

# Richtlijnen voor de toepassing van Eurocode 7 in België

## Deel 1 : Het grondmechanisch ontwerp in uiterste grenstoestand van axiaal op druk belaste funderingspalen



Versie maart 2008



Voorliggende richtlijnen werden opgesteld onder leiding van de WTCB Werkgroep "Eurocode 7 - Palen" samengesteld uit :

- Areias, L. (RUG)
- Bauduin, C. (Besix & BGGG)
- Bottiau, M. (Franki Geotechnics B. & ABEF)
- Cloet, B. (Votquenne)
- Debacker, P. (Regie der Gebouwen)
- De Cock, F. (Geo.be & ABEF)
- De Vos, M. (WTCB)
- D'Hoore, S. (Adinco)
- Dupont, E. (Fundex & ABEF)
- Holeyman, A. (UCL)
- Hoppenbrouwers, W. (Seco)
- Huybrechts, N. (WTCB)
- Imbo, R. (Franki Geotechnics B.)
- Legrand, C. (WTCB)
- Maertens, J. (Jan Maertens bvba & KUL)
- Peiffer, H. (Alpha Studiebureau)
- Poorteman, F. (De Waal)
- Simon, G. (Ministère de l'Équipement et du Transport)
- Thoof, K. (WenK)
- Trève, C. (CFE)
- Van Alboom, G. (Vlaamse Overheid – Departement Mobiliteit en Openbare Werken)
- Vandemeulebroecke, S. (Planet Engineering)
- Zaczek, Y. (Tractebel)

Ze zijn gebaseerd op de op dit moment beschikbare literatuur- en proefgegevens omtrent het draagvermogen van funderingspalen. Er is getracht om zo bruikbaar mogelijke richtlijnen op te stellen. Niettemin kunnen de leden van de Werkgroep geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventueel in dit document voorkomende onvolkomenheden.

Voorliggende richtlijnen kunnen vanaf publicatie in België toegepast worden voor het grondmechanisch ontwerp in uiterste grenstoestand (UGT) van axiaal op druk belaste palen. Eén jaar na het verschijnen wordt een evaluatie van deze richtlijnen gemaakt door de Werkgroep en worden ze indien nodig bijgewerkt.



## Inhoud

|   |    |
|---|----|
| Voorwoord .....   | 4  |
| 1. Inleiding .....  | 5  |
| 2. Definities en symbolen .....   | 6  |
| 2.1 Definities .....  | 6  |
| 2.2 Symbolen.....   | 9  |
| 3. Overzicht van de berekeningsmethodiek .....  | 10 |
| 3.1 Algemeen.....   | 10 |
| 3.2 Rekenwaarde van de belasting .....  | 11 |
| 3.3 Rekenwaarde van het draagvermogen .....   | 12 |
| 3.4 Grondonderzoek.....   | 14 |
| 4. Rekenwaarde van het draagvermogen.....   | 15 |
| 4.1 Puntweerstand.....  | 15 |
| 4.2 Wrijvingsweerstand .....  | 17 |
| 4.3 Totaal draagvermogen .....  | 20 |
| 4.4 Karakteristieke waarde van het draagvermogen .....  | 21 |
| 4.5 Rekenwaarde van het draagvermogen.....  | 23 |
| Referenties.....  | 24 |
| Bijlage 1 : Voorwaarden voor de toepassing van een gereduceerde<br>modelfactor $\gamma_{Rd2}$ .....               | 25 |
| Bijlage 2 : Voorwaarden voor de toepassing van verhoogde<br>installatiefactoren $\alpha_b$ en/of $\alpha_s$ ..... | 27 |



## Voorwoord

Eurocode 7 – Deel 1 “ Geotechnisch ontwerp – Algemene regels” is in 2005 verschenen als Belgische norm NBN EN 1997-1.

Binnenkort verschijnt ook de Belgische Nationale Bijlage hiervan (NBN EN 1997-1 ANB), die o.a. een aantal keuzes en waarden vastlegt op nationaal niveau, maar bijvoorbeeld geen berekeningsmethoden bepaalt.

Parallel hiermee worden richtlijnen uitgewerkt die de toepassing van de Eurocode 7 in België op een gedetailleerde en pragmatische manier beschrijven. Deze activiteiten worden uitgevoerd in de schoot van een interprofessionele WTCB Werkgroep “Eurocode 7”. Heel wat input voor de commissiewerkzaamheden volgde uit de resultaten van diverse prenormatieve onderzoeksprojecten die georganiseerd werden door het WTCB en die mede gefinancierd werden door de Federale Overheidsdienst Economie en de ABEF.

Voorliggend document is het eerste deel van deze richtlijnen en licht het grondmechanisch UGT-ontwerp toe van axiaal op druk belaste funderingspalen.

Met de publicatie van dit document zal de praktijk van het ontwerp van axiaal belaste palen fundamenteel wijzigen. Er wordt overgestapt van een deterministische methode naar een semi-probabilistische aanpak. Er worden procedures voorzien voor het optimaliseren van het ontwerp en het valoriseren van investeringen in een kwaliteitsvolle uitvoering. Er wordt bovendien een kader geschepd voor de ontwikkeling van nieuwe systemen.



# 1. Inleiding

Dit document beschrijft het grondmechanisch ontwerp in uiterste grenstoestand van axiaal op druk belaste funderingspalen, gebaseerd op de resultaten van statische sonderingen (CPT's).

Volgende aspecten worden niet behandeld in dit document :

- ⇒ de controle van het funderingselement op zich volgens de betreffende Eurocode (Eurocode 2 voor betonnen palen, Eurocode 3 voor stalen palen,...),
- ⇒ de controle van de zettingen (bruikbaarheidsgrenstoestand én uiterste grenstoestand waarbij de bovenliggende constructie zou begeven door te grote (differentiële) zettingen van de palen),
- ⇒ belastingen, andere dan axiale druk (horizontaal, trek, cyclisch, dynamisch,...),
- ⇒ het draagvermogen van paalgroepen,
- ⇒ het draagvermogen van "*piled raft foundations*",
- ⇒ de invloed van negatieve kleef,
- ⇒ de invloed van ontgravingen,
- ⇒ de controle op doorponsen.

De ontwerper dient deze aspecten, indien van toepassing, te verifiëren.

In sommige gevallen, bv. voor palengroepen aangezet in of boven sterk samendrukbare grondlagen, voor boorpalen waarbij het draagvermogen voornamelijk van de puntweerstand afkomstig is of bij sterk zettingsgevoelige constructies, kan de bruikbaarheidsgrenstoestand maatgevend zijn.

Een goed ontwerp is gebaseerd op een degelijk grondonderzoek. Daarbij moet bijzondere aandacht gaan naar de kwaliteit, de uitgebreidheid en de rapportage van het onderzoek. Richtlijnen hiervoor worden gegeven in Deel 2 van Eurocode 7 "Geotechnisch ontwerp - Grondonderzoek en beproeving" (NBN EN 1997-2), waaraan ook een Belgische Nationale Bijlage zal toegevoegd worden (NBN EN 1997-2 ANB).

Bij het opstellen van de richtlijnen werd ervan uitgegaan dat de palen worden uitgevoerd volgens de geldende uitvoeringsnormen, door gekwalificeerd personeel en met aangepast materiaal en materieel en dat de uitvoering degelijk wordt gecontroleerd en gemonitord.

De Eurocodes én deze richtlijnen zijn geldig voor courante constructies en ontwerpcondities en vervangen geenszins het "*engineering judgement*".

De richtlijnen zijn geldig voor constructies van Geotechnische Categorie 2, zoals vermeld in Eurocode 7 § 2.1. Voor uitzonderlijke constructies of



condities zullen de Eurocodes en de richtlijnen met speciale aandacht voor de bijzonderheden van het project geëvalueerd en desgevallend aangepast en/of aangevuld moeten worden.

