$ kleiner worden genomen. De ruimtelijke spreiding van het paalpunt draagvermogen wordt: $0,170 / \sqrt{10} = 0,054$ en de spreiding voor het paalschachtdraagvermogen wordt: $0,065 / \sqrt{10} = 0,021$.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

Sterkte		Belasting	
$\mu(f_{r,M;punt})$	= 0,627	$\mu(f_{s,M;nk})$	= 0,956
$\mu(f_{r,R;punt})$	= 1	$\mu(f_{s,R;nk})$	= 1
$\mu(f_{r,M;schacht})$	= 0,9	$\mu(f_{s,M})$	= 1
$\mu(f_{r,R;schacht})$	= 1		
$\sigma(f_{r,M;punt})$	= 0,179	$\sigma(f_{s,M;nk})$	= 0,124
$\sigma(f_{r,R;punt})$	= 0,054	$\sigma(f_{s,R;nk})$	= 0,165
$\sigma(f_{r,M;schacht})$	= 0,273	$\sigma(f_{s,M})$	= 0,10
$\sigma(f_{r,R;schacht})$	= 0,021		

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte		Belasting	
$F_{r,punt;gem}$	= 1246,7	$F_{s,nk;gem}$	= 157,5
$F_{r,schacht;gem}$	= 1365,8	$F_{s,gem}$	= 1036,4

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 1,834$

Faalkans = $3,3E-02$

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M;punt}$	0,627	0,179	0,465	0,245
$f_{r,R;punt}$	1,000	0,054	0,993	0,005
$f_{r,M;sch}$	0,900	0,273	0,484	0,691
$f_{r,R;sch}$	1,000	0,021	0,999	0,001
$f_{s,M;nk}$	0,956	0,124	0,966	0,002
$f_{s,R;nk}$	1,000	0,165	1,017	0,003
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,042	0,054

Uit de berekening blijkt dat betrouwbaarheidsindex van 3,6 niet wordt gehaald en dus de werkelijke betrouwbaarheid lager ligt dan uit de berekeningen van I.1.b blijkt. Ook valt op te merken dat de toename van de berekende draagkracht ten gevolgen van een grotere ξ niet volledig wordt gecompenseerd door een kleinere ruimtelijke spreiding (β berekening II.1.a > β berekening II.1.b). Het resultaat van deze berekening ligt wel in de zelfde orde van grootte van het resultaat uit berekening I.2.b.

Betrouwbaarheidsfunctie Z_{III}

III.1.a Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart gehouden, ruimtelijke spreiding zit al in de modelfactor verwerkt;
- modelfactoren conform de norm;
- 1 paal op basis van 1 sonderingen.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

$$\begin{array}{ll} \text{Sterkte} & \\ \mu(f_{r,M}) = 1 & \sigma(f_{r,M}) = 0,15 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Belasting} & \\ \mu(f_{s,M;nk}) = 1 & \sigma(f_{s,M;nk}) = 0,125 \\ \mu(f_{s,M}) = 1 & \sigma(f_{s,M}) = 0,10 \end{array}$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting:

$$\begin{array}{ll} \text{Sterkte} & \\ F_{r,gem} = 2612,5 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Belasting} & \\ F_{s,nk,gem} = 157,5 & \\ F_{s,gem} = 939,0 & \end{array}$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 3,758$

Faalkans $= 8,6E-05$

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	1,000	0,150	0,453	0,943
$f_{s,M;nk}$	1,000	0,125	1,023	0,002
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,087	0,054

De betrouwbaarheidsindex wordt aanzienlijk groter indien de aparte modelfactor voor de ruimtelijke spreiding buiten beschouwing wordt gelaten.

III.1.b Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart gehouden, ruimtelijke spreiding zit al in de modelfactor verwerkt;
- modelfactoren conform de norm;
- 1 paal op basis van 10 sonderingen.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 1$$

$$\sigma(f_{r,M}) = 0,15$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M;nk}) = 1$$

$$\sigma(f_{s,M;nk}) = 0,125$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1$$

$$\sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting (determinanten):

Sterkte

$$F_{r,gem} = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s,nk,gem} = 157,5$$

$$F_{s,gem} = 1036,4$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

Betrouwbaarheidsindex $\beta = 3,496$

Faalkans $= 2,4E-04$

Stochast	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	1,000	0,150	0,494	0,932
$f_{s,M;nk}$	1,000	0,125	1,021	0,002
$f_{s,M}$	1,000	0,100	0,089	0,065

De grote van de betrouwbaarheidsindex is klein in vergelijking met de toename van de betrouwbaarheid in berekening III.1.a. De oorzaak hiervan is dat de toename van het paal draagvermogen door een grotere ξ hier niet kan worden gecompenseerd door de modelfactor van de ruimtelijke spreiding. De modelfactor voor de ruimtelijke spreiding voor 10 sonderingen was al klein zodat het effect van het buiten beschouwing laten van deze modelfactor weinig effect heeft

III.2.a Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart gehouden, ruimtelijke spreiding zit in de modelfactor verwerkt;
- met gemeten modelfactoren;
- 1 paal op basis van 1 sondering.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 0,672 \quad \sigma(f_{r,M}) = 0,106$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M;nk}) = 0,956 \quad \sigma(f_{s,M;nk}) = 0,124$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting:

Sterkte

$$F_r = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s;nk;gem} = 157,5$$

$$F_{s;gem} = 939,0$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

$$\text{Betrouwbaarheidsindex } \beta = 2,273$$

$$\text{Faalkans} = 1,2E-02$$

Stochasten	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	0,627	0,106	0,444	0,893
$f_{s,M;nk}$	0,956	0,124	0,975	0,004
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,073	0,103

De werkelijke betrouwbaarheid blijkt met weglating van de modelfactor van de ruimtelijke spreiding lager te zijn dan de vereiste betrouwbaarheidsindex van 3,6. De geringe toename van betrouwbaarheid geeft aan dat de invloed van de modelfactor van de ruimtelijke spreiding in de betrouwbaarheidsfunctie gering is.

III.2.b Resultaten probabilistische berekening op basis van:

- paalpunt en paalschachtdraagvermogen apart gehouden, ruimtelijke spreiding zit in de modelfactor verwerkt;
- met gemeten modelfactoren;
- 1 paal op basis van 10 sondering.

Invoergegevens:

Modelfactoren:

Sterkte

$$\mu(f_{r,M}) = 0,672 \quad \sigma(f_{r,M}) = 0,106$$

Belasting

$$\mu(f_{s,M,nk}) = 0,956 \quad \sigma(f_{s,M,nk}) = 0,124$$

$$\mu(f_{s,M}) = 1 \quad \sigma(f_{s,M}) = 0,10$$

Gemiddelde waarden van de sterkte en de belasting:

Sterkte

$$F_r = 2612,5$$

Belasting

$$F_{s,nk,gem} = 157,5$$

$$F_{s,gem} = 1036,4$$

Resultaten uit het computerprogramma AFDA:

Design Point (X):

$$\text{Betrouwbaarheidsindex } \beta = 1,919$$

$$\text{Faalkans} = 2,7E-02$$

Stochasten	μ	σ	X_i	α_i^2
$f_{r,M}$	0,627	0,106	0,482	0,873
$f_{s,M,nk}$	0,956	0,124	0,972	0,004
$f_{s,M}$	1,000	0,100	1,067	0,122

De resultaten van deze berekening komt overeen met de conclusies van berekening III.1.b en III.2.a.

Een totaaloverzicht van de resultaten van de probabilistische analyses wordt gegeven in tabel 5.4-1.

Overzicht betrouwbaarheidsfuncties en betrouwbaarheidsindex

Betr. functie	Berk. nr		Modelfactoren en gemiddelde waarden belasting en sterkte.														Betrouwbaarheidsindex (p)	Bijzonderheden
			$f_{c,M}$	$f_{c,R}$	$F_{c,geom}$	$f_{c,M,geom}$	$f_{c,R,geom}$	$F_{c,geom}$	$f_{c,M,arch}$	$f_{c,R,arch}$	$F_{c,arch}$	$f_{c,M,ak}$	$f_{c,R,ak}$	$F_{c,M,geom}$	$f_{c,M}$	$F_{c,geom}$		
Z _I	I.1.a	μ σ	1 0,15	1 0,12	2612,5							1 0,125	1 0,15	157,5	1 0,10	939,0	3,451	- modelfactoren conform norm - 1 paal op basis van 1 sondering
	I.1.b	μ σ	1 0,15	1 0,038	2612,5							1 0,125	1 0,15	157,5	1 0,10	1036,4	3,463	- modelfactoren conform norm - 1 paal op basis van 10 sonderingen
	I.2.a	μ σ	0,672 0,106	1 0,075	2612,5							0,956 0,124	1 0,165	157,5	1 0,10	939,0	2,162	- gemeten modelfactoren - 1 paal op basis van 1 sondering
	I.2.b	μ σ	0,672 0,106	1 0,024	2612,5							0,956 0,124	1 0,165	157,5	1 0,10	1036,4	1,902	- gemeten modelfactoren - 1 paal op basis van 10 sonderingen
Z _{II}	II.1.a	μ σ				0,627 0,179	1 0,170	1246	0,9 0,273	1 0,065	1365,8	0,956 0,124	1 0,165	157,5	1 0,10	939,9	2,013	- gemeten modelfactoren - 1 paal op basis van 1 sondering
	II.1.b	μ σ				0,627 0,179	1 0,054	1246,7	0,9 0,273	1 0,021	1365,8	0,956 0,124	1 0,165	157,5	1 0,10	1036,4	1,834	- gemeten modelfactoren - 1 paal op basis van 10 sonderingen
Z _{III}	III.1.a	μ σ	1 0,15		2612,5							1 0,125		157,5	1 0,10	939,0	3,758	- modelfactor conform norm voor het rekenmodel - 1 paal op basis van 1 sondering
	III.1.b	μ σ	1 0,15		2612,5							1 0,125		157,5	1 0,10	1036,4	3,496	- modelfactor conform norm voor het rekenmodel - 1 paal op basis van 10 sonderingen
	III.2.a	μ σ	0,627 0,106		2612,5							0,956 0,124		157,5	1 0,10	939,0	2,273	- gemeten modelfactor voor het rekenmodel - 1 paal op basis van 1 sondering
	III.2.b	μ σ	0,672 0,106		2612,5							0,956 0,124		157,5	1 0,10	1036,4	1,919	- gemeten modelfactor voor het rekenmodel - 1 paal op basis van 10 sonderingen

Tabel 5.4-1 Resultaten probabilistische analyses.

5.5 Interpretatie resultaten probabilistische berekeningen.

De resultaten van de probabilistische analyses met variatiecoëfficiënten voor de modelfactoren zoals deze zijn toegepast ter bepaling van de partiële factoren in de normen, leveren een betrouwbaarheidsindex van 3,45 op. Deze betrouwbaarheidsindex ligt tussen de vereiste betrouwbaarheidsindex van veiligheidsklasse 2 en 3 in. De vereiste betrouwbaarheidsindex voor woningbouw (veiligheidsklasse 3) bedraagt $\beta = 3,6$. De betrouwbaarheidsindex kan worden uitgedrukt in een faalkans. Voor een standaardnormale kansdichtheidsfunctie geeft de betrouwbaarheidsindex de volgende faalkans (P_f):

$$\beta = 3,45 \rightarrow P_f = 2,8E-04$$

$$\beta = 3,6 \rightarrow P_f = 1,6E-04$$

Worden de probabilistische analyses gemaakt met gemeten modelfactoren en variatiecoëfficiënten (zie tabel 5.4-1), dan blijkt dat de werkelijke betrouwbaarheidsindex van de paal ongeveer 2,0 ($P_f = 2,3E-02$) te zijn. Deze betrouwbaarheidsindex niet voldoet aan de minimaal vereiste betrouwbaarheidsindex van 3,6 (veiligheidsklasse 3). Analyses met gemeten modelfactoren waarvan de modelfactoren van het paal draagvermogen worden opgesplitst in een deel voor het paalpunt draagvermogen en paalschachtdraagvermogen geven eveneens een betrouwbaarheidsindex van rond de 2,0.

Voor het verbeteren van het rekenmodel is het van belang te weten welk variabele(n) een groot aandeel heeft in de betrouwbaarheid. Met behulp van de invloedscoëfficiënten kan hier inzicht in worden verkregen. Deze invloedscoëfficiënten (α_i^2) worden bij de berekeningsresultaten van de betrouwbaarheidsindex voor iedere stochast gegeven. Uit de resultaten van de probabilistische berekeningen blijkt dat de invloedscoëfficiënten van het paal draagvermogen een grote invloed hebben op de betrouwbaarheid van de paal. Het grootste effect op de betrouwbaarheidsindex kan worden verwacht als juist de spreiding van de modelfactoren van het paal draagvermogen worden verkleind. In hoofdstuk zes wordt het model Koppejan (paalpunt draagvermogen) nader onderzocht of het mogelijk is met behulp van andere modelparameters een kleinere spreiding in de modelfactor van het rekenmodel te krijgen.

6 Parameter onderzoek model Koppejan

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt onderzoek gedaan naar de modelonzekerheid van het berekeningsmodel Koppejan (paalpunt draagvermogen). De variatiecoëfficiënt van het paalpunt draagvermogen ($V(F_{r,punt,gem}) = 0,286$) is hoog (zie tabel 3.3.1-1) en geeft bij een probabilistische analyse een lage betrouwbaarheidsindex. Om deze reden is het nuttig om te onderzoeken of de modelonzekerheid niet verbeterd kan worden door de parameters van het model Koppejan te veranderen. De parameters die veranderd kunnen worden zijn:

- lengte van de trajecten I, II en III ($0,7D_{eq}$, $4D_{eq}$ en $8D_{eq}$) zie figuur 6.2-1;
- de invloed van de trajecten I, II en III ($1/4$, $1/4$ en $1/2$) op de gemiddelde paalpuntspanning.

De berekeningen ter bepaling van het paalpunt draagvermogen zijn gemaakt met een speciaal voor dit onderzoek ontwikkeld computerprogramma Koppejan waar de parameters naar eigen inzicht kunnen worden ingesteld. De berekeningen hebben plaats gevonden op basis van sonderingen van de 5 proefbelasting (Prepal en Stresswave). Van de berekende paalpunt draagvermogens zijn voor de verschillende combinaties van parameters de variatiecoëfficiënten bepaald van het quotiënt van het gemeten- en het berekende paalpunt draagvermogen. De beoordeling van de parameters heeft plaatsgevonden op basis van de orde van grootte van de variatiecoëfficiënt en de verandering in de variatiecoëfficiënt bij kleine parameterwijzigingen. Tevens wordt geprobeerd z'n klein mogelijke variatiecoëfficiënt te krijgen.

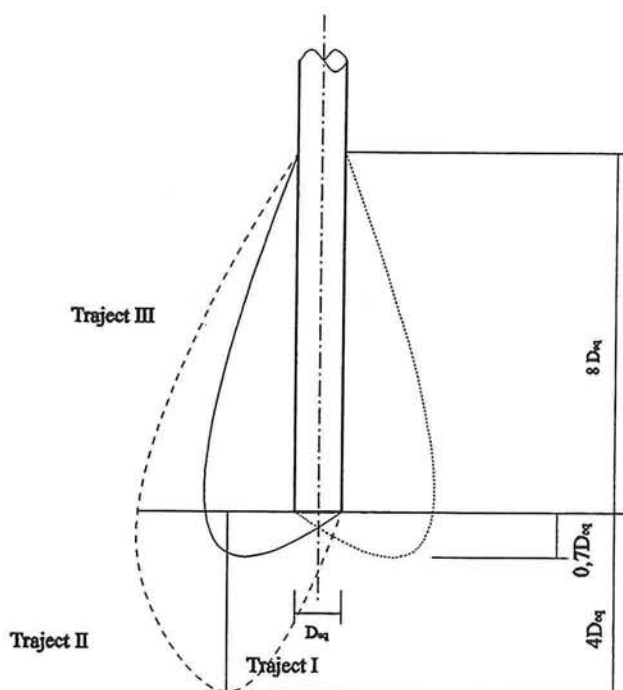
6.2 Computerprogramma Koppejan

Het berekende paalpunt draagvermogen is berekend met het computerprogramma Koppejan. Dit programma is in staat het paalpunt draagvermogen te berekenen op basis van sonderingen die in een data file worden aangeleverd. In bijlage I wordt het computerprogramma nader beschreven. Met behulp van een eenvoudig invoermenu kunnen de paalgegevens en de parameters van het model Koppejan worden opgegeven. Na berekening kunnen de resultaten weergegeven worden op beeldscherm of in een uitvoerfile worden weggeschreven.

Het model Koppejan ziet er in het kort als volgt uit:

$$F_{r,max;punt} = A_{paalpunt} \alpha_p \beta s \left(\frac{1}{4} q_{c,I,gem} + \frac{1}{4} q_{c,II,gem} + \frac{1}{2} q_{c,I,gem} \right) \quad (6.2-1a)$$

De spanningen $q_{c,I,gem}$, $q_{c,II,gem}$ en $q_{c,III,gem}$ zijn gemiddelde conusweerstand over het traject waar zij betrekking over hebben. De trajecten I, II en III worden weergegeven in figuur 6.2-1.



Figuur 6.2-1 Trajecten model Koppejan.

In het computerprogramma kunnen de zes parameters van het model Koppejan naar eigen inzicht worden aangepast. De parameters die kunnen worden aangepast hebben allen betrekking op de trajecten I, II en III. Aan het principe van het model Koppejan wordt niets gewijzigd.

