



**Recent advances in pile design, construction, monitoring and testing**  
**Keynote ECSMGE 2019 - a revisit (2023)**

ir Maurice Bottiau – Franki Foundations  
With ir Noël Huybrechts – BBRI for the first edition

## Inhoud

# Is het mogelijk om codes, recente technologische ontwikkelingen en vakkennis op elkaar af te stemmen??

Friday, August 16, 2024



2

## Inhoud

### Is het mogelijk om codes, recente technologische ontwikkelingen en vakkennis op elkaar af te stemmen??

- CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK: **hoe ver zijn we?**
- RECENTE ONTWIKKELINGEN IN (HET BEGRIP VAN) DE UITVOERING VAN DIEPFUNDERINGEN – **enkele recente voorbeelden**
- RECENTE ONTWIKKELINGEN IN HET TESTEN VAN GEOTECHNISCHE CONSTRUCTIES – **we kunnen gedetailleerd gedrag meten**
- HOE KUNNEN CODES EN PRAKTIJKKENNIS MET ELKAAR IN VERBAND WORDEN GEBRACHT? – **Het Belgische voorstel**

Friday, August 16, 2024



3

## CODES EN PAALONTWERP

Hebben we vooruitgang geboekt?

Friday, August 16, 2024



4

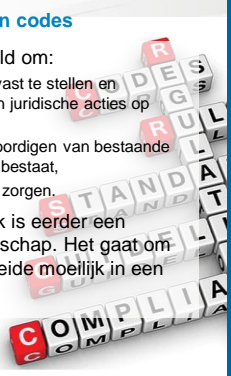
## Codes en evolutie van de ontwerppraktijk

### Het toenemende belang van codes

- Codes worden verondersteld om:
  - De normen van het beroep vast te stellen en bescherming te bieden tegen juridische acties op basis van nalatigheid,
  - Een destillatie te vertegenwoordigen van bestaande kennis waarover consensus bestaat,
  - Voor eerlijke concurrentie te zorgen.
- De praktijk van geotechniek is eerder een vaardigheid dan een wetenschap. Het gaat om perceptie en oordeel, die beide moeilijk in een code te vatten zijn

(Peter Day, Terzaghi lecture, 2016)

Friday, August 16, 2024



Normen kunnen leiden tot afstand: vanachter het bureau kan worden getoetst aan normen.

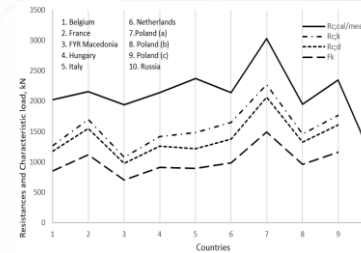
Voor echte waardering moet je zien, ruiken, voelen, proeven, kortom: ervaren.

En ervaringen zijn subjectief. (Geldof, 2019)

## CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK

### De nauwkeurigheid (?) van codes voor de dagelijkse ontwerppraktijk

- EC7 stelt ons in staat om een gemeenschappelijke taal te spreken, maar NA's weerspiegelen voornamelijk lokale "oude" praktijken.



Trevor Orr (ETC3 Symposium Leuven - 2016)

Friday, August 16, 2024



## CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK

### De nauwkeurigheid (?) van codes voor de dagelijkse ontwerppraktijk

- Een van de grootste gevaren is dat de codes de illusie wekken van duidelijkheid en standaardisatie.
- Valkuilen in de huidige codes:
  - Berekeningsmethoden in codes zijn gebaseerd op empirische gegevens (load-tests) die vaak tientallen jaren geleden zijn uitgevoerd.
  - Gebrek aan inzicht in specifiek paalgedrag
  - In veel gevallen zijn er (lokaal) onvoldoende gegevens beschikbaar voor een adequate kalibratie van installatie/model/veiligheidsfactoren.
  - Codes beperken grondcategorieën meestal tot twee of drie hoofdtypen : zand, leem en klei, soms krijgt en/of verweerde rots.