De waarden van de veiligheidsfactoren zijn gebaseerd op een normaal aanvaardbaar veiligheidsniveau. In sommige gevallen kan het aangewezen of toegelaten zijn om het betrouwbaarheidsniveau te verhogen, respectievelijk te verlagen. Aanwijzingen omtrent de keuze van het betrouwbaarheidsniveau en de wijze waarop dit bereikt kan worden, worden gegeven in NBN EN 1990 en de bijbehorende Nationale Bijlage.

Deze richtlijnen zijn geldig voor funderingspalen met een lengte die minstens 7 maal de diameter van de paal bedraagt.

## **2. Definities en symbolen**

### **2.1 Definities**

#### Algemeen :

Voor de algemene definities wordt verwezen naar NBN EN 1990 en NBN EN 1997 – 1.

#### Paalpuntniveau en paalbasisdiameter :

Het niveau van de paalpunt wordt gedefinieerd als het laagste niveau waarop de paalbasis zijn volledige sectie heeft. Merk op dat voor sommige paaltypes het paalpuntniveau niet overeenstemt met de fysische onderkant van de paal, zoals geïllustreerd in figuur 1.

De paalbasisdiameter  $D_b$  is gelijk aan de maximum buitendiameter van de paalbasis.

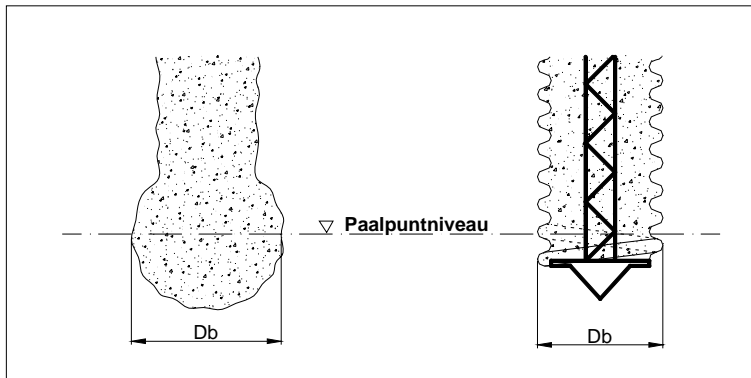


Fig 1 : Voorbeeld van de definitie van het paalpuntniveau en de paalbasisdiameter

Voor palen met een verbrede voetplaat moet deze voetplaat voldoende stijf zijn om te weerstaan aan de krachten waaraan ze onderhevig is tijdens de uitvoering van de paal én tijdens het latere gebruik.

#### Paalbasisoppervlakte :

De paalbasisoppervlakte  $A_b$  wordt voor de verschillende paalbasisvormen als volgt bepaald :

- ⇒ voor een cirkelvormige sectie :  $A_b = \frac{\pi \cdot D_b^2}{4}$
- ⇒ voor een vierkante of rechthoekige sectie :  $A_b = a \cdot b$  met  $a$  en  $b$  respectievelijk de korte en de lange zijde van de rechthoekige sectie
- ⇒ voor een I-profiel of damplank :  $A_b =$  de staalsectie
- ⇒ voor een open buispaal, situatie zonder propvorming (zie verder) :  $A_b =$  de staalsectie
- ⇒ voor een open buispaal, situatie met propvorming (zie verder) :  
 $A_b = \frac{\pi \cdot D_b^2}{4}$

#### Equivalentente paalbasisdiameter :

Voor de bepaling van  $q_b$ ,  $\varepsilon_b$  en  $\lambda$  (zie § 4.1) wordt een equivalentente paalbasisdiameter  $D_{b,eq}$  ingevoerd :

- ⇒ voor een cirkelvormige sectie :  $D_{b,eq} = D_b$
- ⇒ voor een vierkante of rechthoekige sectie :

$$D_{b,eq} = \sqrt{\frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi}} \quad \text{indien } b \leq 1.5 a$$

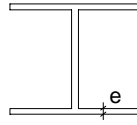
$$D_{b,eq} = \sqrt{\frac{6 \cdot a^2}{\pi}} \quad \text{indien } b > 1.5 a$$

met  $a$  en  $b$  respectievelijk de korte en de lange zijde van de rechthoekige sectie

- ⇒ voor een I-profiel of damplank :  $D_{b,eq} = \sqrt{\frac{6 e^2}{\pi}}$



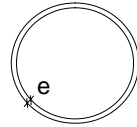
met  $e$  de dikte van de flenzen



⇒ voor een open buispaal, situatie zonder propvorming (zie verder) :

$$D_{b,eq} = \sqrt{\frac{6 e^2}{\pi}}$$

met  $e$  de dikte van het staal



⇒ voor een open buispaal, situatie met propvorming (zie verder) :

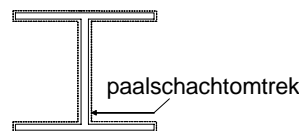
$$D_{b,eq} = D_b$$

⇒ voor andere secties dient  $D_{b,eq}$  bepaald te worden op basis van voorgaande regels en "*engineering judgement*"

### Paalschachtomtrek :

De paalschachtomtrek  $\chi_s$  wordt voor de verschillende paaltypes als volgt bepaald :

- ⇒ voor prefabpalen : de omtrek van de nominale sectie van de paalschacht
- ⇒ voor geheide in de grond gevormde palen : de buitenomtrek van de voerbuis
- ⇒ voor I-profielen en damplanken : de totale omtrek van de staalsectie



- ⇒ voor open buispalen, situatie zonder propvorming (zie verder) : de som van de binnen- en buitenomtrek van de buis
- ⇒ voor open buispalen, situatie met propvorming (zie verder) : de buitenomtrek van de buis
- ⇒ voor stalen palen, onderaan afgesloten : de buitenomtrek van de buis
- ⇒ voor schroefpalen met schacht in plastisch beton : de maximale buitenomtrek van het teruggetrokken systeem (buis of verdringsboor) – de in rekening te brengen breedte van de flenzen bedraagt maximum 10 cm (bv. 36/56)
- ⇒ voor schroefpalen met verloren voerbuis : de buitenomtrek van de verloren voerbuis
- ⇒ voor CFA-palen zonder voerbuis : de maximum buitenomtrek van het schroefblad
- ⇒ voor verbuisde CFA-palen of boorpalen met voerbuis : de maximum buitenomtrek van de voerbuis
- ⇒ voor boorpalen zonder voerbuis : de maximum buitenomtrek van de boorkop