Om de invloed van de trajecten I, II en III op de gemiddelde paalpuntsdrukking aan te kunnen passen worden de verhoudingen $\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{4}$ vervangen door de variabelen A, B en C. Aan deze variabelen kan een andere waarde toegekend worden. Vergelijking 6.2-1a komt er dan als volgt uit te zien:

$$F_{r,max;punt} = A_{paalpunt} \alpha_p \beta s (A q_{c,I;gem} + B q_{c,II;gem} + C q_{c,I;gem}) \quad (6.2-1b)$$

De afstanden $0,7D_{eq}$, $4D_{eq}$ en $8D_{eq}$ geven de lengte aan waarover de gemiddelde waarde van de conusweerstand bepaald moet worden. Deze variabelen worden in het computerprogramma $0,7Deq$, $4Deq$ en $8Deq$ genoemd en hiervan kunnen andere waarden worden toegekend. In figuur 6.2-1 worden de trajecten I, II en III weergegeven.

Het berekeningsmodel Koppejan wordt volledig beschreven in §2.2.1.1.

6.3 Resultaten onderzoek parameters model Koppejan

De berekening heeft plaats gevonden op basis van de 5 sonderingen van de proefbelastingen van de Prepal en de Stresswave. De paalafmeting en de inheidiepte is gelijk gekozen aan de proefpalen zodat het quotiënt van het berekende en gemeten paal draagvermogen bepaald kan worden. Een overzicht van de gegevens van de proefpalen wordt gegeven in tabel 6.3-1.

Overzicht gegevens proefpalen (prefab)					
	Stresswave			Prepal	
	Stres01c	Stres01e	Stres01e	Prep01	Prep05
Paaldiameter \varnothing	0,25	0,25	0,25	0,29	0,29
- A_{punt} [m ²]	0,0625	0,0625	0,0625	0,0841	0,0841
- L_{paal} [m]	-	-	-	18,25	18,25
- D_{eq} [m]	0,282	0,282	0,282	0,327	0,327
Inheinniveau paalpunt [m]	19,1 -NAP	19,1 -NAP	19,0 -NAP	19,5 -NAP	19,5 -NAP
α_p ; s; β	1; 1; 1	1; 1; 1	1; 1; 1	1; 1; 1	1; 1; 1

Tabel 6.3-1 Overzicht gegeven proefpalen.

Op basis van deze vijf proefpalen zijn het paalpunt draagvermogen voor verschillende parameters berekend. De zes parameters hebben de volgende waarden:

A	[0 0,25 0,1 0,8 1]
B	[0 0,25 0,1 0,8 1]
C	[0 0,1 0,5 0,8 1]
0,7Deq	[0 0,7 1 4]
4Deq	[0,7 1 4 8 15 20]
8Deq	[1 5 8 15 20]

Voor iedere combinatie parameters is de variatiecoëfficiënt van de modelfactoren berekend van de vijf proefpalen. De modelfactoren zijn op de volgende manier berekend:

- van iedere proefbelasting zijn met de verschillende parametercombinaties het paalpunt draagvermogen berekend;
- voor ieder van ieder resultaat wordt het quotiënt (modelfactor $f_{r,M}$) berekend van het gemeten- en berekende paalpunt draagvermogen;
- voor iedere parametercombinatie wordt van de modelfactoren het gemiddelde, de spreiding en de variatiecoëfficiënt berekend.

Aan de hand van deze variatiecoëfficiënten vindt er een kwalitatieve beoordeling plaats. In de tabellen 6.3-2 t/m 6.3-5 staan de resultaten vermeld van de variatiecoëfficiënten. Om de tabellen overzichtelijk te houden zijn deze in blokken gedeeld en wordt in ieder blok maar één parameter gevarieerd. In tabel 6.3-2 is de parametercombinatie die in de norm wordt gebruikt aangegeven met een grijs tint.

Resultaten berekeningen variatiecoëfficiënt quotiënt gemeten- en berekende paalpuntdraagvermogen													
	0,25;0,25;0,5;x;4;8				0,25;0,25;0,5;0,7;x;8					0,25;0,25;0,5;0,7;4;x			
A	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
C	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,7Deq	0	0,7	1	4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4Deq	4	4	4	4	0,7	1	8	15	20	4	4	4	4
8Deq	8	8	8	8	8	8	8	8	8	1	5	15	20
Stres01C	0,587	0,587	0,587	0,569	0,537	0,566	0,657	0,657	0,694	0,513	0,562	0,614	0,696
Stres01D	0,560	0,546	0,533	0,516	0,539	0,538	0,611	0,648	0,678	0,497	0,500	0,623	0,678
Stres01E	0,710	0,652	0,638	0,608	0,644	0,644	0,669	0,712	0,754	0,554	0,641	0,714	0,767
Prep01	0,602	0,602	0,602	0,590	0,543	0,560	0,612	0,623	0,627	0,567	0,596	0,665	0,734
prep05	0,448	0,448	0,448	0,424	0,398	0,416	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,491	0,547
μ	0,581	0,567	0,562	0,541	0,532	0,545	0,600	0,618	0,640	0,516	0,549	0,627	0,684
σ	0,084	0,068	0,066	0,066	0,079	0,074	0,079	0,090	0,104	0,043	0,068	0,075	0,075
V	0,145	0,121	0,117	0,122	0,147	0,135	0,132	0,145	0,163	0,083	0,124	0,119	0,110

Tabel 6.3-2 Resultaten berekening variatiecoëfficiënt paalpuntdraagvermogen.

Resultaten berekeningen variatiecoëfficiënt quotiënt gemeten- en berekende paalpuntdraagvermogen													
	1;0;0;x;4;8			0,8;0,1;0,1;x;4;8			0,1;0;0,7;x;8						
A	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1
C	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0
0,7Deq	0,7	1	4	0,7	1	4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4Deq	4	4	4	4	4	4	0,7	1	4	8	15	20	8
8Deq	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Stres01C	0,501	0,501	0,501	0,501	0,501	0,501	0,501	0,426	0,530	0,689	0,683	0,758	
Stres01D	0,480	0,480	0,480	0,483	0,480	0,480	0,480	0,480	0,499	0,618	0,686	0,736	
Stres01E	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,533	0,577	0,696	0,842	
Prep01	0,531	0,531	0,531	0,538	0,538	0,531	0,531	0,531	0,584	0,613	0,642	0,653	
prep05	0,399	0,399	0,356	0,411	0,411	0,371	0,432	0,432	0,467	0,467	0,467	0,467	
μ	0,489	0,489	0,480	0,493	0,493	0,483	0,495	0,480	0,523	0,593	0,635	0,691	
σ	0,049	0,049	0,065	0,046	0,046	0,059	0,037	0,046	0,039	0,073	0,086	0,127	
V	0,100	0,100	0,136	0,273	0,093	0,123	0,075	0,096	0,074	0,123	0,135	0,184	

Tabel 6.3-3 Resultaten berekening variatiecoëfficiënt paalpuntdraagvermogen.

Resultaten berekeningen variatiecoëfficiënt quotiënt gemeten en berekende paalpunt draagvermogen											
	0,1;0,8;0,1;0,7;x;8						0;0;1;0,7;4;x				
A	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0
B	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0
C	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1	1
0,7Deq	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4Deq	0,7	1	4	8	15	20	4	4	4	4	4
8Deq	8	8	8	8	8	8	1	5	8	15	20
Stres01C	0,501	0,508	0,537	0,669	0,665	0,728	0,530	0,648	0,718	0,904	1,166
Stres01D	0,486	0,486	0,506	0,607	0,664	0,706	0,511	0,518	0,628	0,877	1,134
Stres01E	0,533	0,533	0,547	0,589	0,687	0,797	0,596	0,840	0,879	1,152	1,479
Prep01	0,531	0,531	0,584	0,607	0,631	0,639	0,586	0,647	0,664	0,843	1,102
prep05	0,397	0,426	0,459	0,459	0,459	0,459	0,467	0,467	0,467	0,570	0,751
μ	0,490	0,497	0,527	0,586	0,621	0,666	0,538	0,624	0,671	0,869	1,126
σ	0,050	0,039	0,042	0,069	0,083	0,115	0,048	0,129	0,133	0,185	0,231
V	0,102	0,079	0,079	0,118	0,133	0,173	0,089	0,207	0,199	0,213	0,205

Tabel 6.3-4 Resultaten berekening variatiecoëfficiënt paalpunt draagvermogen.

Resultaten berekeningen variatiecoëfficiënt quotiënt gemeten en berekende paalpunt draagvermogen						
	0,1;0,1;0,8;0,7;4;x					
A	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
B	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
C	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
0,7Deq	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
4Deq	4	4	4	4	4	
8Deq	1	5	8	15	20	
Stres01C	0,523	0,610	0,659	0,816	0,918	
Stres01D	0,506	0,511	0,592	0,921	0,895	
Stres01E	0,578	0,747	0,772	0,926	1,078	
Prep01	0,578	0,625	0,637	0,761	0,918	
prep05	0,459	0,459	0,459	0,535	0,654	
μ	0,529	0,591	0,624	0,764	0,892	
σ	0,045	0,100	0,101	0,128	0,136	
V	0,086	0,169	0,162	0,167	0,152	

Tabel 6.3-5 Resultaten berekening variatiecoëfficiënt paalpunt draagvermogen.

6.4 Evaluatie onderzoek parameters model Koppejan

Voor de beoordeling van de combinatie van de gebruikte parameters wordt er gekeken naar de grootte van de variatiecoëfficiënt en de verandering van de variatiecoëfficiënt van de modelfactor $f_{r,M;punt}$ bij een kleine verandering in de parameters.

Van de lengte van de trajecten kan het volgende worden opgemerkt:

- indien de lengte van traject I (parameter 0,7Deq) toeneemt wordt de gemiddelde waarde van de

- modelfactor $f_{r,M;punt}$ kleiner;
- indien de lengte van de trajecten II en III (parameters 4Deq en 8Deq) toeneemt wordt de gemiddelde waarde van de modelfactor $f_{r,M;punt}$ groter.

Van de invloed van de trajecten kan het volgende worden opgemerkt:

- een grotere invloed van traject I (A) geeft een lagere gemiddelde van de modelfactor $f_{r,M}$ indien dit ook bij traject II (B) het geval zou zijn;
- een grotere invloed van traject II (B) geeft een lagere gemiddelde van de modelfactor $f_{r,M}$ indien dit ook bij traject III (C) het geval zou zijn.

Voor een probabilistische analyse is het belangrijk een kleine variatiecoëfficiënt van de modelfactoren te hebben. Uit dit onderzoek blijkt dat de variatiecoëfficiënt van de modelfactor $f_{r,M;punt}$ ongeveer 30 procent kleiner kan zijn dat bij de huidige parameter keuze het geval is. Tabel 6.4-1 geeft een overzicht welke parametercombinatie een veel kleinere variatiecoëfficiënt voor de modelfactor oplevert.

Minimale variatiecoëfficiënt modelfactor Koppejan						
gewicht invloed traject			lengte traject			$\mu(f_{r,M;punt})$ $V(f_{r,M;punt})$
I	II	III	I	II	III	
0	1	0	0,7	0,7	8	0,495 0,075
0	1	0	0,7	1	8	0,480 0,096
0	1	0	0,7	4	8	0,523 0,074
0,1	0,8	0,1	0,7	1	8	0,497 0,079
0,1	0,8	0,1	0,7	4	8	0,527 0,079

Tabel 6.4-1 Minimale variatiecoëfficiënt modelfactor Koppejan.

Uit tabel 6.4-1 valt onmiddellijk op te merken dat een toename van het gewicht van traject II aanzienlijk kleinere variatiecoëfficiënten oplevert voor de modelfactor. De lengte van de trajecten wijken weinig of niet af van de huidige parameter keuze.

Op basis van de beschikbare gegevens en de verkregen resultaten kunnen de parameters van het model Koppejan het beste gecorrigeerd worden naar de waarden in tabel 6.4-1 die een grijs tint hebben.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Modelfactoren

Voor het maken van probabilistische analyses van de werkelijke betrouwbaarheid van het draagvermogen van een paalfundering ontworpen volgens NEN 6743 zijn eerst modelfactoren bepaald uit de resultaten van proefbelastingen. De gemeten gemiddelde waarde en de variatiecoëfficiënten van de modelfactoren voor het rekenmodel van het paalpunt draagvermogen, paalschachtdraagvermogen, paal draagvermogen en de negatieve kleeft, zijn in werkelijkheid kleiner dan bij het samenstellen van de normen werd aangenomen. Voor de probabilistische analyse van de werkelijke betrouwbaarheid van het paal draagvermogen zijn de modelfactoren aangehouden de berekend zijn uit resultaten van proefbelastingen.

Overzicht modelfactoren				
Modelfactor van het rekenmodel		μ	σ	V
$f_{r,M;punt}$	norm gemeten	- 0,627	- 0,179	- 0,286
$f_{r,M;schaft}$	norm gemeten	- 0,9	- 0,273	- 0,303
$f_{r,M}$	norm gemeten	1 0,672	0,15 0,106	0,15 0,158
$f_{s,M;nk}$	norm gemeten	1 0,956	0,125 0,124	0,125 0,129

Tabel 7.1-1 Overzicht modelfactoren

Het bepalen van de modelfactoren heeft plaats gevonden op basis van een zeer beperkt aantal proefbelastingen die uit de zelfde omgeving afkomstig waren. Om de betrouwbaarheid en de generaliseerbaarheid van de modelfactoren van het rekenmodel te vergroten zijn meer resultaten van proefbelastingen nodig van verschillende locaties in Nederland.

7.2 Probabilistische analyse

De probabilistische analyses zijn te verdelen in twee groepen. Ten eerste een groep waarvan de betrouwbaarheidsindex berekend wordt met behulp van de variatiecoëfficiënten van de modelfactoren die zijn gebruikt bij het samenstellen van de norm ter bepaling van de partiële factoren. Ten tweede een groep waarvan de betrouwbaarheidsindex berekend wordt op basis van modelfactoren die zijn bepaald met behulp van resultaten van proefbelastingen. Voor een goede vergelijking van de betrouwbaarheidsindex voor de berekening met variatiecoëfficiënten overeenkomstig de normen en de gemeten variatiecoëfficiënten berekend uit de proefbelastingen is het paalpunt en paalschachtdraagvermogen samen genomen.

Uit de gemaakte analyses op basis van de modelfactoren, die zijn gehanteerd bij het samenstellen van de normen, blijkt de betrouwbaarheidsindex berekend op basis van 1 of 10 sonderingen 3,451 en 3,463 te zijn. Dit komt overeen met een faalkans van ongeveer 1 : 3550. Dit betekent dat de betrouwbaarheid van deze paal tussen de vereiste grenswaarden van veiligheidsklasse 2 en 3 valt. De minimaal vereiste betrouwbaarheidsindex voor woningbouw is 3,6 (veiligheidsklasse 3 en een faalkans van 1 : 6250). De toepassing van de factor ξ en reductie van de ruimtelijke spreiding, indien de berekening van het paal draagvermogen is gebaseerd op meer sondering, beantwoordt de betrouwbaarheidsindex aan de verwachting. De betrouwbaarheidsindex op basis van 1 en 10 sonderingen zijn nagenoeg gelijk.

Wordt de berekening opnieuw uitgevoerd met behulp van de modelfactoren op basis van de proefbelastingen, dan blijkt dat de werkelijke betrouwbaarheidsindex rond de 2,0 (faalkans 1 : 44) te liggen op basis van 1 en 10 sonderingen. Dit betekent dat de berekeningen met behulp van modelfactoren op basis van proefbelastingen een betrouwbaarheidsindex geven die niet voldoet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex van veiligheidsklasse 3 ($\beta = 3,6$).

Uit de analyses van de werkelijke betrouwbaarheid van het paal draagvermogen valt op te merken dat de berekeningen op basis van het totale paal draagvermogen, een grotere betrouwbaarheidsindex geeft dan wanneer het paal draagvermogen wordt opgesplitst in een paalpunt- en paalschachtdraagvermogen. De kleinere betrouwbaarheidsindex van de berekeningen op basis van het paalpunt- en paalschachtdraagvermogen valt te verklaren uit de grotere variatiecoëfficiënten van de modelfactoren.

De invloed van de modelfactor op de betrouwbaarheidsindex kan worden bepaald met behulp van de invloedscoëfficiënten, die bij het eindresultaat van de probabilistische berekening worden gegeven. Hieruit blijkt dat de modelfactor van het paal draagvermogen, het paalpunt draagvermogen en het paalschachtdraagvermogen een belangrijke invloed hebben op de betrouwbaarheidsindex.

Voor het toepassen van Approximate Full Distribution Approach is het een eis dat de stochasten (paalpunt draagvermogen, het paalschachtdraagvermogen, de negatieve kleef en de belasting) in de betrouwbaarheidsfunctie onafhankelijk zijn. Aangezien het paalpunt draagvermogen en het paalschachtdraagvermogen berekend worden op basis van een deel van het zelfde traject van de sondering is het onwaarschijnlijk dat deze volledig onafhankelijk van elkaar zijn.

Voor ieder onderdeel van de betrouwbaarheidsfunctie wordt aanbevolen een correcte berekening te maken op niveau III. Afhankelijkheden tussen stochasten kunnen dan correct worden meegenomen. Voor het paalpunt draagvermogen betekent dit dat de conusweerstand als stochast in het model Koppejan moet worden ingevoerd. Dit dient ook te gebeuren voor het paalschachtdraagvermogen. Op deze wijze heeft het berekeningsmodel de conusweerstand als stochast in de betrouwbaarheidsfunctie. Een geschikte methode hierbij is het maken van een Monte Carlo simulatie, waarin de variabelen uit een (gegeven) verdeling worden gegenereerd met een 'random number generator'. Door de procedure een groot aantal keren te herhalen, kan een schatting worden gegeven van de faalkans P_f in de vorm van een quotiënt van het aantal bezweken exemplaren N_b , alsmede het aantal simulaties N .

7.3 Parameters model Koppejan

Verkleining van de variatiecoëfficiënt van de modelfactor wordt onderzocht met aanpassingen van factoren in het model Koppejan. De factoren die zijn onderzocht hebben betrekking op de invloed van de trajecten en de grootte van het traject. De beoordeling van de combinatie van de gebruikte parameters in het model Koppejan wordt gekeken naar de grootte van de variatiecoëfficiënt van de modelfactor van het rekenmodel en de verandering van deze variatiecoëfficiënt bij kleine veranderingen in de parameters.