Friday, August 16, 2024



## CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK

### Typische beperkingen

- De codegebruiker kan:
  - praktische kennis van de juiste bouwmethode in specifieke omstandigheden missen;
  - zijn interpretatie baseren op ontoereikende of ontoereikende gegevens;
  - onvoldoende achtergrond hebben voor een juiste interpretatie van specifieke eisen of voorschriften.
- De toezichter/instantie/eindgebruiker:
  - Heeft vaak niet de gevraagde kennis om te controleren
  - Kan overweldigd worden door de toenemende verfijning/sofisticatie van de berekeningen
  - Van oordeel is dat het de contractuele verantwoordelijkheid is van het Paalbedrijf

Friday, August 16, 2024





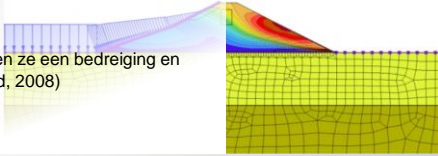
### CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK

#### Moderne ontwerppraktijken versus praktijkkennis

De komst van krachtige numerieke methoden en software biedt ongekende mogelijkheden voor de ingenieur om moderne complexe structuren te bouwen,

**MAAR**

als ze blindelings worden gebruikt, vormen ze een bedreiging en kunnen ze uiterst misleidend zijn. (Burland, 2008)



De combinatie van strenge codes, krachtige softwarepakketten en gebrek aan praktisch inzicht kan dramatisch zijn.

### CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK

#### Moderne ontwerppraktijken versus praktijkkennis

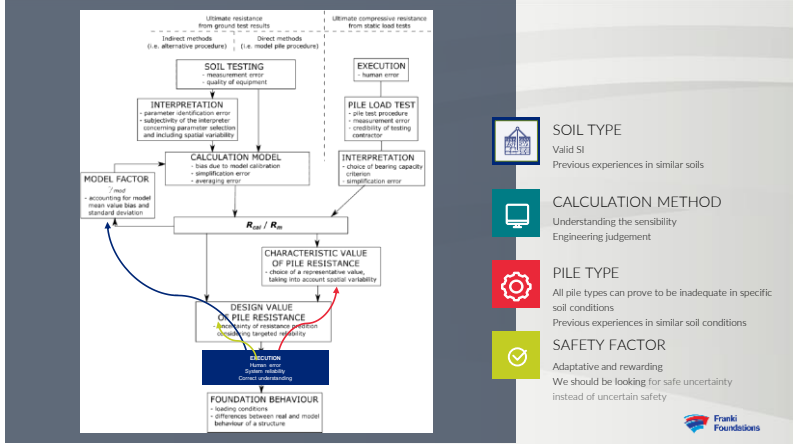
- De introductie van meer verfijnde methoden mag niet de illusie wekken dat het ontwerp van funderingen een absoluut niveau van nauwkeurigheid heeft bereikt.
- Het uitgebreide gebruik van recent geïntroduceerde computerpakketten zou ingenieurs het verkeerde gevoel kunnen geven dat het nu allemaal bekende wetenschap is.
- De combinatie van vaste normen en zulke tools kan gevaarlijk zijn.
- Een goed oordeel is nog steeds vereist en moet gebaseerd zijn op de juiste combinatie tussen ervaring/praktische kennis en "een vrij nauwkeurige opvatting van de mechanica van de verschijnselen in kwestie". This is **TACIT KNOWLEDGE**



### CODES EN EVOLUTIE VAN DE ONTWERPPRAKTIJK

#### Eerste conclusies

- De **theoretische** paalcapaciteit kan verschillen in functie van
  - De code zelf
  - De berekeningsmethode
  - De lokale ervaring/kennis en de kwaliteit van het beschikbare grondonderzoek
  - De vaardigheid van de ontwerper/controleur
- Maar de **geïnstalleerde** paalcapaciteit kan ook sterk variëren vanwege de verschillende aspecten die de paalinstallatie beheersen:
  - Details van het systeem,
  - Capaciteit van de equipment,
  - Interactie met lokale grond-/wateromstandigheden
- Reden waarom het uiterst belangrijk is om te monitoren/testen tijdens en na het plaatsen van palen



- SOIL TYPE**  
Valid SI  
Previous experiences in similar soils
- CALCULATION METHOD**  
Understanding the sensibility  
Engineering judgement
- PILE TYPE**  
All pile types can prove to be inadequate in specific soil conditions  
Previous experiences in similar soil conditions
- SAFETY FACTOR**  
Adaptive and rewarding  
We should be looking for safe uncertainty instead of uncertain safety

## PAALCONSTRUCTIE

Hoe beïnvloeden uitvoeringsparameters de prestaties van palen??