## 2.2 Symbolen

Voor de gebruikte symbolen wordt verwezen naar NBN EN 1990 en NBN EN 1997 – 1. Voor de duidelijkheid worden hieronder een aantal van deze symbolen overgenomen en een aantal bijkomende symbolen, specifiek voor dit document, weergegeven :

|                 |   |
|-----------------|---|
| $A_b$           | paalbasisoppervlakte  |
| $a$             | korte zijde van een rechthoekige paalbasis  |
| $b$             | lange zijde van een rechthoekige paalbasis  |
| $D_b$           | paalbasisdiameter   |
| $D_{b,eq}$      | equivalente paalbasisdiameter   |
| $D_c$           | diameter van de conus van een CPT   |
| $D_s$           | diameter van de paalschacht   |
| $e$             | dikte van de flenzen van een stalen profiel of dikte van het staal bij een open buispaal  |
| $F$             | belasting   |
| $F_c$           | axiale drukbelasting (Eng : <i>axial compression load</i> )   |
| $F_d$           | rekenwaarde van de belasting (Eng : <i>design value of an action</i> )  |
| $F_k$           | karacteristieke waarde van de belasting   |
| $F_{rep}$       | representatieve waarde van de belasting   |
| $h$             | dikte van een grondlaag   |
| $q_b$           | eenheidspuntweerstand   |
| $q_c$           | conusweerstand  |
| $q_s$           | eenheidswrijvingsweerstand  |
| $R$             | weerstand   |
| $R_b$           | puntweerstand   |
| $R_c$           | weerstand van de grond tegen druk (= draagvermogen van de grond bij op druk belaste palen) (Eng : <i>compressive resistance</i> ) |
| $R_{cal}$       | gekalibreerde weerstand   |
| $R_d$           | rekenwaarde van de weerstand (Eng : <i>design value of the pile resistance</i> )  |
| $R_i$           | weerstand (draagvermogen) van de grond overeenkomstig de resultaten van de statische sondering $i$                                |
| $R_k$           | karacteristieke waarde van de weerstand van de grond  |
| $R_m$           | gemeten waarde van de weerstand   |
| $R_s$           | wrijvingsweerstand  |
| $\alpha_b$      | installatiefactor met betrekking tot de puntweerstand   |
| $\alpha_s$      | installatiefactor met betrekking tot de wrijvingsweerstand  |
| $\beta$         | vormfactor voor een niet-cirkelvormige of niet-vierkante paalbasis  |
| $\varepsilon_b$ | factor met betrekking tot de invloed van de gescheurdheid van de grond op de puntweerstand  |



|               |   |
|---------------|---|
| $\gamma_b$    | partiële factor voor de puntweerstand, die rekening houdt met de kans op ongunstige afwijkingen van de werkelijke puntweerstand t.o.v. de karakteristieke waarde  |
| $\gamma_F$    | partiële factor voor de belastingen, die rekening houdt met de kans op ongunstige afwijkingen van de werkelijke belasting t.o.v. de representatieve waarde ; de factor houdt ook rekening met onzekerheden op het model waarmee de belasting bepaald werd en met geometrische variaties |
| $\gamma_{Rd}$ | modelfactor   |
| $\gamma_s$    | partiële factor voor de wrijvingsweerstand, die rekening houdt met de kans op ongunstige afwijkingen van de werkelijke wrijvingsweerstand t.o.v. de karakteristieke waarde  |
| $\eta^*_{p}$  | factor die de grondsoortafhankelijke verhouding geeft tussen de conusweerstand en de eenheidswrijvingsweerstand (onafhankelijk van het paaltype)  |
| $\lambda$     | reductiefactor voor palen met een verbrede basis  |
| $\kappa$      | factor  |
| $\mu$         | factor  |
| $\nu$         | factor  |
| $\omega$      | conversiefactor in rekening te brengen bij statische sonderingen met mechanische conus  |
| $\xi$         | correlatiefactor die o.a. rekening houdt met de variatie van de grondkarakteristieken over het terrein  |
| $\chi_s$      | paalschachtomtrek   |

### 3. Overzicht van de berekeningsmethodiek

#### 3.1 Algemeen

Om aan te tonen dat een paalfundering de voorziene belastingen kan opnemen met voldoende veiligheid tegen grondmechanisch bezwijken, moet aan onderstaande ongelijkheid voldaan worden [NBN EN 1997-1 § 7.6.2.1 (1)] :

$$F_{c,d} \leq R_{c,d} \quad (1)$$

met :

$F_{c,d}$  de rekenwaarde van de axiale drukbelasting op de paalfundering



$R_{c,d}$  de rekenwaarde van het draagvermogen van de grond bij op druk belaste palen

De rekenwaarde van de axiale drukbelasting  $F_{c,d}$  wordt bepaald door de representatieve waarde van de belasting te vermenigvuldigen met een belastingsfactor  $\gamma_F$  (zie § 3.2).

De rekenwaarde van het draagvermogen van de grond  $R_{c,d}$  wordt bepaald door de karakteristieke waarde van het draagvermogen te delen door een weerstandsfactor  $\gamma_b$  (voor de puntweerstand) of  $\gamma_s$  (voor de wrijvingsweerstand) (zie § 3.3 en 4).

Wat betreft de waarden van deze belastings- en weerstandsfactoren, werd beslist om in België Ontwerpbenadering 1 ("*Design Approach 1*") uit Eurocode 7-1 [NBN EN 1997-1 § 2.4.7.3.4.2] te weerhouden. Dit houdt in dat in beginsel vergelijking (1) moet worden nagezien voor twee sets van partiële factoren, waarbij de eerste (DA1/1 "*Design Approach 1 – Combination 1*") staat voor de veiligheid t.o.v. ongunstige afwijkingen van de belastingen en de tweede (DA1/2 "*Design Approach 1 – Combination 2*") staat voor de veiligheid t.o.v. ongunstige afwijkingen van de weerstand. Voor de bepaling van het draagvermogen van axiaal belaste palen zal echter steeds de combinatie 2 maatgevend zijn. Verder in de tekst ligt het accent daarom voornamelijk op de combinatie 2. Voor de structurele berekening van de paal zelf, zal echter combinatie 1 maatgevend zijn.

### **3.2 Rekenwaarde van de belasting**

Zoals hoger vermeld, wordt de rekenwaarde van de belasting bepaald door de representatieve waarde van de belastingen te vermenigvuldigen met partiële belastingsfactoren :

$$F_{c,d} = F_{c,rep} * \gamma_F \quad (2)$$

De in België in rekening te brengen waarden voor de belastingsfactoren zijn vastgelegd in NBN EN 1990 ANB. Voor blijvende en tijdelijke ontwerptoestanden worden de waarden in tabel 1 overgenomen. Voor accidentele ontwerptoestanden worden alle belastingsfactoren gelijk aan 1.00 gesteld.

Voor de geotechnische dimensionering van de paalfundering is, zoals reeds vermeld, combinatie 2 maatgevend.



| Belasting |                          | Combinatie          |                         |
|-----------|--------------------------|---------------------|-------------------------|
|           |                          | 1                   | 2                       |
| Permanent | Ongunstig <sup>(1)</sup> | 1.35                | 1.00                    |
|           | Gunstig <sup>(2)</sup>   | 1.00                | 1.00                    |
| Variabel  | Ongunstig <sup>(1)</sup> | 1.50 <sup>(4)</sup> | 1.10 <sup>(3) (4)</sup> |
|           | Gunstig <sup>(2)</sup>   | 0.00                | 0.00                    |

<sup>(1)</sup> destabiliserend  
<sup>(2)</sup> stabiliserend  
<sup>(3)</sup> waarde wijkt af van de informatieve waarde in tabel A.3 van EN 1997-1  
<sup>(4)</sup> Voor voor bruggen geldt volgens Bijlage A2 van EN 1990 een afwijkende waarde : combinatie 1 →  $\gamma_F = 1.35$  (wegverkeer) of 1.45 (spoorverkeer) i.p.v. 1.50. Analoog wordt voor combinatie 2  $\gamma_F = 1.00$  (wegverkeer) of 1.07 (spoorverkeer) gesteld.

Tabel 1 : Belastingsfactoren  $\gamma_F$

Tenzij uitdrukkelijk vermeld, wordt er geen rekening gehouden met het eigengewicht van de paal.

### 3.3 Rekenwaarde van het draagvermogen

De bepaling van de rekenwaarde van het draagvermogen van een paalfundering wordt schematisch in figuur 2 voorgesteld.

STAP 1 : Berekening van het draagvermogen (punt- en wrijvingsweerstand) uitgaande van elke statische sondering (CPT) afzonderlijk, waarbij installatiefactoren worden toegepast om rekening te houden met de verschillen tussen de paaltypes, met name de mate van grondverdringing of mogelijke grondontspanning aan de basis en langs de schacht en de wrijving tussen het materiaal van de schacht en de grond. Men streeft hier naar een –gemiddeld gezien- zo juist mogelijke inschatting van het werkelijk draagvermogen, indien de paal in de as van de CPT's zou geïnstalleerd worden.