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat bij parametercombinaties waarbij de invloed van traject II veel groter is dan de invloed van de trajecten I en III de variatiecoëfficiënt van de modelfactor van het rekenmodel Koppejan ongeveer 30% lager ten opzichte van de huidige parametercombinatie.

Als nieuwe parametercombinatie voor het model Koppejan wordt aanbevolen de parametercombinatie te kiezen:

Parameter	Numerieke waarde	
invloed traject I	0,1	wegingsfactoren
invloed traject II	0,8	
invloed traject III	0,1	
lengte traject I	0,7 D_{eq}	trajectfactoren
lengte traject II	4 D_{eq}	
lengte traject III	8 D_{eq}	

Voor modelfactoren van deze parametercombinatie geldt:

$$\mu(f_{r,M;punt}) = 0,497$$

$$V(f_{r,M;punt}) = 0,079$$

Om tot een betrouwbaarder parameter keuze te komen is het van belang dat er meer resultaten van proefbelastingen ter beschikking komen om een betrouwbaarder modelfactor te verkrijgen. Voor dit onderzoek zijn een beperkt aantal parametercombinaties onderzocht. Om een beter inzicht in de verandering van de variatiecoëfficiënt van de modelfactor te verkrijgen verdient het de aanbeveling meer parametercombinaties te onderzoeken.

Literatuurlijst

- [1] Calle, E.O.F., *Toepassingen van statistiek en stochastiek in de grondmechanica.*, St. Postdoctoraal Onderwijs in de Civiele Techniek, cursus Nieuwe ontwikkelingen in de geotechniek, 1987.
- [2] Fugro, *Studie compatibiliteit partiële factoren voor NEN 6740 serie geotechniek*, Fugro opdrachtnummer M-0044, 1991.
- [3] Geerling, J. en R. Stroevelaar, *Nieuwe bevindingen omtrent een bekend paaltype*. Cement 1993, nr. 4.
- [4] Heijnen, W.J., *Испытания голландским конусом с использованием электрического тока*. Трехднь Восьмого международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению часть 1.1, Москва, 1973.
- [5] Meermans, W., *Approximate Full Distribution Approach.*, Handleiding en programmabeschrijving computerprogramma AFDA.PAS, T.U. Delft CT, 1989.
- [6] Ree, W.F., van, *Sondeersymposium; 15 jaar Fugro*. Utrecht, oct. 1977.
- [7] Nederlands Normalisatie-instituut, *cursus Geotechniek*, 1992.
- [8] Nelemans, J.P., *Mammoetpaal voor schoon en trillingsvrij funderen*. Cement 1993, nr. 5.
- [9] NEN 6700, *TGB 1990 Algemene basiseisen*, Nederlands Normalisatie-instituut, 1991.
- [10] NEN 6702, *TGB 1990 Belastingen en vervormingen*, Nederlands Normalisatie-instituut, 1991.
- [11] NEN 6740, *Geotechniek TGB 1990 Basiseisen en belastingen*. Nederlands Normalisatie-instituut, 1991.
- [12] NEN 6743, *Geotechniek Berekeningsmethode voor funderingen op palen Drukpalen.*, Nederlands Normalisatie-instituut, 1991.
- [13] PATO Cursus *Probabilistisch Ontwerpen.*, St. Postdoctoraal Onderwijs in de Civiele Techniek, 1986.
- [14] Prepal (Proefbelastingen t.b.v het meten van het paalpunt en paalschachtdraagvermogen), niet gepubliceerd.
- [15] Rol, A.H., *Comparative Study on cone resistances measured with 3 types of CPT tips*. European symposium on penetration testing., ESOPT II, Amsterdam 1982.
- [16] *Sondeersymposium; Verhandelingen Fugro.*, 1972.
- [17] Stresswave (Proefbelastingen t.bv het bepalen van het paalpunt en paalschachtdraagvermogen) zie lit. [3]
- [18] Tol, A.F. van, *Funderingstechnieken*. Collegedictaat g80 T.U. Delft CT, 1993.

- [19] Tol, A.F. van, *Regelgeving in de funderingstechniek*, Cement 1994, nr. 4.
- [20] Tol, A.F. van, *Hoe betrouwbaar is de paalfundering?*, Intreerede Technische Universiteit Delft, 1993.
- [21] Vrouwenfelder, A.C.W.M., *Effects of inspection on the reliability of foundation piles*. Proceedings of the fourth international conference on the application of stress-wave theory to piles, the Hague 1992.
- [22] Vrouwenfelder, A.C.W.M. en J.K. Vrijling, *Probabilistisch Ontwerpen*, Collegedictaat b3, T.U. Delft CT, 1984.
- [23] Vrouwenfelder, A.C.W.M., en A.J.M. Siemes, *Probabilistic procedure for the derivation of partial safety factors for the Netherlands building codes*, Heron vol. 32 1987 no.4
- [24] Verruijt, A., *Grondmechanica*. Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft, 1990.

Bijlage I Computerprogramma Koppejan

Inhoudsopgave

1	Programma specificaties	73
1.1	Ontwerp uitgangspunten	73
1.1.1	Invoer sonderingsdata	73
1.1.1.1	NENgeofile	73
1.1.1.2	ASCII sondering file	74
1.1.1.3	ASCII file	75
1.1.2	Uitvoer programma resultaten	75
1.1.2.1	Uitvoer op beeldscherm	75
1.1.2.2	Uitvoer in ASCII file	77
1.1.3	Instelling parameters	78
1.1.3.1	Paalpundraagvermogen	78
1.1.3.2	Paalschachtdraagvermogen	78
1.2	Testen computerprogramma	79
2	Handleiding Koppejan.exe	81
3	Programma structuur	87
3.1	Programmaopbouw	87
3.2	Functiebeschrijving procedures	87
3.3	PSD rekenmodule Koppejan.pas	89
4	Listing computerprogramma Koppejan.pas	95

1 Programma specificaties

1.1 Ontwerp uitgangspunten

Dit programma is ontwikkeld om het draagvermogen (paalpunddraagvermogen en paalschachtdraagvermogen) van een paal te berekenen uit een sondering als functie van de diepte. Daarbij kunnen de invloedszones traject I, II en III zelf opgegeven worden. Het computerprogramma berekent $q_{c,I;gem}$, $q_{c,II;gem}$, $q_{c,III;gem}$, het paalpunddraagvermogen en het schachtdraagvermogen van een heipaal als functie van de diepte.

1.1.1 Invoer sonderingsdata

De sonderingen kunnen alleen per file worden ingelezen. Omdat dit programma op een XT computer moet kunnen werken is het aantal in te lezen meetwaarden beperkt tot 400 en kan er maar één sondering tegelijk worden ingelezen. Bij een grotere computer b.v een 4.86 kunnen er veel grotere sonderingen met meer datapunten worden ingelezen. Hiervoor moet het computerprogramma worden aangepast.

Er kunnen drie soorten sonderingen worden ingelezen die er als volgt uit moeten zien:

1.1.1.1 NENgeofile

Dit is een file die ook door NENGEO (een computerprogramma dat onder andere het paal draagvermogen kan berekenen) ingelezen kan worden.

SONDEER-FILE NENPAAL

COMPANY	: J. MOS
LICENCE	: 0132
DATE	: 1994-03-08
TIME	: 10:31:56
FILENAME	: C:\NGO\DATA\04159301 create by NENPAAL version 2.0

BEGINNING OF DATA

1 : Aantal sonderingen in file. 04

01

-0.190

8 : Aantal headerregels bij deze sondering.

ORDER	: 041593
LOCATION	: Stolwijk
CPT	: 4
DATE	: 930619
DATUM LEVEL (D.L.)	: NAP
GROUND LEVEL RELATED TO D.L.	: -19 [m]

Commentaar-regel

[M]

[Mpa]

[Mpa]

10 : Aantal meetregels bij deze sondering.

-0.260	5.120
-0.280	5.420
-0.300	5.770
-0.320	6.190
-0.340	6.670
-0.360	7.140
-0.380	7.620
-0.400	7.980
-0.420	8.450
-0.460	9.230

END OF DATA

Bij dit type sonderingsfile moet na inlezen de instelling van de parameters worden ingesteld.

1.1.1.2 ASCII sondering file

Deze file wordt NENGEO als ascii file bij de uitvoer gegeven. Om deze file te kunnen inlezen moet de laatste regel van deze file een letter Z worden geplaatst. Alleen dan kan deze file worden ingelezen.

ORDER : 022194
LOCATION : Hillegom-De Zilk
CPT : 1
DATE : 940425
DATUM LEVEL (D.L.) : NAP
GROUND LEVEL RELATED TO D.L. : -.14 [m]

REMARK : DEPTH IS RELATED TO DATUM LEVEL

DEPTH [M]	CONE [MPa]	LOC.FRIC [MPa]
-.26	1.20	.0000
-.28	1.45	.0000
-.30	1.75	.0000
-.32	2.05	.0000
-.34	2.30	.0010
-.36	2.50	.0020
-.38	2.65	.0030
-.40	2.75	.0045
-.42	2.75	.0060
-.44	2.75	.0085

Z

Bij dit type sonderingsfile moet na inlezen de instelling van de parameters worden ingesteld.

1.1.1.3 ASCII file

Deze file kan door het computerprogramma inlezen en worden de instellingen en resultaten naar weggeschreven. De instellingen worden gelijktijdig meegelezen met de sonderingen en kunnen daarna handmatig worden aangepast.

De text tussen (* *) staat niet in de file. Deze text is alleen ter informatie afgedrukt.

1	(* aantal sonderingen, altijd 1	*)			
0.0625	(* paaloppervlakte	*)			
0.2825	(* equivalente diameter van de paal	*)			
0.1	(* stapgrootte van de sondering [m]	*)			
1	(* α_p : paalklassefactor	*)			
1	(* β : paalvoetvormfactor	*)			
1	(* s: vormfactor dwarsdoorsnede	*)			
1	(* γ_{punt} : partiële veiligheidsfactor	*)			
1	(* k_{si}	*)			
0.25	(* gewicht traject I	*)			
0.25	(* gewicht traject II	*)			
0.5	(* gewicht traject III	*)			
0.7	(* invloeds lengte traject I	*)			
4	(* invloeds lengte traject II	*)			
8	(* invloeds lengte traject III	*)			
0.01	(* α_s	*)			
3	(* invloedszone	*)			
1.3	(* afbreekwaarde	*)			
-16.03	(* startniveau positieve kleef	*)			
1	(* omtrek paalschacht	*)			
1	(* $\gamma_{schacht}$: partiële veiligheidsfactor	*)			
1	(* sonderingsnummer: altijd 1	*)			
10	(* aantal meetwaarden	*)			
-0.72	1.04	0.0144	(* niveau	conus	schacht *)
-0.82	1.08	0.0356	(* [m]	[Mpa]	[MPa] *)
-0.92	1.29	0.0372			
-0.02	1.77	0.0393			
-0.12	2.33	0.0374			
-0.22	2.58	0.0377			
-0.32	2.46	0.0593			
-0.42	2.76	0.0725			
-1.52	0.88	0.0727			
-0.62	1.04	0.0574			

Het computerprogramma leest alleen de eerste twee kolommen in. Staat in de derde kolom de schachtwrijving vermeldt, dan wordt deze niet ingelezen door het computerprogramma.

1.1.2 Uitvoer programma resultaten

De uitvoer van dit programma kan op twee manieren gebeuren:

- op beeldscherm
- wegschrijven naar een ascii file

1.1.2.1 Uitvoer op beeldscherm

De uitvoer op het beeldscherm van het computerprogramma is op te splitsen in twee delen:

- parameter instellingen
- resultaten berekening

De uitvoer van de resultaten op het beeldscherm ziet er als volgt uit:

beeldscherm 1

Aantal sonderingen	1
Paalpunt oppervlak	0.0625
Deq	0.2825
lameldikte	0.10
Alpha_p	1.00
Beta	1.00
s	1.00
Gamma;m;b	1.00
ksi	1.00
A	0.25
B	0.25
C	0.50
0,7 Deq	0.70
4 Deq	4.00
8 Deq	8.00
Alpha_s	0.0100
Invloedzone afbreekwaarde	2
Afbreekwaarde invloedzone	1.80
Startniveau pos. kleef	-16.03
Omtrek paal	1.0000
Gamma;m;s	1.00

beeldscherm 2

Sonderingnummer	1							
Aantal meetwaarden	300							
Niveau	Qc	Qc1gem	Qc2gem	Qc3gem	Qpd	ppd	psd	pd
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[kPa]	[kN]	[kN]	[kN]
-1.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.13	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.23	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.33	4.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.43	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.53	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.63	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.73	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-15.33	0.91	1.02	0.86	0.84	0.89	55.68	0.00	55.68
-15.43	1.32	1.05	0.86	0.84	0.90	56.12	0.00	56.12
-15.53	1.12	0.95	0.86	0.84	0.88	54.72	0.00	54.72
-15.63	0.88	1.26	1.25	0.85	1.05	65.58	0.00	65.58
-15.73	0.86	2.55	2.55	0.85	1.70	106.13	0.00	106.13
-15.83	2.03	5.89	5.28	0.90	3.24	202.54	0.00	202.54
-15.93	4.76	9.71	7.61	1.07	4.86	304.06	0.00	304.06
-16.03	10.88	11.27	9.04	1.42	5.79	361.89	10.88	372.77
-16.13	13.49	11.35	9.04	1.78	5.99	374.26	22.88	397.14
-16.23	12.84	10.82	9.04	2.14	6.03	377.04	34.88	411.92
-16.33	12.00	10.14	9.04	2.49	6.04	377.64	46.88	424.52
-16.43	9.38	9.74	9.62	2.85	6.27	391.59	56.26	447.85
-16.53	9.04	11.59	10.29	3.21	7.07	442.05	65.30	507.35
-16.63	10.79	12.80	11.06	3.64	7.79	486.59	76.09	562.68
-16.73	14.93	13.00	11.09	4.08	8.06	504.01	88.09	592.10
-16.83	16.51	12.79	11.09	4.53	8.23	514.61	100.09	614.70
-16.93	14.62	12.32	11.10	4.97	8.34	521.30	112.09	633.39
-17.03	13.60	12.01	11.04	5.41	8.47	529.39	124.09	653.48
-17.13	11.40	11.62	11.06	5.86	8.60	537.37	135.49	672.86
-17.23	11.04	11.79	11.14	6.30	8.88	555.15	146.53	701.68
-17.33	12.41	11.98	11.16	6.75	9.16	572.40	158.53	730.93
-17.43	13.05	11.83	11.18	7.19	9.35	584.39	170.53	754.92
-17.53	11.10	12.65	11.96	7.64	9.97	623.15	181.63	804.78
-17.63	11.35	14.25	8.45	6.69	9.02	563.82	192.98	756.80
-17.73	15.50	15.35	8.45	7.02	9.46	591.29	204.98	796.27
-17.83	15.91	15.34	8.45	7.35	9.62	601.37	216.98	818.35
-17.93	16.44	15.27	8.45	7.68	9.77	610.69	228.98	839.67
-18.03	16.25	15.13	8.45	8.01	9.90	618.72	240.98	859.70

Indien voor de optie parameter instellingen is gekozen wordt alleen scherm 1 vertoont.