STAP 2 : Kalibratie van de berekende draagvermogens door invoering van een modelfactor. De modelfactor houdt rekening met systematische afwijkingen van het rekenmodel t.o.v. de werkelijke waarden én met de onzekerheid op de resultaten [NBN EN 1997-1 § 2.4.1 (9)]. Hij wordt, indien mogelijk, bepaald aan de hand van analyses van statische paalbelastingsproeven en wel zodanig dat in ongeveer 95 % van de gevallen het berekende draagvermogen het werkelijke



draagvermogen niet overschrijdt. Waar voldoende bruikbare informatie ontbreekt, wordt er een veilige schatting gemaakt. De modelfactoren worden bepaald per groep van paaltypes (geheide, geschroefde, CFA- en geboorde palen) en de waarde is afhankelijk van de gemiddelde waarde en de spreiding op de verhouding tussen berekende en gemeten draagvermogens. Voor schroefpalen en CFA-palen wordt een onderscheid gemaakt tussen types waarvan resultaten van geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven beschikbaar zijn en deze waarvoor dergelijke resultaten niet beschikbaar zijn. Voor geheide en geboorde palen wordt dit onderscheid niet gemaakt, omdat de uitvoering hiervan niet in dezelfde mate als bij schroef- en CFA-palen het draagvermogen bepaalt.

STAP 3 : Met stappen 1 en 2 bepaalt men het draagvermogen van een paal die uitgevoerd wordt in de as van een statische sondering (CPT). Om rekening te houden met de variatie van de grondkarakteristieken over het terrein en de mate van onzekerheid die men hierover heeft (deze laatste wordt bepaald door de uitgebreidheid van het grondonderzoek) wordt een reductie toegepast door invoering van correlatiefactoren. Deze worden enerzijds op het minimum en anderzijds op de gemiddelde waarde van de berekende draagvermogens toegepast. De kleinste van beide waarden is bepalend. Bovendien wordt ook rekening gehouden met de eventuele mogelijkheid dat bij een onvoldoende draagvermogen van één paal, dit door de naastgelegen palen kan opgevangen worden, mits de constructie voldoende stijf is. In dat geval zal de toe te passen reductie kleiner zijn.

STAP 4 : Uit stap 3 volgt de karakteristieke waarde van het draagvermogen van de paalfundering, m.a.w. een waarde die bij een correcte uitvoering (theoretisch gezien) in 95 % van de gevallen niet onderschreden zal worden. Teneinde de faalkans te beperken tot algemeen aanvaarde waarden, worden veiligheidsfactoren toegepast op de punt- en de schachtweerstand. De waarden van deze factoren zijn afhankelijk van de mate waarin de uitvoering gemonitord wordt. Momenteel wordt er gewerkt aan een procescertificatie voor de uitvoering van schroef-, CFA- en boorpalen. Voor een paal uitgevoerd met een geldige procescertificatie zullen dan gereduceerde veiligheidsfactoren op de punt- en de wrijvingsweerstand mogen toegepast worden.

De concrete invulling van elke stap wordt verder gedetailleerd beschreven in § 4.

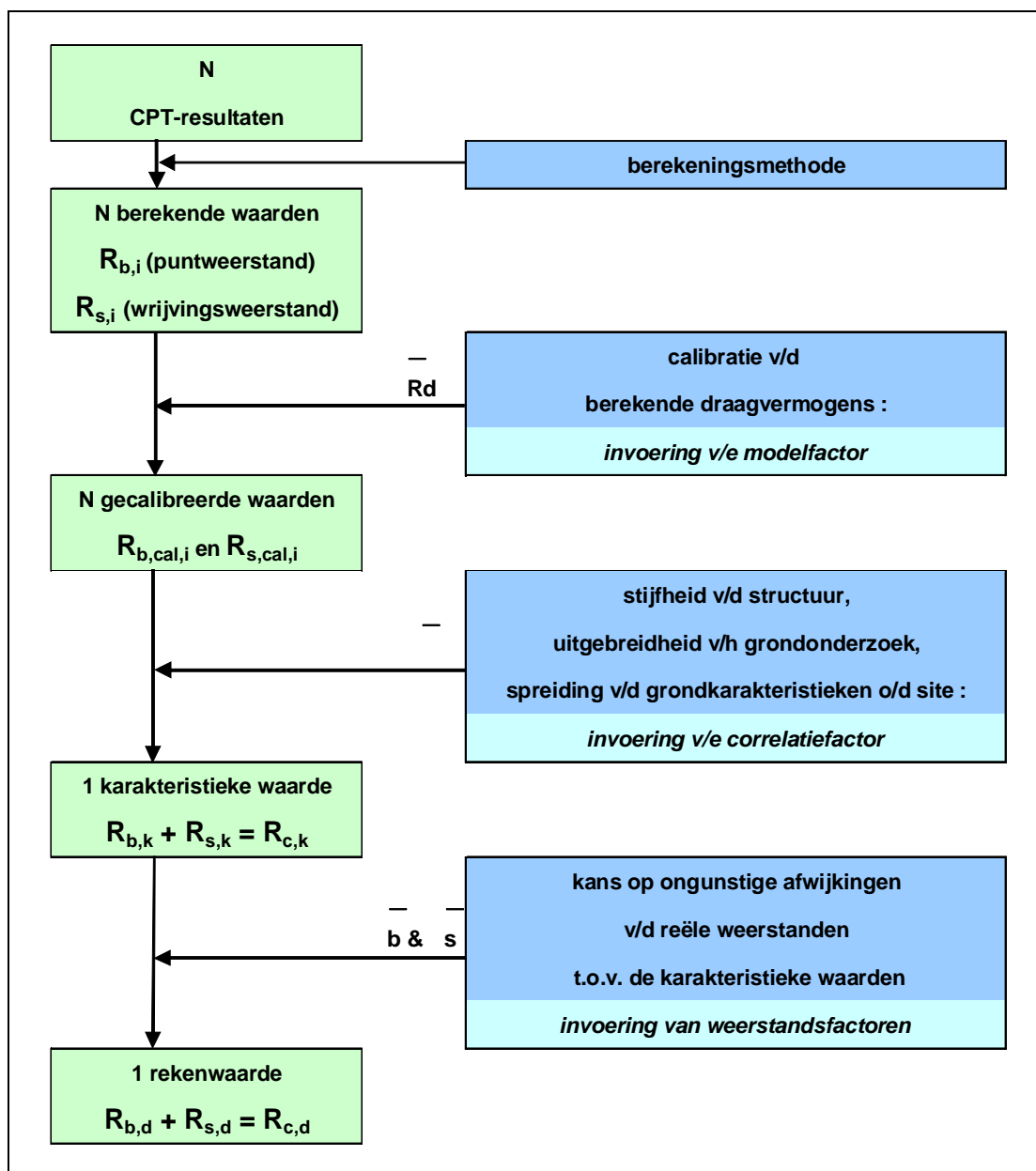


Fig 2 : Flowchart ter illustratie van de verschillende stappen in de berekening van de rekenwaarde van het draagvermogen van een paalfundering

### 3.4 Grondonderzoek

Voor het ontwerp gebaseerd op de resultaten van statische sonderingen (CPT's) wordt de sondering met een elektrische conus als referentie beschouwd. Sonderingen met een mechanische conus (M1, M2 of M4) zijn toegelaten, mits de gemeten conusweerstand te delen door een conversiefactor, zoals aangegeven in tabel 2. Deze conversiefactoren werden bepaald door vergelijkende proeven op verschillende sites. Indien



men echter over vergelijkende proeven op de site zelf beschikt, kan hieruit een conversiefactor, specifiek voor de site, worden afgeleid en toegepast. De conversiefactoren mogen worden toegepast op het berekende eenheidspuntdraagvermogen  $q_b$  en de berekende eenheidswrijvingen  $q_{s,i}$  (zie verder voor de definitie van  $q_b$  en  $q_{s,i}$ ).

| $\omega$ | Tertiaire klei | Andere grondsoorten |
|----------|----------------|---------------------|
| M1       | 1.30           | 1.00                |
| M2       | 1.30           | 1.00                |
| M4       | 1.15           | 1.00                |

Tabel 2 : Conversiefactoren  $\omega$  ter reductie van de gemeten conusweerstand bij statische sonderingen met mechanische conus

Indien grond ontgraven wordt na uitvoering van de sonderingen, heeft dit mogelijks een significante invloed op de conusweerstand. Desgevallend moeten de conuswaarden gereduceerd worden.