1.1.2.2 Uitvoer in ASCII file

De uitvoerfile bestaat uit twee delen:

- parameter instellingen
- resultaten berekeningen

Uitvoerfile ASCIIFile

De text tussen (* *) staat niet in de file. Deze text is alleen ter informatie afgedrukt.

```

1          (* aantal sonderingen, altijd 1          *)
0.0625     (* paaloppervlakte                        *)
0.2825     (* equivalente diameter van de paal       *)
0.10       (* stapgrootte van de sondering [m]      *)
1.00       (*  $\alpha_p$  paalklassefactor             *)
1.00       (*  $\beta$ : paalvoetvormfactor              *)
1.00       (* s: vormfactor dwarsdoorsnede          *)
1.00       (*  $\gamma_{punt}$ : partiële veiligheidsfactor *)
1.00       (*  $\kappa_{si}$                              *)
0.25       (* gewicht traject I                      *)
0.25       (* gewicht traject II                     *)
0.50       (* gewicht traject III                    *)
0.70       (* invloedslengetraject I                 *)
4.00       (* invloedslengetraject II                *)
8.00       (* invloedslengetraject III               *)
0.0100     (*  $\alpha_s$                              *)
2          (* invloedszone                          *)
1.80       (* afbreekwaarde                         *)
-16.03     (* startniveau positieve kleeft           *)
1.0000     (* omtrek paalschacht                    *)
1.00       (*  $\gamma_{schacht}$ : partiële veiligheidsfactor *)
1          (* sonderingsnummer, altijd 1            *)
300        (* aantal meetwaarden                    *)
-1.03      0.01      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.13      1.27      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.23      2.95      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.33      4.46      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.43      1.99      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.53      0.98      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.63      0.87      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
-1.73      0.87      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00

-15.13     0.89      0.89      0.86      0.84      0.86      53.57      0.00      0.00      53.57
-15.23     0.86      0.99      0.86      0.84      0.88      55.24      0.00      0.00      55.24
-15.33     0.91      1.02      0.86      0.84      0.89      55.68      0.00      0.00      55.68
-15.43     1.32      1.05      0.86      0.84      0.90      56.12      0.00      0.00      56.12
-15.53     1.12      0.95      0.86      0.84      0.88      54.72      0.00      0.00      54.72
-15.63     0.88      1.26      1.25      0.85      1.05      65.58      0.00      0.00      65.58
-15.73     0.86      2.55      2.55      0.85      1.70      106.13     0.00      0.00      106.13
-15.83     2.03      5.89      5.28      0.90      3.24      202.54     0.00      0.00      202.54
-15.93     4.76      9.71      7.61      1.07      4.86      304.06     0.00      0.00      304.06
-16.03     10.88     11.27      9.04      1.42      5.79      361.89     10.88     10.88     372.77
-16.13     13.49     11.35      9.04      1.78      5.99      374.26     12.00     22.88     397.14
-16.23     12.84     10.82      9.04      2.14      6.03      377.04     12.00     34.88     411.92
-16.33     12.00     10.14      9.04      2.49      6.04      377.64     12.00     46.88     424.52
-16.43     9.38      9.74      9.62      2.85      6.27      391.59     9.38      56.26     447.85
-16.53     9.04     11.59     10.29      3.21      7.07      442.05     9.04      65.30     507.35
-16.63     10.79     12.80     11.06      3.64      7.79      486.59     10.79     76.09     562.68
-16.73     14.93     13.00     11.09      4.08      8.06      504.01     12.00     88.09     592.10
-16.83     16.51     12.79     11.09      4.53      8.23      514.61     12.00     100.09    614.70
-16.93     14.62     12.32     11.10      4.97      8.34      521.30     12.00     112.09    633.39
-17.03     13.60     12.01     11.04      5.41      8.47      529.39     12.00     124.09    653.48
-17.13     11.40     11.62     11.06      5.86      8.60      537.37     11.40     135.49    672.86
-17.23     11.04     11.79     11.14      6.30      8.88      555.15     11.04     146.53    701.68
-17.33     12.41     11.98     11.16      6.75      9.16      572.40     12.00     158.53    730.93
-17.43     13.05     11.83     11.18      7.19      9.35      584.39     12.00     170.53    754.92
-17.53     11.10     12.65     11.96      7.64      9.97      623.15     11.10     181.63    804.78
-17.63     11.35     14.25      8.45      6.69      9.02      563.82     11.35     192.98    756.80
-17.73     15.50     15.35      8.45      7.02      9.46      591.29     12.00     204.98    796.27
-17.83     15.91     15.34      8.45      7.35      9.62      601.37     12.00     216.98    818.35
-17.93     16.44     15.27      8.45      7.68      9.77      610.69     12.00     228.98    839.67
-18.03     16.25     15.13      8.45      8.01      9.90      618.72     12.00     240.98    859.70

(* Niveau   Qc      Qc1gem    Qc2gem    Qc3gem    Qppd      ppd      Qpsd      psd      pd      *)
(* [m]      [MPa]    [MPa]     [MPa]     [MPa]     [MPa]     [kN]     [MPa]     [kN]     [kN]    *)

```

1.1.3 Instelling parameters

Voor de berekening van het paal draagvermogen moeten veel parameters een waarde worden toegekend. Met behulp van een invoermenu 2) *Handmatig invoeren eigen parameterinstelling* kunnen de parameters een waarde worden toegekend.

Er zijn twee schermen waar parameters ingesteld moeten worden. Voor ieder scherm zullen de parameters worden toegelicht, hun eenheid en het domein worden gegeven.

1.1.3.1 Paalpunt draagvermogen

Parameter	Toelichting	Eenheid	Bereik
Oppervlakte paalpunt		[m ²]	-
Equivalent diameter		[m]	0 > x < 2
Paalklassefactor α_p		-	0,5 > x < 1,5
Paalvoet vormfactor		-	0,5 > x ≤ 1
Invloedsvorm dwars- doorsnede paalvoet		-	0,6 > x ≤ 1
Gamma;m;b		-	1 ≥ x ≤ 4
ksi		-	0,6 > x ≤ 1
A	gewicht traject I	-	0 ≥ x ≤ 1
B	gewicht traject II	-	0 ≥ x ≤ 1
C	gewicht traject III	-	0 ≥ x ≤ 1
0,7 Deq	lengte invloedsgebied	x * D _{eq}	0 ≥ x ≤ 10
4 Deq	lengte invloedsgebied	x * D _{eq}	0,7 Deq ≥ x ≤ 20
8 Deq	lengte invloedsgebied	x * D _{eq}	0 ≥ x ≤ 20

1.1.3.2 Paalschacht draagvermogen

Parameter	Toelichting	Eenheid	Bereik
α_s	paalschachtwrijving- coëfficiënt.	-	0 ≥ x < 1
Invloedzone- afbreekwaarde	bepaald over welke lengte de afbreekwaarde wordt bepaald.	x ∈ N	1 ≥ x < 10
Afbreekwaarde- invloedzone	bepaald de gemiddelde afbreekwaarde.	[MPa]	0.1 ≥ x < 10
Omtrek	Omtrek paalschacht	[M ²]	0 ≥ x < 4
Gamma;m;s	partiële factor	-	0 ≥ x < 4

Definities

In dit computerprogramma wordt voor het bepalen van het paalpunt draagvermogen gebruik gemaakt van de 4D-8D methode van Koppejan. De paalpuntspanning wordt bepaald met behulp van de volgende formule:

$$P_{r;max;punt} = 0.5 \alpha_p \beta_s \left(\frac{q_{c;I;gem} + q_{c;II;gem}}{2} + q_{c;III;gem} \right)$$

Een volledige beschrijving van de 4D-8D methode van Koppejan is beschreven in hoofdstuk 2 van dit rapport.

Voor het berekenen van de positieve kleef is gebruik gemaakt van een methode gebaseerd op de conusweerstand. De schuifspanning tussen grond en heipaal wordt met de volgende formule bepaald:

$$P_{r;max;schacht} = \alpha_s q_{c;z;a}$$

Een volledige beschrijving van deze methode wordt gegeven in hoofdstuk 2 van dit rapport.

1.2 Testen computerprogramma

Het computerprogramma Koppejan is op drie manieren getest of de resultaten correct zijn welke in het kort zullen worden beschreven.

Paalpunt draagvermogen

Als eerste is gecontroleerd of de rekenprincipes van Koppejan correct werken:

- 0,7D, 4D en 8D grenzen
- Q_{c3gem} altijd kleiner of gelijk aan Q_{c2gem}
- afsnuiten van de sondering op 15 N/mm²

Ten tweede is er gekeken naar eenvoudige en extreme situatie waarbij de uitkomst eenvoudig is te berekenen of te beredeneren:

- sondering als blokfunctie
 - * grote blokken zodat er een constante waarde ontstaat
 - * plotselinge grote veranderingen in de blokfunctie
 - * weinig meetpunten
 - * veel meetpunten
- sondeerwaarde 0 in sondering voor laten komen

Ten derde zijn de resultaten vergeleken met het computerprogramma NENGEO module NENPAAL. Voor deze test zijn 10 sonderingen uit stolwijk genomen en is het paalpunt draagvermogen zonder partiële veiligheidsfactoren bepaald als functie van de diepte. De resultaten (paalpunt draagvermogen en de spanningen Q_{c1gem} , Q_{c2gem} en Q_{c3gem}) van Koppejan blijven binnen de marge van 5 procent als deze worden vergeleken met de resultaten die uit NENGEO komen

Paalschacht draagvermogen

Als eerste is gecontroleerd of de rekenprincipes van slip methode correct werken:

- afsnuiten van de sondering op 12 of 15 N/mm²

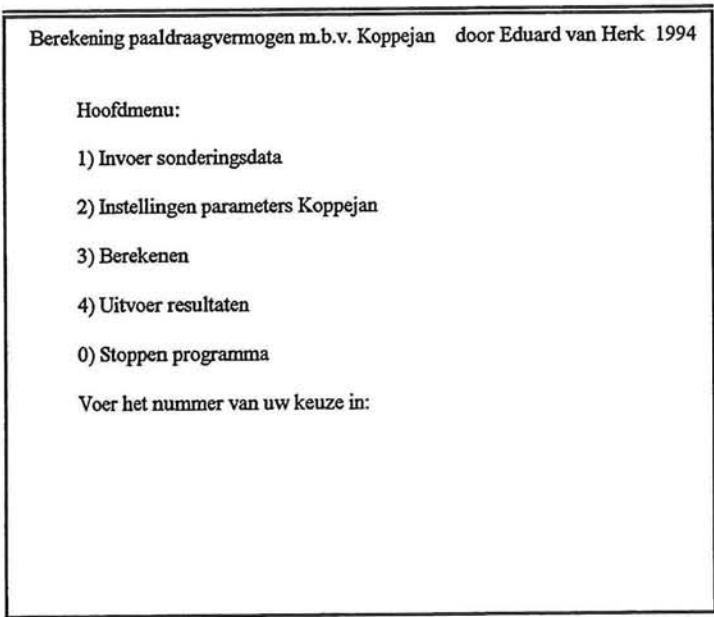
Ten tweede is er gekeken naar eenvoudige en extreme situatie waarbij de uitkomst eenvoudig is te berekenen of te beredeneren:

- sondering als blokfunctie
- begint de berekening op het juiste niveau onder mv.

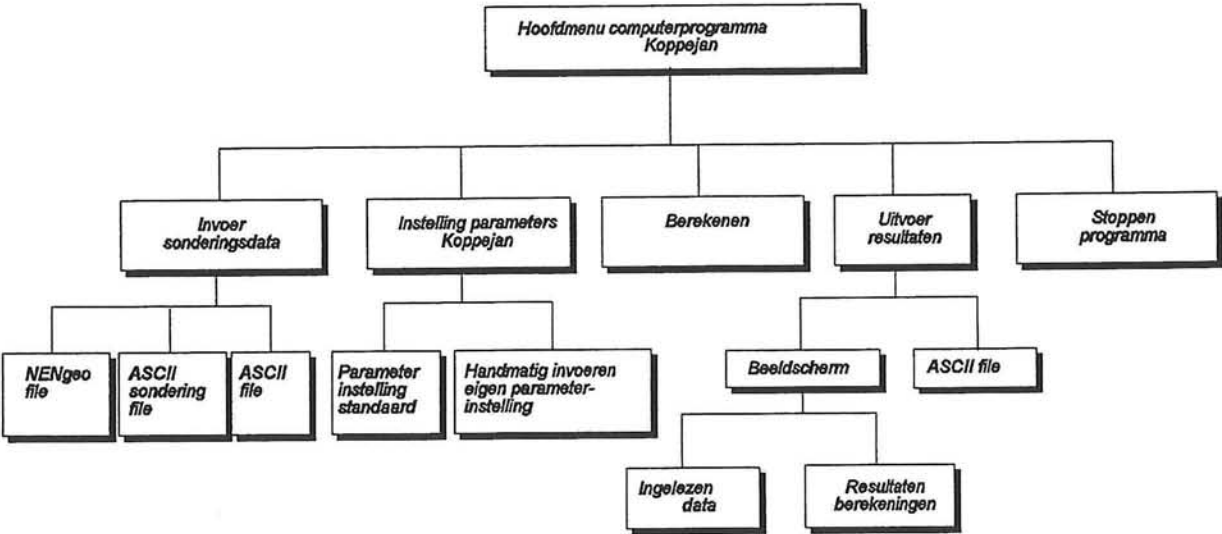
Ten derde zijn de resultaten vergeleken met het computerprogramma NENGEO module NENPAAL. Voor deze test zijn de sonderingen 10 sonderingen uit Stolwijk genomen en is het paalschacht draagvermogen zonder partiële veiligheidsfactoren bepaald als functie van de diepte. De resultaten (paalschacht draagvermogen) uit het computerprogramma Koppejan blijven binnen de marge van 5 procent als deze worden vergeleken met de resultaten die uit NENGEO komen. Er is ook een positievekleef berekening met een spreadsheet programma gemaakt, deze leverde de zelfde uitkomsten.

2 Handleiding Koppejan.exe

Het computerprogramma Koppejan wordt opgestart door Koppejan.exe in te toetsen. Op het beeldscherm verschijnt het hoofdmenu.



Het computerprogramma Koppejan is opgebouwd uit een aantal keuze menu's die alle mogelijkheden van dit programma laten zien.



Figuur 2-1 Menustructuur Koppejan.exe

Om een berekening uit te kunnen voeren moet eerst een sonderingsfile worden ingelezen. Er zijn drie typen sonderingsfiles die door het programma kunnen worden ingelezen. In § 1.1.1 van deze bijlage staat vermeldt hoe deze files er precies uitzien.

Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994

Submenu invoer:

1) NENgeo file

2) ASCII sonderingfile

3) ASCII file

0) Terug naar hoofdmenu

Voer het nummer van uw keuze in: 3

Om het draagvermogen van een paal uit te kunnen rekenen moeten parameters worden ingesteld. Dit kan het snelst gebeuren door eerst voor de standaardinstellingen te kiezen en deze daarna handmatig te corrigeren.

Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994

Geladen file: A:STRES01C.HLP

Submenu instellingen parameters Koppejan:

1) Parameterinstelling standaard

2) Handmatig invoeren eigen parameterinstelling

0) Terug naar Hoofdmenu

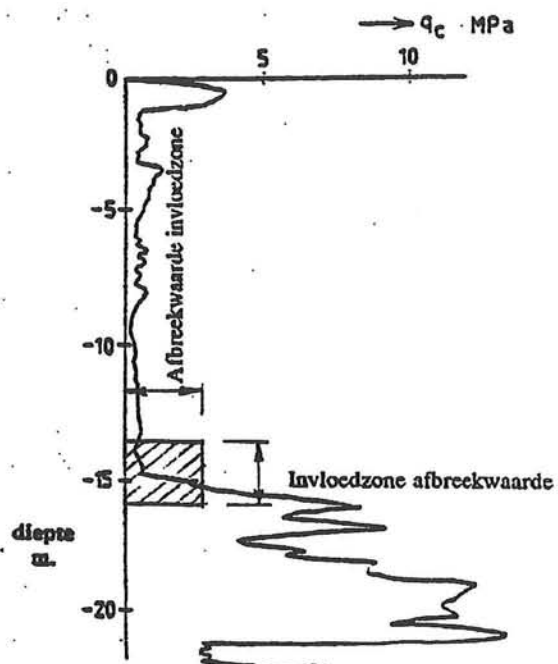
Voer het nummer van uw keuze in: 2

Een waarde kan veranderd worden door deze in te toetsen en afsluiten met *enter*. Wilt u de waarde niet veranderen toets dan gelijk *enter*.

Parameterinstelling Koppjan		
PAALLGEGEVENS:		
Oppervlakte paalpunt	Opp [m ²]	0.0625
Equivalente paaldiameter	Deq [m]	0.2925
Paalklassefactor	α_p	1.00
Paalvoet vormfactor	β	1.00
Invloedsvorm dwarsdoorsnede paalvoet	s	1.00
Gamma _{m;b}	Γ_{mb}	1.00
ksi		1.00
Verhouding Qc1 gem Qc2 gem Qc3 gem: eis A + B + C = 1		
A wordt b.v. ¼		0.25
B wordt b.v. ¼		0.25
C wordt b.v. ½		0.50

Paalschachtwrijving		
INVLOEDSGEBIED:		
0,7Deq wordt b.v. 0.7		0.70
4Deq wordt b.v. 4		4.00
8Deq wordt b.v. 8		8.00
GEGEVENS POSITIEVE KLEEF		
Paalschachtwrijving coëfficiënt	α_s	0.0100
Invloedzone afbreekwaarde		3.00
Afbreekwaarde invloedzone	[Mpa]	1.30
Omtrek paal	[m]	1.0000
Gamma _{m;s}		1.00

In het tweede invoermenu moet er een waarde worden ingevuld voor de Invloedzone afbreekwaarde en Afbreekwaarde Invloedzone. Dit zijn twee parameters die automatisch bepalen op welk niveau de berekening van de positieve kleeft moet worden afgebroken (waar er geen positieve kleeft meer is).



Figuur 2-2 Afbreekwaarde Invloedzone.

De Invloedzone Afbreekwaarde moet een geheel getal zijn. Het is zeer belangrijk dat het aanvangsniveau van de positieve kleeft aan de hand van de sondering gecontroleerd wordt. Door deze parameters te veranderen verandert ook het aanvangsniveau waar de positieve kleeft begint.

Als de sondering is ingelezen en de parameters zijn ingesteld kan de berekening worden uitgevoerd (Hoofdmenu (3)).

Als de berekening uitgevoerd is kunnen de resultaten worden bekeken door de optie Uitvoer resultaten (Hoofdmenu (4)) te kiezen. Hier zijn er twee opties mogelijk, uitvoer op beeldscherm en uitvoer wegschrijven naar een ascii file.

Scherf 1

Aantal sonderingen	1
Paalpunt oppervlak	0.0625
Deq	0.2825
lameldikte	0.10
Alpha_p	1.00
Beta	1.00
s	1.00
Gamma;m;b	1.00
ksi	1.00
A	0.25
B	0.25
C	0.50
0,7 Deq	0.70
4 Deq	4.00
8 Deq	8.00
Alpha_s	0.0100
Invloedzone afbreekwaarde	3
Afbreekwaarde invloedzone	1.30
Startniveau pos. kleef	-10.20
Omtrek paal	1.0000
Gamma;m;s	1.00

Scherf 2

Sonderingnummer 1								
Aantal meetwaarden 300								
Niveau	Qc	Qc1gem	Qc2gem	Qc3gem	Qpd	ppd	psd	pd
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[kPa]	[kN]	[kN]	[kN]
-0.70	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.80	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.90	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.00	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.10	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.20	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.30	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.40	2.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.50	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.60	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.70	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.80	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.90	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.10	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.20	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.30	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.40	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.50	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2.60	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De berekening kan herhaald worden met andere parameterinstellingen of een andere sondering. Indien u het computerprogramma wilt verlaten, kies in het hoofdmenu de optie stoppen (0). U verlaat dan automatisch het programma en komt terug in de directory waar het computerprogramma programma is opgestart

CheckFileNaam

Deze functie controleert of het wel of niet een correcte filenaam betreft en of de drive correct opgegeven wordt en of deze gelezen kan worden.

CheckReadFile

Deze functie controleert of de file wel bestaat en of de schijf gelezen kan worden.

CheckWriteFile

Deze functie controleert of de file wel weggeschreven kan worden, disk vol? write protected? heeft filenaam naam van een bestaande directory?

ActueleFilenaam

Deze procedure laat nadat er een filenaam opgegeven is in de rechter bovenhoek van het beeldscherm de continu de filenaam zien.

InlezenNGOFile

Deze procedure leest de invoerfile zoals deze door NENGEO ingelezen kan worden (zie § 2.1.1 van deze bijlage)

InlezenASCIIsonderingenFile

Deze procedure leest een ASCII file met sonderingen in die een bepaalde structuur heeft zoals in § 2.1.2 van deze bijlage is afgebeeld en tevens de uitvoerfile van NENGEO is.

InlezenASCIIFile

Deze procedure leest een ASCII file met sonderingen in die de structuur heeft zoals in § 2.1.3 van deze bijlage is afgebeeld. Dit type file heeft de zelfde structuur als de uitkomstenfile van dit computerprogramma.

ParameterInstellingStandaard

Deze procedure bevat de standaardinstelling van dit computerprogramma die wordt geladen als deze wordt opgeroepen.

ParameterinstellingHandmatig

Deze procedure zorgt ervoor dat de instellingen met behulp van een beeldscherm menu opgegeven of gewijzigd kunnen worden.

Berekeningppd

Deze procedure berekent het paalpunt draagvermogen en de positieve kleef uit als functie van de diepte.

Qc1gemQc2gem

Deze procedure berekent voor een opgegeven diepte de laagste waarde van de gemiddelde spanning Qc1 en Qc2 over het traject dat bij de instellingen is opgegeven.

Qc3gem

Deze procedure berekent voor een opgegeven diepte gemiddelde waarde van de spanning Qc3.

UitvoerASCIIFile

Deze procedure schrijft de invoer, instellingen en de resultaten van de berekeningen naar een ASCII file die door dit programma weer ingelezen kunnen worden inclusief de instellingen.

BeeldschermIngelezenData

Deze procedure laat op het beeldscherm de ingelezen file zien.

BeeldschermResultatenBerekeningen

Deze procedure laat op het beeldscherm de instellingen en de resultaten van de berekeningen zien.

3.3 PSD rekenmodule Koppejan.pas

Voor de rekenprocedures van het paalpunt draagvermogen en paalschachtdraagvermogen zijn gedetailleerde procedure structuur diagrammen gemaakt. Deze geven inzicht en overzicht in de werking van deze rekenprocedures.

Procedure Qc1gemQc2gem(TellerNiveau, SonderingNummer, Stapgrootte:integer;
Lameldikte, Deq:real; var Qc1gem, Qc2gem, Qc3gem:real;)

i=1 (1) MaxTellerNiveau	
ArrayIntegraalQc1gem[i]:=0 ArrayIntegraalQc2gem[i]:=0 ArrayIntegraalQc1gemQc2gem[i]:=0	
Waardetoekenning: TrajectI, TrajectII, AantalStappen07Deq, AantalStappen4Deq en LocaalTellerNiveau IntegraalArray:=0	
LocaalTellerNiveau:=TellerNiveau (1) TellerNiveau+Aantalstappen4Deq	
IntegraalQc2:=IntegraalQc2+ArrayQc2[LocaalTellerNiveau]*Lameldikte ArrayIntegraalQc2[LocaalTellerNiveau]:=IntegraalQc2	
Qc1gemQc2gem:=0 MinimumIndex:=TellerNiveau+AantalStappen07Deq	
LocaalTellerNiveau:=TellerNiveau+AantalStappen07Deq (1) TellerNiveau+Aantalstappen4Deq	
ArrayQc1gem[LocaalTellerNiveau]:=ArrayIntegraalQc1[LocaalTellerNiveau]/ABS((LocaalTellerNiveau-TellerNiveau+1)*Lameldikte) ArrayQc2gem[LocaalTellerNiveau]:=ArrayIntegraalQc2[LocaalTellerNiveau]/ABS((LocaalTellerNiveau-TellerNiveau+1)*Lameldikte) ArrayQc1gemQc2gem[LocaalTellerNiveau]:=ArrayQc1gem[LocaalTellerNiveau]+ ArrayQc2gem[LocaalTellerNiveau]	
Qc1gemQc2gem = 0	
T	F
Qc1gemQc2gem:=ArrayQc1gemQc2gem[TellerNiveau+AantalStappen07Deq]	
Qc1gemQc2gemhulp:=ArrayQc1gemQc2gem[LocaalTellerNiveau]	
Qc1gemQc2gemhulp < Qc1gemQc2gem	
T	F
Qc1gemQc2gem:=Qc1gemQc2gemhulp MinimumIndex:=LocaalTellerNiveau	
Qc1gem:=ArrayQc1gem[MinimumIndex] Qc2gem:=ArrayQc2gem[MinimumIndex] Glob.Var.Qc2min[TellerNiveau]:=Glob.Var.Qc[MinimumIndex].Qc	
i:=MinimumIndex (-1) TellerNiveau	
Glob.Var.Qc2min[TellerNiveau] > Glob.Var.Qc[i]	
T	F
Glob.Var.Qc2min[TellerNiveau]:=Glob.Var.Qc[i]	

Procedure Qc3(TellerNiveau, SonderingNummer, Stapgrootte:integer; Lamendikte, Deq: real;
var Qc3gem:real)

Qc3hulp:=0 IntegraalQc3:=0 Qc3:=Glob.Var.Qc2min[TellerNiveau] LocaalTellerNiveau:=TellerNiveau Waardetoekenning: TrajectIII en Aantalstappen8Deq	
Qc3 > Glob.Var.Qc[Tellerniveau]	
T	F
Qc3:=Glob.Var.Qc[LocaalTellerNiveau]	
Qc3 > Glob.Var.Qc2min[TellerNiveau]	
T	F
Qc3:=Glob.Var.Qc3min[LocaalTellerNiveau]	
LocaalTellerNivea:=TellerNiveau (-1) TellerNiveau-AantalStappenDeq+1	
Qc3hulp:=Glob.Var.Qc[LocaalTellerNiveau]	
Qc3hulp < Qc3	
F	F
Qc3:=Qc3hulp	
IntegraalQc3:=IntegraalQc3+Qc3*Lameldikte	
Qc3gem:=IntegraalQc3/ (AantalStappen8Deq*Lameldikte)	

Procedure PositieveKleef(SonderingNummer: integer)

MeterStappen:=ROUND(1/Lameldikte)			
TellerNiveau:=AantalMeetwaarden-(MeterStappen+2)			
Teller15:=0			
test:=False			
Glob.Var.Qc[TellerNiveau] >= 12			
F		F	
Glob.Var.Qc[TellerNiveau] >= 15		Qchulp:= Glob.Var.Qc [TellerNiveau]	
T		F	
i:=TellerNiveau+AantalMeterStappen (-1) TellerNiveau-MeterStappen		Qc:=12	
Glob.Var.Q[i] >= 15			
T		F	
Teller15:=Teller15+1		Teller15:=0 Qc:=12	
Teller15 > MeterStappen			
T		F	
test:=True		Qc:=12	
test = True			
T		F	
Qc:=15			
Glob.Var.Qsd[TellerNiveau]:=Qc			
i:=AantalMeetwaarden-(Meterstappen+2) (-1) TellerNiveau			
psd[i]:=psd[i]+Alpha_s*Lameldikte*Omtrek*1000*Gamma_s			
TellerNiveau:=TellerNiveau-1			
Hulpgemiddelde:=(Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(9*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(8*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(7*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(6*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(5*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(4*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(3*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(2*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(1*Invloedzone)]+ Glob.Var.Qc[TellerNiveau-(TellerNiveau)]) /10			
HulpGemiddelde < Afbreekwaarde			
StartNiveauPosKleef:=Glob.Var.Niveau[TellerNiveau+1]			

Procedure Berekening ppd

SonderingNummer:=1 (1) AantalSonderingen	
Waardetoekenning: Deq, AantalMeetwaarden, A, B en C StartNiveau:=ROUND((1+TrajectIII)*Deq/Lameldikte) EindNiveau:=AantalMeetwaarden-Round((1+TrajectII)*Deq/Lameldikte)	
i:=1 (1) AantalMeetwaarde	
psd[i]:=0 pd[i]:=0	
PositieveKleef(SonderingNummer)	
TellerNiveau:=1 (1) StartNiveau-1	
ppd:=0 Qc1gem:=0 Qc2gem:=0 Qc3gem:=0 Qpd:=0	
TellerNiveau:=StartNiveau (1) EindNiveau	
Qc1gemQc2gem(TellerNiveau, SonderingNummer, Stapgrootte, Lameldikte, Deq, Qc1gem, Qc2gem, Qc3gem) Qpd[TellerNiveau]:=(A*Qc1gem[TellerNiveau]+B*Qc2gem[TellerNiveau]+ C*Qc3gem[TellerNiveau])*Alpha_p*Beta*s	
Qpd[TellerNiveau] > 15	
T	F
Qpd[TellerNiveau]:=15	
ppd[TellerNiveau]:=Qpd[TelleNiveau]*Opp*Gamma_p*ksi*1000 pd[TellerNiveau]:=ppd[TellerNiveau]+psd[TellerNiveau]	
TellerNiveau:=EindNiveau+1 (1) AantalMeetwaarden	
ppd:=0 Qc1gem:=0 Qc2gem:=0 Qc3gem:=0 Qpd:=0	

4 Listing computerprogramma Koppejan.pas

```

PROGRAM KOPPEJAN (INPUT,OUTPUT);

USES CRT,DOS;

CONST
  MaxTellerNiveau = 400;      (* maximale aantal meetwaarden per sondering *)
  MaxSonderingNummer = 1;     (* maximale aantal in te lezen sonderingen *)
  Stapgrootte = 1;           (* 1 laten, niet verder uitgewerkt in dit programma *)
  AlIngelezen : Boolean = false; (* flag(s) beschermd invoervolgorde hoofdmenu *)
  AlIngelezen2: Boolean = false;

TYPE
  KoppejanType = RECORD
    Niveau      : real;      (* diepte *)
    pd          : real;      (* paal draagvermogen *)
    ppd         : real;      (* paalpunt draagvermogen *)
    psd         : real;      (* paalschacht draagvermogen *)
    Qc          : real;      (* conusweerstand *)
    Qc1gem      : real;      (* gemiddelde spanning traject 1 *)
    Qc2gem      : real;      (* gemiddelde spanning traject 2 *)
    Qc2min      : real;      (* hulpvariabele *)
    Qc3gem      : real;      (* gemiddelde spanning traject 3 *)
    Qpd         : real;      (* paalpunts spanning m.b.v. Koppejan *)
    Qsd         : real;      (* conusweerstand voor schachtwrijving volgens de norm *)
  END;

  KoppejanArrayType = array[1..MaxTellerNiveau] OF ^KoppejanType;

  SonderingType = RECORD
    Locatie      : string;
    NiveauArray  : ^KoppejanArrayType;
    Maaiveld     : real;      (* niveau maaiveld *)
    Lameldikte   : real;      (* niveauverschil tussen de waarnemingen *)
    Stapgrootte  : integer;   (* altijd 1 *)
    Opp          : real;      (* punt draagvermogen *)
    Deq          : real;      (* equivalente paalkopdiameter *)
    AantalMeetwaarden : integer; (* aantal sondeermeetwaarden *)
    Alpha_p      : real;      (* paalklassefactor paalpunt draagvermogen *)
    Beta         : real;      (* invloed paalvoetvorm *)
    s            : real;      (* invloed vorm dwarsdoorsnede paalvoet *)
    Gamma_p      : real;      (* materiaalfactor *)
    ksi          : real;      (* factor afhankelijk v/h aantal palen en sonderingen *)
    A            : real;      (* gewicht trajectI *)
    B            : real;      (* gewicht trajectII *)
    C            : real;      (* gewicht trajectIII *)
    TrajectI     : real;      (* invloedslengte gebied Qc1gem *)
    TrajectII    : real;      (* invloedslengte gebied Qc2gem *)
    TrajectIII   : real;      (* invloedslengte gebied Qc3gem *)
    Alpha_s      : real;      (* paalklassefactor paalschacht draagvermogen *)
    Invloedzone  : integer;   (* lente waarover de gemiddelde conusweerstand wordt bepaald *)
    Afbreekwaarde : real;      (* gemiddelde conusweerstand waarbij de kleefberekening wordt afgebroken *)
    StartNiveauPosKleef: real; (* startniveau positieve kleef *)
    Omtrek       : real;      (* omtrek van de paal *)
    Gamma_s      : real;      (* materiaalfactor *)
  END;

  TotaalAantalSonderingenType = array[1..MaxSonderingNummer] of SonderingType;
  RealArrayType = array[1..MaxTellerNiveau] of real;
  RealArray = ^RealArrayType;

VAR
  TotaalSondering: TotaalAantalSonderingenType;
  fil: file of TotaalAantalSonderingenType;
  AantalSonderingen: integer;
  FilenaamScherp: string[16];

```

```

PROCEDURE Print(x, y: integer; z: string); (* regel printen text op beeldscherm *)
VAR
    i: integer;
    b: Boolean;

BEGIN
    b := False;
    gotoxy(x,y);
    FOR i := 1 TO length(z) DO
        BEGIN
            IF (z[i]<>'@') AND (z[i]<>'#') THEN write(z[i])
            ELSE IF z[i]='@' THEN b:= NOT (b);
            IF b THEN textbackground(red)
            ELSE
                BEGIN
                    normvideo; textcolor(white);
                END;
            END;
        END;
    END;

```

```

PROCEDURE Kader(x1, y1, x2, y2: integer); (* regeld printen kader op beeldscherm *)
VAR
    i: integer;

BEGIN
    FOR i:= x1+1 TO x2-1 DO
        BEGIN
            gotoxy(i,y1);write(#205); gotoxy(i,y2);write(#196);
        END;
    FOR i:= y1+1 TO y2-1 DO
        BEGIN
            gotoxy(x1,i);write(#179); gotoxy(x2,i);write(#179);
        END;
    gotoxy(x1,y1);write(#213); gotoxy(x1,y2);write(#192);
    gotoxy(x2,y1);write(#184); gotoxy(x2,y2);write(#217);
    gotoxy(1,1);
END;

```

```

FUNCTION Getal(a: string):real; (* controleerd of het een getal is *)
VAR
    p: real;
    dum: integer;

BEGIN
    val(a,p,dum);
    IF dum<>0 THEN
        BEGIN
            Print(5,22,#7+'@U heeft geen getal ingevoerd@');
            delay(500);
            Print(5,22,' ');
            p := 9999;
        END;
    Getal := p;
END;

```

```

FUNCTION Strng(a:real;b,c:integer):string;
VAR
    p: string;

BEGIN
    p := '';
    str(a:b:c,p);
    strng := p;
END;

```



```
FUNCTION CheckReadFile (AFileName: string):Boolean;
```

```
VAR
```

```
  f: file;  
  Result: integer;
```

```
BEGIN
```

```
  Assign(f,AFileName);
```

```
  {$I-} {Zet alle Run-time errors uit}
```

```
    Reset(f);
```

```
    Result := IOResult;
```

```
    IF Result = 0 THEN Close(f);
```

```
  {$I+} {Zet alle Run-time errors weer aan}
```

```
  IF Result <> 0 THEN
```

```
    BEGIN
```

```
      Print(33,22,' ');
```

```
      Print(5,23,#7+'@Kan niet lezen van schijf@');
```

```
      delay(2000);
```

```
      Print(5,23,'
```

```
      CheckReadFile := False;
```

```
      Exit;
```

```
    END;
```

```
  CheckReadFile := True;
```

```
END;
```

```
FUNCTION CheckWriteFile (AFileName: string):Boolean;
```

```
VAR
```

```
  f: file;  
  Result: integer;
```

```
BEGIN
```

```
  Assign(f,AFileName);
```

```
  {$I-} {Zet alle Run-time errors uit}
```

```
    Rewrite(f);
```

```
    Result := IOResult;
```

```
    IF Result = 0 THEN Close(f);
```

```
  {$I+} {Zet alle Run-time errors weer aan}
```

```
  IF Result <> 0 THEN
```

```
    BEGIN
```

```
      Print(5,22,#7+'@Kan niet schrijven naar schijf@');
```

```
      delay(2000);
```

```
      Print(5,22,'
```

```
      CheckWriteFile := False;
```

```
      Exit;
```

```
    END;
```

```
  CheckWriteFile := True;
```

```
END;
```

(* ***** Inlees procedures ***** *)