Voor de wijze van uitvoering van statische sonderingen, de rapportage van de resultaten ervan, de richtlijnen in verband met de minimale diepte van de sonderingen en het minimum aantal, wordt verwezen naar NBN EN 1997-2, prEN ISO 22476-1 en prEN ISO 22476-12, waarvan de referenties in de lijst achteraan gegeven worden.

Indien er zich onder de weerstandbiedende grondlagen, waarin de paal aangezet wordt, minder weerstandbiedende lagen bevinden die het draagvermogen van de paal kunnen beïnvloeden, moeten de sonderingen in elk geval reiken tot in deze lagen.

## 4. Rekenwaarde van het draagvermogen

### 4.1 Puntweerstand

De puntweerstand  $R_b$  wordt bepaald door :

$$R_b = \alpha_b \cdot \varepsilon_b \cdot \beta \cdot \lambda \cdot A_b \cdot q_b \quad (3)$$

met :



$q_b$  (kN/m<sup>2</sup>) de eenheidspuntweerstand, berekend met de methode De Beer.

Wanneer de berekening gebaseerd is op resultaten van een statische sondering met een mechanische conus, dient een conversiefactor, zoals beschreven in § 3.4 toegepast te worden.

De in de berekening van  $q_b$  in te voeren diameter is de equivalente paalbasisdiameter  $D_{b,eq}$  zoals gedefinieerd in § 2.1.

Wanneer de sonderingen uitgevoerd werden met een elektrische conus, worden de gemeten conusweerstandens telkens gemiddeld over de zone gaande van 10 cm boven tot 10 cm onder het niveau waarop het draagvermogen berekend wordt.

Wanneer de equivalente paalbasisdiameter geen veelvoud bedraagt van 20 cm, worden 2 berekeningen uitgevoerd met de dichtstbijgelegen veelvouden en wordt nadien geïnterpoleerd.

Een beschrijving van de methode De Beer, alsook berekeningsvoorbeelden zijn beschikbaar op de WTCB-website van het project TIS "Speciale Funderingstechnieken" ([www.tis-sft.wtcb.be](http://www.tis-sft.wtcb.be)) onder de rubriek "Publicaties", alsook op de website van de BGGG ([www.bggg-gbms.be](http://www.bggg-gbms.be)).

$\alpha_b$  (-) een empirische installatiefactor die de invloed in rekening brengt van de installatiewijze van de paal in een bepaalde grondsoort ; waarden worden gegeven in tabel 4.

$\varepsilon_b$  (-) een parameter die het schaaleffect op de schuifweerstand van de grond in rekening brengt omwille van de gescheurdheid van de grond.

$$\varepsilon_b = \max\left(1 - 0.01\left(\frac{D_{b,eq}}{D_c} - 1\right) ; 0.476\right) \text{ in Tertiaire klei}$$

$\varepsilon_b = 1$  in alle andere grondsoorten

$D_{b,eq}$  is de equivalente paalbasisdiameter ;  $D_c$  is de diameter van de conus van de CPT (bij een standaard conus is  $D_c = 35.7$  mm).





$\beta$  (-) een vormfactor die de invloed van een paalbasis die niet cirkelvormig of vierkant is, in rekening brengt.

$$\beta = \frac{1 + 0.3 a/b}{1.3} \text{ voor een rechthoekige paalbasis, met } a \text{ en } b$$

de afmetingen van respectievelijk de korte en de lange zijde van de paalbasis.

$\beta = 1$  voor cirkelvormige en vierkante paalbasissen.

$A_b$  (m<sup>2</sup>) de paalbasisoppervlakte, zoals gedefinieerd in § 2.1.

$\lambda$  (-) een reductiefactor voor palen met een verbrede paalbasis die ontspanning van de grond rond de schacht tijdens de installatie teweegbrengt. De waarde van  $\lambda$  wordt als volgt bepaald :

⇒ palen met een verbrede basis die op diepte gevormd wordt en dus geen ontspanning van de grond langs de schacht veroorzaakt :  $\lambda = 1.00$  ;

⇒ palen met een geprefabriceerde verbrede basis waarbij  $D_{b,eq} < D_s + 5 \text{ cm}$  :  $\lambda = 1.00$  ;  
 $D_{b,eq}$  is de equivalente paalbasisdiameter en  $D_s$  is de paalschachtdiameter ;

⇒ alle andere palen met geprefabriceerde verbrede basis : reductie af te leiden uit figuur 3.

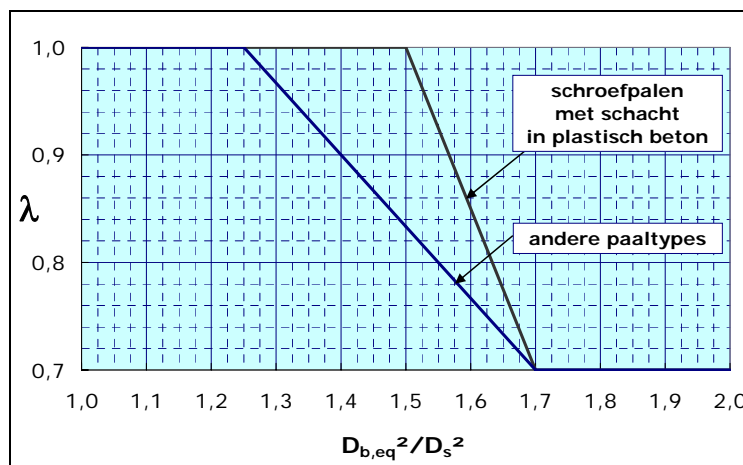


Fig 3 : Reductiefactor voor palen met een verbrede paalbasis die tijdens de installatie ontspanning van de grond teweegbrengt

## 4.2 Wrijvingsweerstand

De wrijvingsweerstand  $R_s$  wordt bepaald door :

$$R_s = \chi_s \cdot \sum (\alpha_{s,i} \cdot h_i \cdot q_{s,i}) \quad (4)$$



met :

$q_{s,i}$  (MPa) de eenheidswrijvingsweerstand

$$q_{s,i} = \eta_{p,i}^* \cdot q_{c,m,i}$$

$\eta_{p,i}^*$  (-) een empirische factor die de verhouding geeft tussen de eenheidswrijvingsweerstand en de conusweerstand volgens de grondsoort ; waarden worden gegeven in tabel 3.

| Grondsoort                                      | $q_c$<br>(MPa) | $\eta_{p,i}^*$<br>(-)                  | of $q_s$<br>(MPa) | $R_f^*$<br>(%) |
|---|----------------|--|-------------------|----------------|
| Klei  | 1 – 4.5        | $\eta_{p,i}^* = 1/30$                  |                   | 3–6 %          |
|   | > 4.5          | $q_s = 0.150$                          |                   |                |
| Leem  | 1 - 6          | $\eta_{p,i}^* = 1/60$                  |                   | 2–3 %          |
|   | > 6            | $q_s = 0.100$                          |                   |                |
| Zandhoudende klei/leem<br>Kleihoudend zand/leem | 1 – 10         | $\eta_{p,i}^* = 1/80$                  |                   | 1-2 %          |
|   | > 10           | $q_s = 0.125$                          |                   |                |
| Zand  | 1 – 10         | $\eta_{p,i}^* = 1/90$                  |                   | < 1 %          |
|   | 10 – 20        | $q_s = 0.110 + 0.004 \cdot (q_c - 10)$ |                   |                |
|   | > 20           | $q_s = 0.150$                          |                   |                |

Tabel 3 : Waarden van de empirische factor  $\eta_{p,i}^*$  en  $q_s$   
\* bepaald uit elektrische sondering

$q_{c,m,i}$  (MPa) de gemiddelde conusweerstand ( $q_c$ ) over laag i

Enkel de lagen met  $q_c \geq 1$  MPa worden in rekening gebracht.