PROCEDURE InlezenNENGeoFile;

```

VAR
  Filenaam: string;
  f: text;
  ch: char;
  NoStop: Boolean;
  Result, teller, x, y: integer;
  Kopregel: string[5];
  SonderingNummer, SonderingTeller,
  AantalKopregels, PositieTeller: integer;
BEGIN
  REPEAT
    Filenaam := '';
    Print(5,23,'ESC = terug naar menu');
    Print(5,22,'Geef naam van sondeerfile : ');
  REPEAT
    REPEAT UNTIL keypressed;
    ch := Readkey;
    IF (ch <> #27) AND (ch <> #13) THEN  {#27 = Esc , #13 = Enter}
    BEGIN
      IF (ch = #8) THEN  {#8 = BackSpace}
      BEGIN
        IF (Length(Filenaam) > 0) THEN
          BEGIN
            x := WhereX;
            Delete(Filenaam,Length(Filenaam),1);
            GotoXY(x-1,WhereY);
            write(' ');
            GotoXY(x-1,WhereY);
          END;
        END;
      ELSE
        BEGIN
          Filenaam := Filenaam + ch;
          write(ch);
        END;
      END;
    UNTIL (ch = #27) OR (ch = #13);
    IF ch = #27 THEN
      Filenaam := '.dummy';
      NoStop := false;
      IF CheckFileName(Filenaam) THEN
        NoStop := CheckReadFile(Filenaam);
    UNTIL (ch = #27) OR NoStop;
    IF (ch = #27) THEN
      Exit;
      { Nu gaan we echt lezen }
      FOR teller := 1 TO Length(Filenaam) DO
        Filenaam[teller] := UpCase(Filenaam[teller]);
      FilenaamScherf := ' ';
      FilenaamScherf := Filenaam;
      Assign(f,Filenaam);
      Reset(f);
      FOR teller := 1 TO 8 DO  {sla de eerste kop over}
      BEGIN
        readln(f);
      END;
      {lees aantal sonderingen in file
       reserveer geheugen voor de nivoarrays voor niet meer sonderingen
       dan er in de NENGeo file staan en zet de rest van de pointer op NIL}
      readln(f,AantalSonderingen);
      FOR teller := 1 TO AantalSonderingen DO
        New(TotaalSondering[teller].NiveauArray);
      FOR teller := (AantalSonderingen+1) TO MaxSonderingNummer DO
        TotaalSondering[teller].NiveauArray := NIL;
      FOR SonderingTeller := 1 TO AantalSonderingen DO  {lees sonderingsdata}
      BEGIN
        readln(f);
        readln(f,SonderingNummer);
        readln(f,TotaalSondering[SonderingNummer].Maaiveld);
        readln(f,AantalKopregels);
        REPEAT
          readln(f,Kopregel);  {Lees kopregels tot de kop "Locatie"}
          AantalKopregels := AantalKopregels - 1;
          UNTIL Kopregel = 'ORDE';  { Om nog onbekende reden plakt Pascal }
          PositieTeller := 1;  { er een Readln tussen, dus houden we }
          REPEAT  { er een regel eerder mee op }
            PositieTeller := PositieTeller + 1;  {ga op de regel "locatie" naar}
            read(f,ch);  {rechts t/m de :}
          UNTIL (ch = ':');
          AantalKopregels := AantalKopregels - 1;  {Door de extra readln wordt het}
          read(f,ch);  {aantal kopregels verminderd}
          readln(f,TotaalSondering[SonderingNummer].Locatie);
          {Ga door tot einde kop}
          REPEAT
            readln(f);
            AantalKopregels := AantalKopregels - 1;
          UNTIL AantalKopregels = 0;
          readln(f,TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden);
          {Reserveer voor slechts het aantal meetwaardes in de file de
           koppejanrecords en zet de rest op NIL}

```

```

FOR teller := 1 TO TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DO
  New(TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller]);
  FOR teller := TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden+1 TO
    MaxTellerNiveau DO
    TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller] := NIL;
  FOR teller := 1 TO TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DO
    readln(f,TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller]^Niveau,
      TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller]^Qc);
END;
Close(f);
Print(3,17,'');
Print(3,18,'');
Print(3,19,'');
Print(3,20,'');
Print(3,21,'');
Print(3,22,'');
Print(3,23,'');
Kader(23,18,58,22);
Print(24,19,'@');
Print(24,20,'#7+@ Inlezen file voltooid @');
Print(24,21,'@');
Print(36,23,'Toets Enter');
REPEAT UNTIL keypressed;
ch := readkey;
END;

```

```
PROCEDURE InlezenASCIISonderingFile;
```

```
VAR
```

```

Filenaam: string;
f: text;
ch: char;
NoStop: Boolean;
Result, teller, x, y: integer;
Kopregel: string[5];
SonderingNummer, SonderingTeller,
AantalMeetwaarden, PositieTeller, test: integer;
```

```
BEGIN
```

```
  REPEAT
```

```

    Filenaam := '';
    Print(5,23,'ESC = terug naar menu');
    Print(5,22,'Geef naam van sondeerfile : ');
```

```
  REPEAT
```

```
    REPEAT UNTIL keypressed;
```

```
    ch := Readkey;
```

```
    IF (ch <> #27) AND (ch <> #13) THEN {#27 = Esc , #13 = Enter}
```

```
    BEGIN
```

```
      IF (ch = #8) THEN {#8 = BackSpace}
```

```
      BEGIN
```

```
        IF (Length(Filenaam) > 0) THEN
```

```
        BEGIN
```

```
          x := WhereX;
```

```
          Delete(Filenaam,Length(Filenaam),1);
```

```
          GotoXY(x-1,WhereY);
```

```
          write(' ');
```

```
          GotoXY(x-1,WhereY);
```

```
        END;
```

```
      END
```

```
    ELSE
```

```
    BEGIN
```

```
      Filenaam := Filenaam + ch;
```

```
      write(ch);
```

```
    END;
```

```
  END;
```

```
  UNTIL (ch = #27) OR (ch = #13);
```

```
  IF ch = #27 THEN
```

```
    Filenaam := '.dummy';
```

```
  NoStop := false;
```

```
  IF CheckFileName(Filenaam) THEN
```

```
    NoStop := CheckReadFile(FileNaam);
```

```
  UNTIL (ch = #27) OR NoStop;
```

```
  IF (ch = #27) THEN
```

```
    Exit;
```

```
{ Nu gaan we echt lezen }
```

```
  FOR teller := 1 TO Length(FileNaam) DO
```

```
    FileNaam[teller] := UpCase(FileNaam[teller]);
```

```
  FilenaamScherm := '          ';
```

```
  FilenaamScherm := Filenaam;
```

```
  Assign(f,FileNaam);
```

```
  Reset(f);
```

```
{lees aantal sonderingen in file
```

```
  reserveer geheugen voor de niveauarrays voor niet meer sonderingen
  dan er in de NENgeo file staan en zet de rest van de pointer op NIL}
```

```
  New(TotaalSondering[1].NiveauArray);
```

```
  FOR teller := 2 TO maxSonderingNummer DO
```

```
    totaalsondering[teller].NiveauArray := NIL;
```

```
  readln(f);
```

```
  PositieTeller := 1; { er een Readln tussen, dus houden we }
```

```
  REPEAT { er een regel eerder mee op}
```

```
    PositieTeller := PositieTeller + 1; {ga op de regel "locatie" naar}
```

```
    read(f,ch) {rechts t/m de :}
```

```
  UNTIL (ch = ':');
```

```
  readln(f,TotaalSondering[1].Locatie);
```

```
  FOR teller := 1 TO 3 DO
```

```
    readln(f);
```

```
  PositieTeller := 1; { er een Readln tussen, dus houden we }
```

```
  REPEAT { er een regel eerder mee op}
```

```
    PositieTeller := PositieTeller + 1; {ga op de regel "locatie" naar}
```

```
    read(f,ch) {rechts t/m de :}
```

```
  UNTIL (ch = ':');
```

```
  read(f,TotaalSondering[1].Maaiveld);
```

```
  readln(f);
```

```
  FOR teller := 1 TO 6 DO
```

```
    readln(f);
```

```
  AantalMeetwaarden := 0;
```

```
  REPEAT
```

```
  BEGIN
```

```
    AantalMeetwaarden := AantalMeetwaarden+1;
```

```
    readln(f,ch);
```

```
  END;
```

```
  UNTIL (ch = 'Z'); (* dit teken staat aan het einde van de file *)
```

```
  (* zo niet dan moet deze eringezet worden *)
```

```
  TotaalSondering[1].AantalMeetwaarden := AantalMeetwaarden-1;
```

```
  Close(f);
```

```

{Reserveer voor slechts het aantal meetwaarden in de file de
koppejanrecords en zet de rest op NIL}

FOR teller := 1 TO TotaalSondering[1].AantalMeetwaarden DO
BEGIN
  New(TotaalSondering[1].NiveauArray^[teller]);
END;
FOR teller := TotaalSondering[1].AantalMeetwaarden+1 TO
  MaxTellerNiveau DO
  TotaalSondering[1].NiveauArray^[teller] := NIL;
Assign(f, FileNaam);
Reset(f);
FOR teller := 1 TO 12 DO
  readln(f);
FOR teller := 1 TO TotaalSondering[1].AantalMeetwaarden DO
  readln(f, TotaalSondering[1].NiveauArray^[teller]^Niveau,
    TotaalSondering[1].NiveauArray^[teller]^Qc);
AantalSonderingen := 1;
Close(f);
Print(3,17, ' ');
Print(3,18, ' ');
Print(3,19, ' ');
Print(3,20, ' ');
Print(3,21, ' ');
Print(3,22, ' ');
Print(3,23, ' ');
Kader(23,18,58,22);
Print(24,19, '@');
Print(24,20, #7+'@ Inlezen file voltooid @');
Print(24,21, '@');
Print(36,23, 'Toets Enter');
REPEAT UNTIL keypressed;
ch := readkey;
END;

```



```
PROCEDURE InlezenASCIIfile;
```

```
VAR
```

```

Filenaam: string;
f: text;
ch: char;
NoStop: Boolean;
Result, teller, teller1, x, y: integer;
Kopregel: string[5];
getal: string[6];
SonderingNummer, SonderingTeller: integer;

```

```
BEGIN
```

```
REPEAT
```

```

Filenaam := '';
Print(5,23,'Esc = terug naar menu');
Print(5,22,'Geef naam van sondeerfile : ');

```

```
REPEAT
```

```
REPEAT UNTIL keypressed;
```

```
ch:= Readkey;
```

```
IF (ch <> #27) AND (ch <> #13) THEN
```

```
BEGIN
```

```
IF (ch = #8) THEN
```

```
BEGIN
```

```
IF (Length(Filenaam) > 0) THEN
```

```
BEGIN
```

```
x := WhereX;
```

```
Delete(Filenaam,Length(Filenaam),1);
```

```
GotoXY(x-1,WhereY);
```

```
write(' ');
```

```
GotoXY(x-1,WhereY);
```

```
END;
```

```
END
```

```
ELSE
```

```
BEGIN
```

```
Filenaam := Filenaam + ch;
```

```
write(ch);
```

```
END;
```

```
END;
```

```
UNTIL (ch = #27) OR (ch = #13);
```

```
IF ch = #27 THEN
```

```
Filenaam:= '.dummy';
```

```
NoStop:= false;
```

```
IF CheckFileName(Filenaam) THEN
```

```
NoStop:= CheckReadFile(Filenaam);
```

```
UNTIL (ch = #27) OR NoStop;
```

```
IF (ch =#27) THEN
```

```
Exit;
```

```
{ Nu gaan we echt lezen}
```

```
FOR teller := 1 TO Length(FileNaam) DO
```

```
FileNaam[teller] := UpCase(FileNaam[teller]);
```

```
FilenaamScherM := ' ';
```

```
FilenaamScherM := Filenaam;
```

```
Assign(f,FileNaam);
```

```
Reset(f);
```

```
readln(f,AantalSonderingen);
```

```
FOR teller := 1 TO AantalSonderingen DO
```

```
NEW(TotaalSondering[Teller].NiveauArray);
```

```
FOR teller := (AantalSonderingen+1) TO MaxSonderingNummer DO
```

```
TotaalSondering[Teller].NiveauArray := NIL;
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Opp);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Deg);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Lameldikte);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Alpha_p); (* punt draagvermogen *)
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Beta);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].s);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Gamma_p);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].ksi);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].A);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].B);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].C);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].TrajectI);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].TrajectII);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].TrajectIII);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Alpha_s); (* schachtdraagvermogen *)
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Invloedzone);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Afbreekwaarde);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].StartNiveauPosKleef);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Omtrek);
```

```
readln(f,TotaalSondering[1].Gamma_s);
```

```
FOR SonderingTeller := 1 TO AantalSonderingen DO
```

```
BEGIN
```

```
readln(f,SonderingNummer);
```

```
readln(f,TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden);
```

```
FOR teller := 1 TO TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DO
```

```
NEW(TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller]);
```

```
FOR teller := TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden+1 TO
```

```
MaxTellerNiveau DO
```

```
TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller] := NIL;
```

```
FOR teller := 1 TO TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DO
```

```
readln(f,TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller]^Niveau,
```

```
TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[teller]^Qc);
```

```

END;
Close(f);
Print(3,18,'');
Print(3,19,'');
Print(3,20,'');
Print(3,21,'');
Print(3,22,'');
Print(3,23,'');
Kader(23,18,58,22);
Print(24,19,'@');
Print(24,20,'#7+'@ Inlezen file voltooid @');
Print(24,21,'@');
Print(36,23,'Toets Enter');
REPEAT UNTIL keypressed;
ch:=readkey;
END;

```

```
(* ***** parameterinstellingen ***** *)
```

```
PROCEDURE ParameterInstellingStandaard(var ParInstSt:Boolean);
```

```
BEGIN
  WITH TotaalSondering[1] DO
    BEGIN
      Locatie           := '';
      Lameldikte        := ABS(NiveauArray^[51]^Niveau-NiveauArray^[50]^Niveau);
      Stapgrootte       := 1;
      Opp               := 0.1225;      (* punt draagvermogen *)
      Deq               := 0.3955;
      Alpha_p           := 0.82;
      Beta              := 0.8;
      s                 := 1;
      Gamma_p           := 1;
      ksi               := 1;
      A                 := 0.25;
      B                 := 0.25;
      C                 := 0.5;
      TrajectI          := 0.7;
      TrajectII         := 4;
      TrajectIII        := 8;
      Alpha_s           := 0.01;      (* schacht draagvermogen *)
      Invloedzone       := 3;
      Afbreekwaarde     := 1.3;
      StartNiveauPosKleef := 0;
      Omtrek            := 1.4;
      Gamma_s           := 1;
    END;
    Print(5,22,'#7+@Standaardinstellingen ingelezen@');
    delay(1500);
  END; (* end procedureParameterInstellingStandaard *)
```

```
PROCEDURE ParameterInstellingHandmatig;
```

```
VAR
```

```
  s: string;
  r: real;
  y: integer;
  fout, Enter: Boolean;
  HulpSondering: SonderingType;
  f: file of SonderingType;
```

```
BEGIN
```

```
  clrscr;
  Kader(1,1,80,24);
  Print(26,2,'Parameterinstelling Koppejan');
  BEGIN
    y:=0; fout:=False;
    Print(5,4,'PAAUGEVEENS:');
    Print(7,5,'Oppervlakte paalpunt
    Print(7,6,'Equivalente paaldiameter
    Print(7,7,'Paalklassefactor
    Print(7,8,'Paalvoet vormfactor
    Print(7,9,'Invloedvorm dwarsdoorsnede paalvoet
    Print(7,10,'Gamma;m;b
    Print(7,11,'ksi
    Print(5,13,'VERHOUDING Qc1gem Qc2gem Qc3gem:');
    Print(7,14,'A wordt b.v. ¼
    Print(7,15,'B wordt b.v. ¼
    Print(7,16,'C wordt b.v. ¼
    REPEAT
      Enter := False;
      inc(y);
      gotoxy(54,y);
      CASE y OF
        5..11,14..16:
          BEGIN
            readln(s);
            IF s = '' THEN Enter := True;
            IF NOT Enter THEN
              BEGIN
                Print(54,y,s+' ');
                r := getal(s);
                IF r = 9999 THEN
                  BEGIN
                    Print(54,y,' ');
                  END;
                END;
              END;
            END;
          END;
        12,13,15,16:
          BEGIN
            Opp [m^2]: '); write(strng(totaalsondering[1].Opp,10,4));
            Deq [m] : '); write(strng(totaalsondering[1].Deq,10,4));
            op : '); write(strng(totaalsondering[1].Alpha_p,10,2));
            B : '); write(strng(totaalsondering[1].Beta,10,2));
            s : '); write(strng(totaalsondering[1].s,10,2));
            Γmb : '); write(strng(totaalsondering[1].Gamma_p,10,2));
            ksi : '); write(strng(totaalsondering[1].ksi,10,2));
            Print(40,13,'eis A + B + C = 1');
            : '); write(strng(totaalsondering[1].A,10,2));
            : '); write(strng(totaalsondering[1].B,10,2));
            : '); write(strng(totaalsondering[1].C,10,2));
          END;
        17:
          BEGIN
            Enter := True;
          END;
      END;
    UNTIL Enter = True;
  END;
  IF NOT Enter THEN
```

```

BEGIN
CASE y OF
5 : TotaalSondering[1].Opp := r;
6 : IF (r>0) AND (r<2) THEN TotaalSondering[1].Deg := r      (* denk aan de integer round!!!! *)
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@Deg groter dan 0@');
        Print(5,22,'@en kleiner dan 2 [m]@');
        fout := True;
    END;
7 : IF (r>0.1) AND (r<1.5) THEN TotaalSondering[1].Alpha_p := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@αp groter dan 0.1@');
        Print(5,22,'@en kleiner dan 1.5@');
        fout := True;
    END;
8 : IF (r>0.5) AND (r<=1) THEN TotaalSondering[1].Beta := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@β groter dan 0.5@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 1@');
        fout := True;
    END;
9 : IF (r>0.6) AND (r<=1) THEN TotaalSondering[1].s := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@s groter dan 0.6@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 1@');
        fout := True;
    END;
10 : IF (r>=1) AND (r<=4) THEN TotaalSondering[1].Gamma_p := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@Γ;m;b groter of gelijk aan 1@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 4@');
        fout := True;
    END;
11 : IF (r>0.6) AND (r<=1) THEN TotaalSondering[1].ksi := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@ksi groter dan 0.6@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 1@');
        fout := True;
    END;
14 : IF (r>=0) AND (r<=1) THEN TotaalSondering[1].A := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@A groter of gelijk aan 0@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 1@');
        fout := True;
    END;
15 : IF (r>=0) AND (r<=1) THEN TotaalSondering[1].B := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@B groter of gelijk aan 0@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 1@');
        fout := True;
    END;
16 : IF (r>=0) AND (r<=1) THEN TotaalSondering[1].C := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@C groter of gelijk aan 0@');
        Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 1@');
        fout := True;
    END;
END; (* end case *)
BEGIN
    TotaalSondering[1].Stapgrootte := 1;
END;
IF fout THEN
BEGIN
    fout := False;
    delay(5000);
    Print(5,21,'');
    Print(5,22,'');
    Print(54,(y),'');
    dec(y);
END;
UNTIL y>19;
END;
clrscr;
Kader(1,1,80,24);
Print(30,2,'Paalschachtwijving');

```

```

BEGIN
  y := 0;
  fout := False;
  Print(5,5,'INVLOEDGEBIED:');
  Print(7,6,'0.7Deq wordt b.v. 0.7 : '); write(strng(TotaalSondering[1].TrajectI,10,2));
  Print(7,7,'4Deq wordt b.v. 4 : '); write(strng(TotaalSondering[1].TrajectII,10,2));
  Print(7,8,'8Deq wordt b.v. 8 : '); write(strng(TotaalSondering[1].TrajectIII,10,2));
  Print(5,10,'GEGEVENS POSITIVE KLEEF:');
  Print(7,11,'Paalschachtwrijving coëficient αs : '); write(strng(TotaalSondering[1].Alpha_s,10,4));
  Print(7,12,'Invloedzone afbreekwaarde : '); write(strng(TotaalSondering[1].Invloedzone,10,2));
  Print(7,13,'Afbreekwaarde invloedzone [MPa] : '); write(strng(TotaalSondering[1].Afbreekwaarde,10,2));
  Print(7,14,'Omtrek paal Omtrek [m] : '); write(strng(TotaalSondering[1].Omtrek,10,4));
  Print(7,15,'Gamma;m;s : '); write(strng(TotaalSondering[1].Gamma_s,10,2));
  REPEAT
    Enter := False;
    inc(y);
    gotoxy(54,y);
    CASE y OF
      6..8,11..15:
        BEGIN
          readln(s);
          IF s = '' THEN Enter := True;
          IF NOT Enter THEN
            BEGIN
              Print(54,y,s+' ');
              r := Getal(s);
              IF r = 9999 THEN
                BEGIN
                  Print(54,y,' ');
                END;
            END;
          END;
        END;
      END;
    END; (* END CASE *)
    IF NOT Enter THEN
      BEGIN
        CASE y OF
          6 : IF (r>=0) AND (r<=10) THEN TotaalSondering[1].TrajectI := r
              ELSE
                BEGIN
                  Print(5,21,'#7+'@0.7Deq groter of gelijk aan 0@');
                  Print(5,22,'en kleiner of gelijk aan 10@');
                  fout := True;
                END;
              7 : IF (r>=TotaalSondering[1].TrajectI) AND (r<=20) THEN TotaalSondering[1].TrajectII := r
                  ELSE
                    BEGIN
                      Print(5,21,'#7+'@4Deq groter of gelijk aan 0.7Deq@');
                      Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 20@');
                      fout := True;
                    END;
                  8 : IF (r>=0) AND (r<=20) THEN TotaalSondering[1].TrajectIII := r
                      ELSE
                        BEGIN
                          Print(5,21,'#7+'@8Deq groter of gelijk aan 0@');
                          Print(5,22,'@en kleiner of gelijk aan 20@');
                          fout := True;
                        END;
                      11: IF (r>=0) AND (r<1) THEN TotaalSondering[1].Alpha_s := r
                          ELSE
                            BEGIN
                              Print(5,21,'#7+'@αp groter dan 0@');
                              Print(5,22,'@en kleiner dan 1@');
                              fout := True;
                            END;
                          12: BEGIN
                              TotaalSondering[1].Invloedzone := round(r);
                              END;
                              { IF (r>=1) AND (r<10) THEN TotaalSondering[1].Invloedzone := r
                                ELSE
                                  BEGIN
                                    Print(5,21,'#7+'@Invloedzone afbreekwaarde groter dan 1@');
                                    Print(5,22,'@en kleiner dan 10@');
                                    fout := True;
                                  END;
                                }
                              13: IF (r>=0.1) AND (r<10) THEN TotaalSondering[1].Afbreekwaarde := r
                                  ELSE
                                    BEGIN
                                      Print(5,21,'#7+'@Afbreekwaarde invloedzone groter dan 0.1@');
                                      Print(5,22,'@en kleiner dan 10 [MPa]@');
                                      fout := True;
                                    END;
                                  14: IF (r>=0) AND (r<4) THEN TotaalSondering[1].Omtrek := r
                                      ELSE
                                        BEGIN
                                          Print(5,21,'#7+'@Omtrek paal groter dan 0@');
                                          Print(5,22,'@en kleiner dan 4@');
                                          fout := True;
                                        END;
                                    END;
              END;
        END;
      END;
    END;
  END;

```

```

15: IF (r>=0) AND (r<4) THEN TotaalSondering[1].Gamma_s := r
    ELSE
    BEGIN
        Print(5,21,#7+'@Gamma;m;s groter dan 0@');
        Print(5,22,'@en kleiner dan 4@');
        fout := True;
    END;
END; (* ***** END CASE ***** *)
IF fout THEN
BEGIN
    fout := False;
    delay(5000);
    Print(5,21,'');
    Print(5,22,'');
    Print(54,(y),'');
    dec(y);
END;
END;
UNTIL y>19;
END;
END; (* END procedure ParameterInstellingHandmatig *)

```

(* ***** Berekening procedure's ***** *)

```
PROCEDURE Qc1gemQc2gem(TellerNiveau, SonderingNummer, Stapgrootte:integer; Lameldikte, Deg: real;
    var Qc1gem, Qc2gem, Qc3gem: real);
```

VAR

```
    i, A, B: integer;
    LocaalTellerNiveau: integer;
    AantalStappen07Deg, AantalStappen4Deg: integer;
    TrajectI, TrajectII: real;
    Qc1, IntegraalQc1: real;
    ArrayQc1gem, ArrayIntegraalQc1, ArrayIntegraalQc1gem: RealArray;
    Qc2, Qc2hulp, IntegraalQc2: real;
    ArrayQc2gem, ArrayQc2, ArrayIntegraalQc2, ArrayIntegraalQc2gem: RealArray;
    Qc1gemQc2gem, Qc1gemQc2gemhulp: real;
    ArrayQc1gemQc2gem, ArrayQc1gemQc2gemhulp, ArrayIntegraalQc1gemQc2gem: RealArray;
    MinimumIndex: integer;
```

BEGIN

```
    New(ArrayQc1gem);
    New(ArrayQc2gem);
    New(ArrayQc2);
    New(ArrayQc1gemQc2gem);
    New(ArrayQc1gemQc2gemhulp);
    New(ArrayIntegraalQc1);
    New(ArrayIntegraalQc2);
    New(ArrayIntegraalQc1gem);
    New(ArrayIntegraalQc2gem);
    New(ArrayIntegraalQc1gemQc2gem);
    FOR i :=1 TO MaxTellerNiveau DO
    BEGIN
        ArrayIntegraalQc1gem[i] := 0;
        ArrayIntegraalQc2gem[i] := 0;
        ArrayIntegraalQc1gemQc2gem[i] := 0;
    END;
    TrajectI := TotaalSondering[1].TrajectI;
    TrajectII := TotaalSondering[1].TrajectII;
    AantalStappen07Deg := round(TrajectI*Deg/(Stapgrootte*Lameldikte)); (* afstand omzetten in aantal stappen *)
    AantalStappen4Deg := round(TrajectII*Deg/(Stapgrootte*Lameldikte));
    IntegraalQc1 := 0;
    LocaalTellerNiveau := TellerNiveau;
    B := TellerNiveau+AantalStappen4Deg;
    FOR LocaalTellerNiveau := TellerNiveau TO B DO
    BEGIN
        IntegraalQc1 := IntegraalQc1+TotaalSondering[SonderingNummer].
            NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc*(Stapgrootte*Lameldikte);
        ArrayIntegraalQc1^[LocaalTellerNiveau] := IntegraalQc1;
    END;
    IntegraalQc2 := 0;
    Qc2 := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc;
    B := TellerNiveau+AantalStappen4Deg;
    FOR LocaalTellerNiveau := B DOWNTO TellerNiveau DO
    BEGIN
        Qc2hulp := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc;
        IF Qc2hulp < Qc2 THEN
        BEGIN
            IF (Qc2hulp < 0.9*Qc2) THEN Qc2 := 0.9*Qc2
            ELSE Qc2 := Qc2hulp;
        END;
        ArrayQc2^[LocaalTellerNiveau] := Qc2;
    END;
    TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc3gem := ArrayQc2^[TellerNiveau] ;
    B := TellerNiveau+AantalStappen4Deg;
    FOR LocaalTellerNiveau := TellerNiveau TO B DO
    BEGIN
        IntegraalQc2 := IntegraalQc2+ArrayQc2^[LocaalTellerNiveau]*(Stapgrootte*Lameldikte);
        ArrayIntegraalQc2^[LocaalTellerNiveau] := IntegraalQc2;
    END;
    Qc1gemQc2gem := 0;
    A := TellerNiveau+AantalStappen07Deg;
    B := TellerNiveau+AantalStappen4Deg;
    MinimumIndex := A ; { tijdelijk Trinity experiment}
    FOR LocaalTellerNiveau := A TO B DO
    BEGIN
        ArrayQc1gem^[LocaalTellerNiveau] :=
            ArrayIntegraalQc1^[LocaalTellerNiveau]/abs((LocaalTellerNiveau-TellerNiveau+1)*Stapgrootte*Lameldikte);
        ArrayQc2gem^[LocaalTellerNiveau] :=
            ArrayIntegraalQc2^[LocaalTellerNiveau]/abs((LocaalTellerNiveau-TellerNiveau+1)*Stapgrootte*Lameldikte);
        ArrayQc1gemQc2gem^[LocaalTellerNiveau] :=
            ArrayQc1gem^[LocaalTellerNiveau]+ArrayQc2gem^[LocaalTellerNiveau];
        IF (Qc1gemQc2gem = 0) THEN Qc1gemQc2gem := ArrayQc1gemQc2gem^[A];
        Qc1gemQc2gemhulp := ArrayQc1gemQc2gem^[LocaalTellerNiveau];
        IF Qc1gemQc2gemhulp < Qc1gemQc2gem THEN
        BEGIN
            Qc1gemQc2gem := Qc1gemQc2gemhulp;
            MinimumIndex := LocaalTellerNiveau;
        END;
        Qc1gem := ArrayQc1gem^[MinimumIndex];
        Qc2gem := ArrayQc2gem^[MinimumIndex];
        TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc2min :=
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[MinimumIndex]^Qc;
        FOR i := MinimumIndex DOWNTO TellerNiveau DO
```

```

BEGIN
  IF TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc2min >
    TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[i]^Qc THEN
    TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc2min :=
      TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[i]^Qc;
  END;
END;
Dispose(ArrayQc1gem);
Dispose(ArrayQc2gem);
Dispose(ArrayQc2);
Dispose(ArrayQc1gemQc2gem);
Dispose(ArrayQc1gemQc2gemhulp);
Dispose(ArrayIntegraalQc1);
Dispose(ArrayIntegraalQc2);
Dispose(ArrayIntegraalQc1gem);
Dispose(ArrayIntegraalQc2gem);
Dispose(ArrayIntegraalQc1gemQc2gem);
END;

PROCEDURE Qc3gem(TellerNiveau, SonderingNummer, Stapgrootte: integer; Lameldikte, Deg: real; var Qc3gem: real);
VAR
  i, B: integer;
  LocaalTellerNiveau: integer;
  AantalStappen8Deg: integer;
  TrajectIII: real;
  Qc3, Qc3hulp, IntegraalQc3: real;
BEGIN
  Qc3hulp := 0;
  IntegraalQc3 := 0;
  TrajectIII := TotaalSondering[1].TrajectIII;
  LocaalTellerNiveau := TellerNiveau;
  AantalStappen8Deg := round(TrajectIII*Deg/(Stapgrootte*Lameldikte)); (* gaat goed zolang stapgrootte = 1 *)
  Qc3 := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc2min;
  (* stapgrootte ongelijk aan 1 correctie omgekeerd evenredig *)
  IF Qc3 > TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc THEN
    Qc3 := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc;
  IF Qc3 > TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc2gem THEN
    Qc3 := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc2gem;
  B := TellerNiveau-AantalStappen8Deg+1;
  FOR LocaalTellerNiveau := TellerNiveau DOWNTO B DO
  BEGIN
    Qc3hulp := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[LocaalTellerNiveau]^Qc;
    IF Qc3hulp < Qc3 THEN Qc3 := Qc3hulp;
    IntegraalQc3 := IntegraalQc3 + Qc3 * (Stapgrootte*Lameldikte);
  END;
  Qc3gem := IntegraalQc3/(AantalStappen8Deg*(Stapgrootte*Lameldikte));
END;

```



```

PROCEDURE PositieveKleef (SonderingNummer: integer);
VAR
  i, j, teller, teller15: integer;
  TellerNiveau, MeterStappen: integer;
  Qc, HulpGemiddelde, Qcgem: real;
  test: Boolean;
BEGIN
  Print(25,19,' ');
  Print(25,20,' Bezig met berekening kleef ');
  Print(25,21,' ');
  Kader(23,18,58,22);
  MeterStappen:= round(1 / TotaalSondering[SonderingNummer].Lameldikte);
  TellerNiveau:= TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden-(MeterStappen+2);
  FOR i := TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DOWNTO TellerNiveau DO
    TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[i]^Qsd := 0;
  REPEAT
    teller15:=0;
    test:=False;
    IF TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[TellerNiveau]^Qc >= 12 THEN
      BEGIN
        IF TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[TellerNiveau]^Qc >= 15 THEN
          BEGIN
            FOR i:= (TellerNiveau+MeterStappen) DOWNTO (TellerNiveau-MeterStappen) DO
              BEGIN
                IF TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[i]^Qc >= 15 THEN
                  BEGIN
                    teller15 := teller15 + 1 ;
                    IF teller15 >= MeterStappen THEN
                      test := True
                    ELSE Qc := 12;
                  END
                ELSE
                  BEGIN
                    teller15 := 0;
                    Qc := 12;
                  END;
              END;
            END;
          ELSE Qc := 12;
          END
        ELSE Qc := TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[TellerNiveau]^Qc;
        IF test = True THEN Qc := 15;
        TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[TellerNiveau]^Qsd := Qc;
        BEGIN
          FOR i:= (TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden-(MeterStappen+2)) DOWNTO TellerNiveau DO
            BEGIN
              TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[i]^psd :=
                TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[i]^psd+
                (Qc*TotaalSondering[1].Alpha_s*TotaalSondering[1].Lameldikte*
                TotaalSondering[1].Omtrek*1000*TotaalSondering[1].Gamma_s);
            END;
          TellerNiveau:= TellerNiveau-1;
          i := TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden;
        END;
        HulpGemiddelde :=
          (TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(9*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(8*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(7*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(6*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(5*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(4*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(3*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(2*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[(TellerNiveau-(1*TotaalSondering[1].Invloedzone))]^Qc+
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[TellerNiveau]^Qc)/10;
      UNTIL (HulpGemiddelde < (TotaalSondering[1].Afbreekwaarde));
      FOR i := TellerNiveau DOWNTO 1 DO
        TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[i]^Qsd := 0;
        TotaalSondering[SonderingNummer].StartNiveauPosKleef :=
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray[TellerNiveau+1]^Niveau;
        Print(25,19,' ');
        Print(25,20,' ');
        Print(25,21,' ');
      END;
    END;
  END;
END;

```

PROCEDURE Berekeningppd;

```

VAR
  Stapgrootte: real;
  StartNiveau: integer;
  EindNiveau: integer;
  TellerNiveau, teller: integer;
  Deg: real;
  Lameldikte: real;
  f: text;
  A, B, C: real;
  SonderingNummer: integer;
  AantalMeetwaarden: integer;
  i: integer;
  percentage: integer;
  HulpStr: string;
  ch: char;

BEGIN
  FOR SonderingNummer := 1 TO AantalSonderingen DO
    BEGIN
      Deg := TotaalSondering[1].Deg;
      AantalMeetwaarden := TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden;
      A := TotaalSondering[1].A;
      B := TotaalSondering[1].B;
      C := TotaalSondering[1].C;
      StartNiveau := round((1+TotaalSondering[1].TrajectIII)*
        Deg/(TotaalSondering[1].Stapgrootte*TotaalSondering[1].Lameldikte));
      EindNiveau := AantalMeetwaarden - round((1+TotaalSondering[1].TrajectII)*
        Deg/(TotaalSondering[1].Stapgrootte*TotaalSondering[1].Lameldikte));
      FOR i := 1 TO TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DO
        BEGIN
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[i]^psd := 0;
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[i]^pd := 0;
        END;
      PositieveKleef(SonderingNummer);
      FOR TellerNiveau := 1 TO (StartNiveau - 1) DO
        BEGIN
          with TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^ DO
            BEGIN
              ppd := 0;
              Qc1gem := 0;
              Qc2gem := 0;
              Qc3gem := 0;
              Qpd := 0;
            END;
        END;
      FOR TellerNiveau := StartNiveau TO EindNiveau DO
        BEGIN
          percentage := round(100*((TellerNiveau-StartNiveau)/(EindNiveau-StartNiveau)));
          str(percentagetext,hulpstr);
          Print(25,19,'Totaalaantal sonderingen : '); write(AantalSonderingen,' ');
          Print(25,20,'Bezig met sondering : '); write(SonderingNummer,' ');
          Print(25,21,'Sondering '); write(SonderingNummer,' voltooid voor : ' + hulpstr + ' ');
          Kader(23,18,58,22);
          Qc1gemQc2gem(TellerNiveau,
            SonderingNummer,
            TotaalSondering[1].Stapgrootte,
            TotaalSondering[1].Lameldikte,
            TotaalSondering[1].Deg,
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc1gem,
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc2gem,
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc3gem);
          Qc3gem(TellerNiveau,
            SonderingNummer,
            TotaalSondering[1].Stapgrootte,
            TotaalSondering[1].Lameldikte,
            TotaalSondering[1].Deg,
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc3gem);
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qpd :=
            (A*TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc1gem +
            B*TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc2gem +
            C*TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qc3gem)*
            TotaalSondering[1].Alpha_p*TotaalSondering[1].Beta*TotaalSondering[1].s;
          IF TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qpd > 15 THEN
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qpd := 15;
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^ppd :=
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^Qpd *
            TotaalSondering[1].Opp*TotaalSondering[1].Gamma_p*TotaalSondering[1].ksi*1000; (* 1000 om van M naar k te gaan *)
          TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^pd :=
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^ppd+
            TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^psd
        END;
      FOR TellerNiveau := (EindNiveau+1) TO TotaalSondering[SonderingNummer].AantalMeetwaarden DO
    
```

```

BEGIN
  with TotaalSondering[SonderingNummer].NiveauArray^[TellerNiveau]^ DO
  BEGIN
    ppd := 0;
    Qc1gem := 0;
    Qc2gem := 0;
    Qc3gem := 0;
    Qpd := 0;
  END;
END;

END;
Print(24,19,'@
Print(24,20,#7+'@      Berekening voltooid      @');
Print(24,21,'@      @');
Print(36,23,'Toets Enter');
REPEAT UNTIL keypressed;
ch := readkey;
END;