Enkel de lagen die relevant zijn voor de wrijving tussen de paal en de grond worden in rekening gebracht.

Wanneer enigszins mogelijk zal men de grondsoort, afgeleid uit de sondeerresultaten toetsen aan gegevens over de plaatselijke geologie (bv. aan de hand van resultaten van boringen uit de omgeving, grondmechanische of geologische kaarten, site van Databank Ondergrond Vlaanderen <http://dov.vlaanderen.be>,...).

Wanneer de berekening gebaseerd is op resultaten van een sondering met een mechanische conus, dient een conversiefactor, zoals beschreven in § 3.4 toegepast te worden. In deze gevallen beschikt men meestal niet over waarden van het wrijvingsgetal, en is men nog meer aangewezen op kennis van de plaatselijke geologie.

$\chi_s$  (m) de paalschachtomtrek, zoals gedefinieerd in § 2.1.

$\alpha_{s,i}$  een empirische installatiefactor voor laag i die de invloed in rekening brengt van de installatiewijze van de paal in een bepaalde grondsoort en van de ruwheid van de paalschacht ; waarden worden gegeven in tabel 4.



$h_i$  (m) de dikte van laag i

| Paaltype  | Basis<br>$\alpha_b$ |                        | Schacht<br>$\alpha_s$ |                        |
|---|---------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|   | Tertiaire<br>klei   | Andere<br>grondsoorten | Tertiaire<br>klei     | Andere<br>grondsoorten |
| <b>CATEGORIE I : PALEN MET GRONDVERDRINGING</b>   |                     |                        |                       |                        |
| <b>GEHEIDE EN INGEPERSTE PALEN</b>  |                     |                        |                       |                        |
| Prefab betonpaal zonder verbrede basis  | 1                   | 1                      | 0.9                   | 1                      |
| In de grond gevormde paal zonder verbrede basis <sup>(a)</sup> , schacht in plastisch beton | 1                   | 1                      | 0.9                   | 1                      |
| In de grond gevormde paal met verbrede basis <sup>(a)</sup> , schacht in plastisch beton    | 1                   | 1                      | 0.65                  | 0.8                    |
| In de grond gevormde paal, schacht in droog beton, in de grond gevormde verbrede voet       | 1                   | 1                      | 1.15                  | 1.15                   |
| Stalen paal, onderaan gesloten, zonder verbrede voetplaat <sup>(a)</sup>                    | 1                   | 1                      | 0.6                   | 0.6                    |
| Stalen paal, onderaan gesloten, met verbrede voetplaat <sup>(a)</sup>                       | 1                   | 1                      | - <sup>(d)</sup>      | - <sup>(d)</sup>       |
| Open stalen buispalen, situatie met propvorming <sup>(b)</sup>                              | 0.7                 | 0.7                    | 0.6                   | 0.6                    |
| <b>SCHROEFPALEN <sup>(c)</sup></b>  |                     |                        |                       |                        |
| Schacht in plastisch beton  | 0.8                 | 0.7                    | 0.9                   | 1                      |
| Met verloren voerbuis   | 0.8                 | 0.8                    | 0.6                   | 0.6                    |
| <b>CATEGORIE II : PALEN MET WEINIG GRONDVERDRINGING OF -ONTSPANNING</b>                     |                     |                        |                       |                        |
| <b>GEHEIDE PALEN</b>  |                     |                        |                       |                        |
| Open stalen buispalen, situatie zonder propvorming <sup>(b)</sup>                           | 1                   | 1                      | 0.6                   | 0.6                    |
| I-profielen en damplanken   | 1                   | 1                      | 0.6                   | 0.6                    |
| <b>CFA-PALLEN MET VOORZIENINGEN TER BEPERKING VAN DE GRONDONTSPANNING</b>                   |                     |                        |                       |                        |
| Met overdruk  | 0.8                 | 0.5                    | 0.6                   | 0.6                    |
| Verbuisd  | 0.8                 | 0.5                    | 0.3                   | 0.5                    |
| Avegaar met centrale buis met grote diameter en kleine flenzen                              | 0.8                 | 0.7                    | 0.6                   | 0.7                    |
| <b>CATEGORIE III : PALEN MET GRONDVERWIJDERING</b>  |                     |                        |                       |                        |
| <b>CFA-PALLEN ZONDER VOORZIENINGEN TER BEPERKING VAN DE GRONDONTSPANNING</b>                |                     |                        |                       |                        |
|   | - <sup>(e)</sup>    | - <sup>(e)</sup>       | - <sup>(e)</sup>      | - <sup>(e)</sup>       |
| <b>BOORPALLEN</b>   |                     |                        |                       |                        |
| Uitgevoerd met tijdelijke voerbuis  | 0.8                 | 0.5                    | 0.3                   | 0.5                    |
| Uitgevoerd onder steunvloeistof   | 0.8                 | 0.5                    | 0.5                   | 0.5                    |
| Uitgevoerd zonder tijdelijke voerbuis of steunvloeistof                                     | 0.8                 | - <sup>(e)</sup>       | 0.5                   | - <sup>(e)</sup>       |

Tabel 4 : Waarden van de empirische factoren  $\alpha_b$  en  $\alpha_s$



- (a) De paalbasis wordt als verbreed beschouwd ten aanzien van de wrijvingsweerstand (lagere  $\alpha_s$ -waarden), als  $D_{b,eq} > D_s + 5 \text{ cm}$ ; de invloed van een verbrede basis op de puntweerstand zit vervat in de reductiefactor  $\lambda$ .
- (b) Voor open stalen buispalen worden 2 situaties beschouwd :
- 1 – situatie zonder propvorming onderaan : de wrijvingsweerstand wordt in rekening gebracht aan de buiten- én aan de binnenzijde van de buis ; de puntweerstand wordt in rekening gebracht over de staalsectie aan de punt
  - 2 – situatie met propvorming onderaan : de wrijvingsweerstand wordt alleen in rekening gebracht aan de buitenzijde van de buis ; de puntweerstand wordt in rekening gebracht over de volledige sectie aan de punt.
- Van beide situaties is de minimumwaarde bepalend voor het ontwerp.
- (c) Enkel voor schroefpalen met flenzen van maximaal 10 cm (bv. 36/56).
- (d) Ofwel de wrijving aantonen met geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven, ofwel geen wrijvingsweerstand in rekening brengen
- (e) Punt- en wrijvingsweerstand aantonen met geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven.

### 4.3 Totaal draagvermogen

De totaal draagvermogen van de grond bij op druk belaste palen, is de som van de puntweerstand en de wrijvingsweerstand :

$$R_c = R_b + R_s \quad (5)$$

Om te verzekeren dat het berekende draagvermogen voldoende veilig is (cfr. § 3.3), wordt een modelfactor  $\gamma_{Rd}$  ingevoerd [NBN EN 1997-1 § 2.4.1 (6), § 2.4.1 (8), § 2.4.7.1 (6), § 7.6.2.3 (2)] :

$$R_{c,cal} = R_c / \gamma_{Rd} \quad (6)$$

met :

$R_{c,cal}$  gekalibreerde draagvermogen van de grond bij op druk belaste palen

$\gamma_{Rd}$  modelfactor ( $\gamma_{Rd1}$  of  $\gamma_{Rd2}$  – zie verder)



De modelfactor wordt bepaald per groep van paaltypes.

Voor schroefpalen en CFA-palen wordt een onderscheid gemaakt tussen palen waarvan resultaten van geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven (SLT) beschikbaar zijn en deze waarvoor dergelijke resultaten niet beschikbaar zijn. De statische paalbelastingsproeven moeten in dat geval aan de voorwaarden voldoen, beschreven in bijlage 1.

Voor geheide en geboorde palen wordt dit onderscheid niet gemaakt, omdat de ervaring bij de uitvoering hiervan niet in dezelfde mate als bij schroef- en CFA-palen het draagvermogen bepaalt.

De waarden van de modelfactor worden gegeven in tabel 5.

| Groep van paaltypes         | Zonder SLT :<br>$\gamma_{Rd1}$ | Met SLT* :<br>$\gamma_{Rd2}$ |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Geheide en ingeperste palen | 1.00                           | 1.00                         |
| Schroefpalen                | 1.25                           | 1.00                         |
| CFA-palen                   | 1.35                           | 1.15                         |
| Boorpalen                   | 1.15                           | 1.15                         |

Tabel 5 : Waarden van de modelfactor  $\gamma_{Rd}$

\* voorwaarden zie bijlage 1

Naast een gereduceerde modelfactor  $\gamma_{Rd2}$  mag een uitvoerder bovendien andere installatiefactoren  $\alpha_b$  en/of  $\alpha_s$  toepassen dan deze uit tabel 4 voor het betreffende paalttype, mits het uitvoeren van geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven.

De voorwaarden waaronder verhoogde installatiefactoren mogen toegepast worden, worden beschreven in bijlage 2.

#### 4.4 Karakteristieke waarde van het draagvermogen

De karakteristieke waarde van het draagvermogen wordt bepaald uitgaande van de verschillende berekende en gekalibreerde waarden van het draagvermogen  $R_{c,cal,i}$ , door toepassing van de correlatiefactoren  $\xi_3$  en  $\xi_4$  respectievelijk op de gemiddelde en de minimumwaarde :

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{\text{gemiddeld}}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \quad (7)$$

Indien  $\frac{(R_{c,cal})_{\text{min}}}{\xi_4} < \frac{(R_{c,cal})_{\text{gemiddeld}}}{\xi_3}$ , wordt de correlatiefactor  $\xi_4$  toegepast op de punt- en wrijvingsweerstand die overeenkomen met de CPT die het



laagste totaal draagvermogen opleverde, en niet op de minimum puntweerstand en de minimum wrijvingsweerstand die elk van een andere CPT afkomstig kunnen zijn.

Waarden van  $\xi_3$  en  $\xi_4$  worden in functie van het aantal CPT's per m<sup>2</sup> gegeven in de tabellen 6 en 7. Hierbij wordt uitgegaan van een spreiding van de CPT's over het terrein die representatief is voor het ganse terrein. Voor tussenliggende waarden van sondeerdichtheid, kan men de waarden interpoleren.

De waarden zijn geldig voor een constructie die voldoende stijf is om de krachten van een paal die in een eventuele zwakkere zone wordt aangezet te kunnen overdragen naar naburige palen. Als richtlijn kan men hanteren dat een constructie als voldoende stijf kan beschouwd worden indien, bij het wegnemen van één paal in de berekening, de constructie op die plaats een zetting vertoont van maximaal 5 mm.

Voor constructies die onvoldoende stijf zijn, zijn de toe te passen correlatiefactoren deze uit de 1<sup>e</sup> lijn van de tabellen 6 en 7 (1 paal).

Het voorgaande houdt in dat voor een constructie, gefundeerd op 1, 2 of 3 palen steeds de correlatiefactoren uit de eerste lijn in de tabellen 6 en 7 moeten toegepast worden, omdat bij het wegnemen van 1 paal uit een groep van 3 palen, de stijfheid slechts in 1 richting verzekerd kan worden.

Voor de karakteristieke waarde van het draagvermogen, afgeleid uit een statische sondering, uitgevoerd in de as van de paal of op een afstand van maximum 3 D<sub>b</sub>, mogen de correlatiefactoren  $\xi_3$  en  $\xi_4$  gelijk gesteld worden aan 1.08.

De methode van de ksi-waarden is een vereenvoudigde methode om rekening te houden met de heterogeniteit van het terrein, wat inhoudt dat voor een zeer homogeen terrein de waarden vrij conservatief kunnen zijn. Mits verantwoording, mogen andere ksi-waarden toegepast worden, bv. deze overeenstemmende met een hogere sondeerdichtheid (1 of 2 kolommen meer naar links in de tabellen). De verantwoording kan bestaan uit een statistische analyse, waaruit de karakteristieke waarde rechtstreeks bepaald wordt, of door een studie van de autocorrelatielengte.

| AANTAL PALEN | SONDEERDICHTHEID           |                            |                             |                             |                              |
|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|              | 1 CPT<br>10 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>50 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>100 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>300 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>1000 m <sup>2</sup> |
| 1            | 1.25                       | 1.29                       | 1.32                        | 1.36                        | 1.40                         |
| 2            | 1.21                       | 1.25                       | 1.28                        | 1.32                        | 1.36                         |
| 3            | 1.18                       | 1.21                       | 1.24                        | 1.28                        | 1.32                         |
| 4-10         | 1.15                       | 1.19                       | 1.21                        | 1.25                        | 1.29                         |
| > 10         | 1.14                       | 1.17                       | 1.20                        | 1.24                        | 1.27                         |

Tabel 6 : Waarden van  $\xi_3$ , toe te passen op de gemiddelde waarde



| AANTAL PALEN | SONDEERDICHTHEID           |                            |                             |                             |                              |
|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|              | 1 CPT<br>10 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>50 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>100 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>300 m <sup>2</sup> | 1 CPT<br>1000 m <sup>2</sup> |
| 1            | 1.08                       | 1.17                       | 1.23                        | 1.31                        | 1.40                         |
| 2            | 1.05                       | 1.13                       | 1.19                        | 1.28                        | 1.36                         |
| 3            | 1.02                       | 1.10                       | 1.16                        | 1.24                        | 1.32                         |
| 4-10         | 1.00                       | 1.07                       | 1.13                        | 1.21                        | 1.29                         |
| > 10         | 1.00                       | 1.06                       | 1.12                        | 1.20                        | 1.27                         |

Tabel 7 : Waarden van  $\xi_4$ , toe te passen op de minimum waarde

## 4.5 Rekenwaarde van het draagvermogen

De rekenwaarde van het draagvermogen wordt verkregen door de karakteristieke waarde van de punt- en wrijvingsweerstand te delen door partiële factoren :

$$R_{c,d} = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s \quad (8)$$

De waarde van deze factoren is afhankelijk van de garantie die gegeven kan worden op de kwaliteit van de uitvoering van de paal. In afwachting van de mogelijkheid van het aanvragen van een procescertificatie, zal deze garantie momenteel geleverd moeten worden door het voorleggen van een degelijk kwaliteitsplan.