```

```

(* ***** resutaten op beeldscherm ***** *)

PROCEDURE BeeldschermIngelezenData;
VAR
  teller1, teller2: integer;
  ch: char;

BEGIN
  clrscr;
  writeln('Aantal sonderingen      ',AantalSonderingen:2);
  writeln('Paalpunt oppervak        ',TotaalSondering[1].Opp:6:4);
  writeln('Deq                          ',TotaalSondering[1].Deq:6:4);
  writeln('Lameldikte                    ',TotaalSondering[1].Lameldikte:6:2);
  writeln('Alpha_p                       ',TotaalSondering[1].Alpha_p:6:2);
  writeln('Beta                          ',TotaalSondering[1].Beta:6:2);
  writeln('s                              ',TotaalSondering[1].s:6:2);
  writeln('Gamma;m;b                     ',TotaalSondering[1].Gamma_p:6:2);
  writeln('ksi                           ',TotaalSondering[1].ksi:6:2);
  writeln('A                              ',TotaalSondering[1].A:6:2);
  writeln('B                              ',TotaalSondering[1].B:6:2);
  writeln('C                              ',TotaalSondering[1].C:6:2);
  writeln('O,7Deq                        ',TotaalSondering[1].TrajectI:6:2);
  writeln('4Deq                          ',TotaalSondering[1].TrajectII:6:2);
  writeln('8Deq                          ',TotaalSondering[1].TrajectIII:6:2);
  writeln('αs                            ',TotaalSondering[1].Alpha_s:6:4);
  writeln('Invloedzone afbreekwaarde',TotaalSondering[1].Invloedzone:6);
  writeln('Afbreekwaarde invloedzone',TotaalSondering[1].Afbreekwaarde:6:2);
  writeln('Startniveau pos. kleef      ',TotaalSondering[1].StartNiveauPosKleef:6:2);
  writeln('Omtrek paal                 ',TotaalSondering[1].Omtrek:6:4);
  writeln('Gamma;m;s                   ',TotaalSondering[1].Gamma_s:6:2);
  REPEAT UNTIL keypressed;
  ch := readkey;
  FOR teller1 := 1 TO AantalSonderingen DO
  BEGIN
    clrscr;
    writeln('SonderingNummer ',teller1);
    writeln('aantal meetwaarden',TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden:10);
    writeln('  Niveau      Qc      ');
    writeln('  [m]         [MPa]  ');
    FOR teller2 := 1 TO TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden DO
    BEGIN
      BEGIN
        write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Niveau:10:2);
        write(' ');
        writeln(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc:10:2);
      END;
      IF ((teller2)MOD(20)=0)
      THEN
      BEGIN
        REPEAT UNTIL keypressed;
        ch := readkey;
        clrscr;
        writeln('SonderingNummer ',teller1);
        writeln('  Niveau      Qc      ');
        writeln('  [m]         [MPa]  ');
      END;
    END;
  END;
END;
END;
END;

```

PROCEDURE BeeldschermResultatenBerekeningen;

VAR

teller1, teller2: integer;
ch: char;

BEGIN

```

clrscr;
writeln('Aantal sonderingen', AantalSonderingen:2);
writeln('Paalpunt oppervlak', TotaalSondering[1].Opp:6:4);
writeln('Deq', TotaalSondering[1].Deq:6:4);
writeln('Lameldikte', TotaalSondering[1].Lameldikte:6:2);
writeln('Alpha_p', TotaalSondering[1].Alpha_p:6:2);
writeln('Beta', TotaalSondering[1].Beta:6:2);
writeln('s', TotaalSondering[1].s:6:2);
writeln('Gamma;m;b', TotaalSondering[1].Gamma_p:6:2);
writeln('ksi', TotaalSondering[1].ksi:6:2);
writeln('A', TotaalSondering[1].A:6:2);
writeln('B', TotaalSondering[1].B:6:2);
writeln('C', TotaalSondering[1].C:6:2);
writeln('0,7Deq', TotaalSondering[1].TrajectI:6:2);
writeln('4Deq', TotaalSondering[1].TrajectII:6:2);
writeln('8Deq', TotaalSondering[1].TrajectIII:6:2);
writeln('αs', TotaalSondering[1].Alpha_s:6:4);
writeln('Invloedzone afbreekwaarde', TotaalSondering[1].Invloedzone:6);
writeln('Afbreekwaarde Invloedzone', TotaalSondering[1].Afbreekwaarde:6:2);
writeln('Startniveau pos. kleef', Totaalsondering[1].StartNiveauPosKleef:6:2);
writeln('Omtrek paal', TotaalSondering[1].Omtrek:6:4);
writeln('Gamma;m;s', TotaalSondering[1].Gamma_s:6:2);

```

REPEAT UNTIL keypressed;

ch := readkey;

FOR teller1 := 1 TO AantalSonderingen DO

BEGIN

```

clrscr;
writeln('SonderingNummer ', teller1);
writeln('aantal meetwaarden', TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden:10);
writeln('Niveau Qc Qc1gem Qc2gem Qc3gem Qpd ppd psd pd');
writeln(' [m] [MPa] [MPa] [MPa] [MPa] [kPa] [kN] [kN] [kN]');

```

FOR teller2 := 1 TO TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden DO

BEGIN

```

write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Niveau:6:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc:8:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc1gem:8:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc2gem:8:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc3gem:8:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qpd:8:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^ppd:8:2);
write(' ');
write(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^psd:8:2);
write(' ');
writeln(TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^pd:8:2);

```

END;

IF ((teller2)MOD(20)=0)

THEN

BEGIN

REPEAT UNTIL keypressed;

ch := readkey;

clrscr;

writeln('SonderingNummer ', teller1);

```

writeln('Niveau Qc Qc1gem Qc2gem Qc3gem Qpd ppd psd pd');
writeln(' [m] [MPa] [MPa] [MPa] [MPa] [kPa] [kN] [kN] [kN]');

```

END;

END;

END;

END;

```
(* ***** wegschrijven naar file ***** *)
```

```
PROCEDURE UitvoerASCIIfile;
```

```
VAR
```

```
  Filenaam: string;
  f: text;
  ch: char;
  NoStop: Boolean;
  Result, teller, teller1, teller2, x, y: integer;
  SonderingNummer, SonderingTeller, AantalKopregels, PositieTeller: integer;
  Percentage: integer;
  HulpStr: string;
```

```
BEGIN
```

```
  REPEAT
```

```
    Filenaam := '';
    Print(5,23,'ESC = terug naar menu');
    Print(5,22,'Geef naam van outputfile : ');
```

```
  REPEAT
```

```
    REPEAT UNTIL keypressed;
    ch := Readkey;
    IF (ch <> #27) AND (ch <> #13) THEN {#27 = Esc, #13 =Enter}
```

```
    BEGIN
```

```
      IF (ch = #8) THEN {#8 = BackSpace}
```

```
      BEGIN
```

```
        IF (Length(Filenaam) > 0) THEN
```

```
        BEGIN
```

```
          x := WhereX;
```

```
          Delete(Filenaam,Length(Filenaam),1);
```

```
          GotoXY(x-1,WhereY);
```

```
          write(' ');
```

```
          GotoXY(x-1,WhereY);
```

```
        END;
```

```
      END
```

```
    ELSE
```

```
    BEGIN
```

```
      Filenaam := Filenaam + ch;
```

```
      write(ch);
```

```
    END;
```

```
  END;
```

```
  UNTIL (ch = #27) OR (ch = #13);
```

```
  IF ch = #27 THEN
```

```
    Filenaam := '.dummy';
```

```
  NoStop := False;
```

```
  IF CheckfileName(Filenaam) THEN
```

```
    NoStop := CheckWriteFile(Filenaam);
```

```
  UNTIL (ch = #27) OR NoStop;
```

```
  IF (ch = #27) THEN
```

```
    Exit;
```

```
  Print(3,22,'
```

```
');
```

```
  Print(3,23,'
```

```
');
```

```
  {Nu gaan we echt wegschrijven }
```

```
  FOR teller := 1 TO Length(Filenaam) DO
```

```
    Filenaam[teller] := UpCase(Filenaam[teller]);
```

```
  Assign(f,Filenaam);
```

```
  Rewrite(f);
```

```
  writeln(f,AantalSonderingen:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Opp:6:4);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Deq:6:4);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Lameldikte:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Alpha_p:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Beta:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].s:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Gamma_p:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].ksi:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].A:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].B:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].C:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].TrajectI:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].TrajectII:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].TrajectIII:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Alpha_s:6:4);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Invloedzone:6);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Afbreekwaarde:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].StartNiveauPosKleef:6:2);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Omtrek:6:4);
```

```
  writeln(f,TotaalSondering[1].Gamma_s:6:2);
```

```

FOR teller1 := 1 TO AantalSonderingen DO
BEGIN
  writeln(f,teller1);
  writeln(f,TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden:10);
  FOR teller2 := 1 TO TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden DO
  BEGIN
    percentage := round(100*(teller2/TotaalSondering[teller1].AantalMeetwaarden));
    Str(percentge,HulpStr);
    Print(25,19,'Totaalaantal sonderingen : '); write (AantalSonderingen,' ');
    Print(25,20,'Bezig met sondering: '); write(teller1,' ');
    Print(25,21,'Sondering '); write(teller1,' voltooid voor : '+hulpstr+ ' %');
    Kader(23,18,58,22);
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Niveau:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc1gem:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc2gem:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qc3gem:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qpd:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^ppd:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^Qsd:8:2);
    write(f,' ');
    write(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^psd:8:2);
    write(f,' ');
    writeln(f,TotaalSondering[teller1].NiveauArray^[teller2]^pd:8:2);
  END;
END;
Close(f);
Print(24,19,'@');
Print(24,20,'#7+'@      Wegschrijven voltooid      @');
Print(24,21,'@');
Print(36,23,'Toets Enter');
REPEAT UNTIL keypressed;
ch := readkey;
END;

```

```
(* ***** Menu structuur ***** *)
```

```
PROCEDURE ActueleFilenaamScherM;
```

```
BEGIN
  IF AlIngelezen = True THEN
    BEGIN
      Print(46,4,'Geladen File '); Write(FilenaamScherM);
    END;
  END;
END;
```

```
PROCEDURE SubMenuInvoerFile;
```

```
VAR
  s: string;
  stop: Boolean;
  f: integer;

BEGIN
  stop := False;
  REPEAT
    clrscr;
    ActueleFilenaamScherM;
    Kader(1,1,80,24);
    Print(5,2,'Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994');
    Print(15,5,'Submenu Invoer:');
    Print(15,9,'@1@ NENGeo file');
    Print(15,11,'@2@ ASCII sonderingfile');
    Print(15,13,'@3@ ASCII file');
    Print(15,17,'@0@ Terug naar Hoofdmenu');
    Print(15,19,'Voer het nummer van uw keuze in: ');
    readln(s);
    f := round(getal(s));
    CASE f OF
      1: BEGIN
        InlezenNENGeoFile;
        AlIngelezen := True;
        stop := True;
      END;
      2: BEGIN
        InlezenASCIISonderingFile;
        AlIngelezen := True;
        stop := True;
      END;
      3: BEGIN
        InlezenASCIIFile;
        AlIngelezen := True;
        stop := True;
      END;
      0: stop := True;
    END; (* END CASE *)
  UNTIL stop;
END; (* END SubMenu *)
```



```
PROCEDURE SubMenuParametersKoppejan;
```

```
VAR
```

```
  s: string;
  stop, ParInstSt: Boolean;
  f: integer;
```

```
BEGIN
```

```
  ParInstSt := True;
```

```
  stop := False;
```

```
  REPEAT
```

```
    clrscr;
```

```
    ActueleFilenaamScher;
```

```
    Kader(1,1,80,24);
```

```
    Print(5,2,'Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994');
```

```
    Print(15,5,'Submenu instelling parameters Koppejan:');
```

```
    Print(15,7,'@1)@ Parameterinstelling standaard');
```

```
    Print(15,9,'@2)@ Handmatig invoeren eigen parameterinstelling');
```

```
    Print(15,11,'@0)@ Terug naar Hoofdmenu');
```

```
    Print(15,13,'Voer het nummer van uw keuze in: ');
```

```
    readln(s);
```

```
    f := round(getal(s));
```

```
    CASE f OF
```

```
      1: BEGIN
```

```
        ParameterInstellingStandaard(ParInstSt);
```

```
        AlIngelezen2 := True;
```

```
        stop := True;
```

```
      END;
```

```
      2: BEGIN
```

```
        ParameterInstellingHandmatig;
```

```
        AlIngelezen2 := True;
```

```
        stop := True;
```

```
      END;
```

```
      0: stop := True;
```

```
    END; (* END CASE *)
```

```
  UNTIL stop;
```

```
END; (* end SubMenuParameterInstellingKoppejan *)
```

```
PROCEDURE SubMenuUitvoerBeeldscherm;
```

```
VAR
```

```
  s: string;
  stop: Boolean;
  f: integer;
```

```
BEGIN
```

```
  stop := False;
```

```
  REPEAT
```

```
    clrscr;
```

```
    ActueleFilenaamScher;
```

```
    Kader(1,1,80,24);
```

```
    Print(5,2,'Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994');
```

```
    Print(15,5,'Submenu Beeldscherm:');
```

```
    Print(15,7,'@1)@ Ingelezen data');
```

```
    Print(15,9,'@2)@ Resultaten berekeningen');
```

```
    Print(15,11,'@0)@ Terug naar Hoofdmenu');
```

```
    Print(15,17,'Voer het nummer van uw keuze in: ');
```

```
    readln(s);
```

```
    f := round(getal(s));
```

```
    CASE f OF
```

```
      1: BeeldschermIngelezenData;
```

```
      2: BeeldschermResultatenBerekeningen;
```

```
      0: stop := True;
```

```
    END;
```

```
  UNTIL stop;
```

```
END; { end SubMenuUitvoerBeeldscherm }
```

```

PROCEDURE SubMenuUitvoer;
VAR
  s: string;
  stop: Boolean;
  f: integer;
  ch: char;

BEGIN
  stop := False;
  REPEAT
    clrscr;
    ActueleFilenaamScher;
    Kader(1,1,80,24);
    Print(5,2,'Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994');
    Print(15,5,'Submenu Uitvoer:');
    Print(15,7,'@1)@ Beeldscherm');
    Print(15,9,'@2)@ ASCII file');
    Print(15,11,'@0)@ Terug naar Hoofdmenu');
    Print(15,15,'Voer het nummer van uw keuze in: ');
    readln(s);
    f := round(getal(s));
  CASE f OF
    1: BEGIN
        SubMenuUitvoerBeeldscherm;
        stop := True;
      END;
    2: BEGIN
        UitvoerASCIIfile;
        stop := True;
      END;
    0: stop := True;
  END; (* end case *)
  UNTIL stop;
END; (* end SubMenuUitvoer *)

```

```

PROCEDURE HoofdMenu;
VAR
  s: string;
  stop: Boolean;
  f: integer;
  x: real;
  ch: char;

BEGIN
  stop := False;
  REPEAT
    clrscr;
    Kader(1,1,80,24);
    ActueleFilenaamSchermb;

    Print(5,2,'Berekening paal draagvermogen m.b.v. Koppejan door Eduard van Herk 1994');
    Print(15,5,'Hoofdmenu:');
    Print(15,7,'@1@ Invoer sonderingdata');
    Print(15,9,'@2@ Instelling parameters Koppejan');
    Print(15,11,'@3@ Berekenen');
    Print(15,13,'@4@ Uitvoer resultaten');
    Print(15,15,'@0@ Stoppen programma');
    Print(15,17,'Voer het nummer van uw keuze in: ');
    readln(s);
    x := (getal(s));
    f := round(x);
    CASE f OF
      1: SubMenuInvoerFile;
      2: BEGIN
          IF AlIngelezen THEN
            SubMenuParametersKoppejan
          ELSE
            BEGIN
              Print(5,22,'@U heeft nog geen sonderingdata ingelezen@');
              delay(5000);
            END;
          END;
      3: IF (AlIngelezen) AND (AlIngelezen2) THEN Berekeningppd
          ELSE
            BEGIN
              Print(4,22,'@U heeft nog geen sonderingdata of instelling parameters Koppejan ingelezen@');
              delay(5000);
            END;
      4: SubMenuUitvoer;
      0: BEGIN
          Kader(23,18,58,22);
          Print(24,19,'@');
          Print(24,20,'@7+@ Wilt u stoppen ? @');
          Print(24,21,'@');
          Print(15,23,'Toets Enter voor Stoppen Esc voor terug naar menu.');

```

```

(* ***** Hoofdprogramma ***** *)

```

```

BEGIN
  fillchar(TotaalSondering,sizeof(TotaalSondering),0);
  HoofdMenu;
  clrscr;
END.

```

```

(* ***** End Program Koppejan ***** *)

```