| Groep van paaltypes         | Combinatie 1              |            |                        |            | Combinatie 2              |            |                        |            |
|-----------------------------|---------------------------|------------|------------------------|------------|---------------------------|------------|------------------------|------------|
|                             | Zonder kwaliteitsgarantie |            | Met kwaliteitsgarantie |            | Zonder kwaliteitsgarantie |            | Met kwaliteitsgarantie |            |
|                             | $\gamma_b$                | $\gamma_s$ | $\gamma_b$             | $\gamma_s$ | $\gamma_b$                | $\gamma_s$ | $\gamma_b$             | $\gamma_s$ |
| Geheide en ingeperste palen | 1.00                      | 1.00       | 1.00                   | 1.00       | 1.35                      | 1.35       | 1.35                   | 1.35       |
| Schroefpalen                | 1.00                      | 1.00       | 1.00                   | 1.00       | 1.45                      | 1.35       | 1.35                   | 1.35       |
| CFA-palen                   | 1.10                      | 1.00       | 1.00                   | 1.00       | 1.50                      | 1.35       | 1.35                   | 1.35       |
| Boorpalen                   | 1.20                      | 1.00       | 1.00                   | 1.00       | 1.65                      | 1.35       | 1.35                   | 1.35       |

Tabel 8 : Waarden van  $\gamma_b$  en  $\gamma_s$



## Referenties

➤ Eurocodes :

- [1] Frank, R., Bauduin, C. e.a.  
*Designers' Guide to EN 1997-1. Eurocode 7: Geotechnical design - General rules.* London, Thomas Telford, 2004.

Voor de meest recente informatie over de verschillende Eurocodes en hun nationale bijlagen wordt verwezen naar de website van de Normen Antennes : [http://www.bbri.be/antenne\\_norm](http://www.bbri.be/antenne_norm)

➤ Grondonderzoek :

- [2] International Organization for Standardization  
*prEN ISO 22476-1 Ground investigation and testing — Field testing — Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests (CPT and CPTU).* Voorlopige norm, z.d.

- [3] International Organization for Standardization  
*prEN ISO 22476-12 Ground investigation and testing — Field testing — Part 12 : Mechanical cone penetration test (CPT).* Voorlopige norm, 2006.

Voor gegevens over de geologische kaarten wordt verwezen naar de website van de Belgische Geologische Dienst (<http://www.natuurwetenschappen.be/geology>).

Voor gegevens over de plaatselijke geologie en resultaten van boringen en sonderingen uit de omgeving wordt verwezen naar de website van de Databank Ondergrond Vlaanderen : <http://dov.vlaanderen.be>

➤ Berekening van het draagvermogen :

- [4] De Beer, E.  
*Methoden om het grensdraagvermogen van een geheide paal uit de resultaten van diepfunderingen af te leiden.* Brussel, Tijdschrift der Openbare Werken van België, volume 72, nr. 4 (p. 191-268), nr. 5 (p. 321-353) & nr. 6 (p. 351-405), 1971-1972.

Een beschrijving van de methode De Beer, alsook berekeningsvoorbeelden zijn beschikbaar op de WTCB-website van het project TIS "Speciale Funderingstechnieken" ([www.tis-sft.wtcb.be](http://www.tis-sft.wtcb.be)) onder de rubriek "Publicaties", alsook op de website van de BGGG ([www.bggg-gbms.be](http://www.bggg-gbms.be)).





## Bijlage 1 : Voorwaarden voor de toepassing van een gereduceerde modelfactor $\gamma_{Rd2}$

De gereduceerde modelfactor  $\gamma_{Rd2}$  voor schroef- en CFA-palen mag toegepast worden mits voldaan wordt aan één van onderstaande voorwaarden :

- ⇒ De uitvoerder nam deel aan een uitgebreide proefcampagne van geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven op het betreffende paaltype (onderverdeling zie tabel 4) in de betreffende grondsoort, waarbij de proefcampagne opgevolgd en geanalyseerd werd door een onafhankelijk instituut. Uit de resultaten bleek geen afwijkend gedrag van de beschouwde paal ten opzichte van de andere geteste palen.

OF :

- ⇒ Een proefcampagne zoals hierboven beschreven, werd uitgevoerd op het betreffende paaltype, maar de uitvoerder heeft niet deelgenomen aan deze campagne. In dat geval zal hij door het uitvoeren van minstens 2 geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven in de betreffende grondsoort en opgevolgd door een onafhankelijk instituut, moeten aantonen dat de beschouwde paal geen afwijkend gedrag vertoont ten opzichte van de palen getest in de proefcampagne. Hiertoe dient voldaan aan onderstaande vergelijkingen :

$$\left( \frac{R_{c,m}}{R_c} \right)_{\text{gemiddeld, uitvoerder}} \geq \mu \left( \frac{R_{c,m}}{R_c} \right)_{\text{gemiddeld, groep}} \quad (9)$$

EN :

$$\frac{\left( R_{c,m} / R_c \right)_{\text{min, uitvoerder}}}{\left( R_{c,m} / R_c \right)_{\text{max, uitvoerder}}} \geq v \quad (10)$$

met :

- $R_{c,m}$  de gemeten waarde van het totaal draagvermogen
- $R_c$  de berekende waarde van het totaal draagvermogen (met  $\alpha_b$  en  $\alpha_s$  uit tabel 4)
- $\mu, v$  zie tabel 9



Wanneer alle individuele waarden van  $\left(\frac{R_{c,m}}{R_c}\right)_{\text{uitvoerder}}$  groter zijn dan  $\left(\frac{R_{c,m}}{R_c}\right)_{\text{gemiddeld,groep}}$  vervalt vergelijking (10).

| Groep van paaltypes | $\mu$ | $\nu$        |      |      |
|---------------------|-------|--------------|------|------|
|                     |       | Aantal SLT's |      |      |
|                     |       | 2            | 3    | 4    |
| Schroefpalen        | 0.95  | 0.90         | 0.85 | 0.80 |
| CFA-palen           | 0.90  | 0.85         | 0.80 | 0.75 |

Tabel 9 : Waarden van  $\mu$  en  $\nu$



## Bijlage 2 : Voorwaarden voor de toepassing van verhoogde installatiefactoren $\alpha_b$ en/of $\alpha_s$

Naast een gereduceerde modelfactor  $\gamma_{Rd2}$  mag een uitvoerder bovendien andere installatiefactoren  $\alpha_b$  en/of  $\alpha_s$  toepassen dan deze uit tabel 4 voor het betreffende paaltype, mits het uitvoeren van minstens 4 geïnstrumenteerde statische paalbelastingsproeven in de betreffende grondsoort, die opgevolgd worden door een onafhankelijk instituut.

De resultaten van de proeven dienen te voldoen aan onderstaande vergelijkingen :

$$\left( \frac{R_{c,m}}{R_c} \right)_{\text{gemiddeld, uitvoerder}} \geq \kappa \left( \frac{R_{c,m}}{R_c} \right)_{\text{gemiddeld, groep}} \quad (11)$$

EN :

$$\frac{\left( R_{c,m} / R_c \right)_{\text{min, uitvoerder}}}{\left( R_{c,m} / R_c \right)_{\text{max, uitvoerder}}} \geq \nu \quad (12)$$

De waarde van  $\kappa$  bedraagt minstens 1.1 en de waarde van  $\nu$  wordt in tabel 10 gegeven.

| Groep van paaltypes | $\nu$ |
|---------------------|-------|
| Schroefpalen        | 0.80  |
| CFA-palen           | 0.75  |

Tabel 10 : Waarden van  $\nu$

De betreffende installatiefactoren uit tabel 4 mogen in dat geval verhoogd worden met een factor gelijk aan de waarde van  $\kappa$ .