Friday, August 16, 2024

Franki Foundations 13

## Diepfunderingen constructie

### Dramatische evolutie

- Groter, breder, dieper
  - Toenemende complexiteit van systemen en uitvoeringsdetails,
  - Afmetingen en bereiken van diepten of capaciteiten die nog nooit eerder zijn bereikt.
- Toenemende ontwikkeling van elektronische meetapparatuur, machine learning, geautomatiseerde installatie
- Constante vraag naar toenemende belastingen en materialen met een hogere sterkte
- Recent onderzoek naar materialen en hun relatie met grond
- Maar toch missen we soms een correct begrip van enkele fundamentele kwesties van het paalinstallatieproces.



Friday, August 16, 2024

Franki Foundations 14

Enkele illustratieve cases

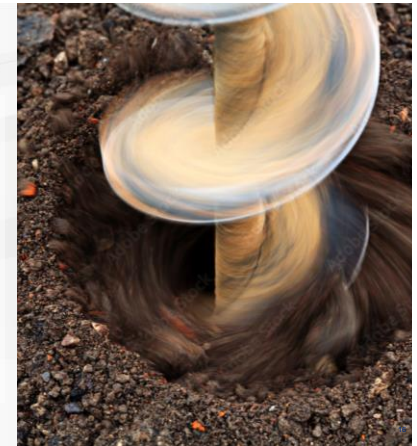
Friday, August 16, 2024

Franki Foundations 15

## CFA palen (avegaar)

### De invloed van de schraapfactor SR

- CFA worden wereldwijd op grote schaal gebruikt(24%)
- Nieuwe limieten worden bereikt(1500 mm – 50 m)
- Hoe houden we rekening met de lokale grondverstoring??
  - Schraapfactor  $SR = n \cdot \rho / V$
  - Welke streefwaarde moeten we nemen?? 1? 3? Meer?
  - Gerelateerd aan het geïnstalleerde vermogen van de boorstelling in een bepaalde grondsoort.

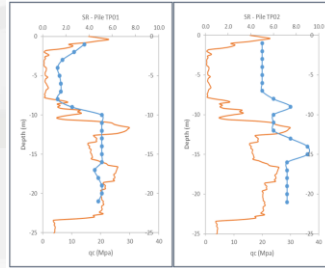


Friday, August 16, 2024

## Antwerpen

### CFA-palen met grote diameter-analyse van de SR

- 1200 mm en 1000 mm palen in dichtgepakte zand(18.00 m)
- Rig met volgende kenmerken:
  - Maximaal koppel: 300 kN.m
  - Maximale rotatiesnelheid 20 T/m
  - Pull-down capaciteit: 15 T.
- SR-waarden van 5 tot 8 werden waargenomen.
- SLT werden uitgevoerd met
  - Geen directe relatie met SR-ratio's
  - Een drag dat dicht bij dat van een geboorde paal ligt



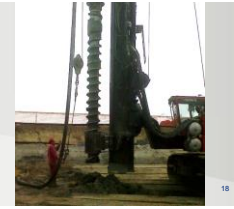
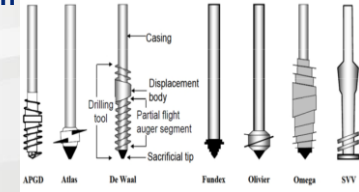
Friday, August 16, 2024

Franki Foundations 17

## Grondverdringende schroefpalen

### Een grote verscheidenheid aan systemen

- Opkomst van nieuwe systemen met variabele lengtes van het extractiegedeelte
- Systemen evolueren naar grotere diameters
- Geïnjecteerde systemen winnen aan populariteit
- Belastingproeven zijn nodig om de werkelijke impact van elk specifiek systeem te beoordelen



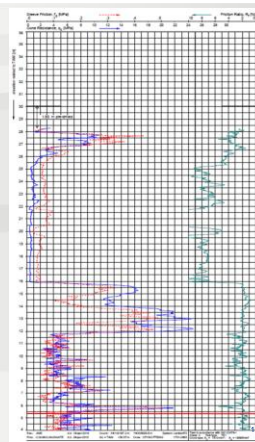
Friday, August 16, 2024

18

## Grondverdringende schroefpalen

### Belastingproeven bij variabele grondgesteldheid/impact van het extractiegedeelte

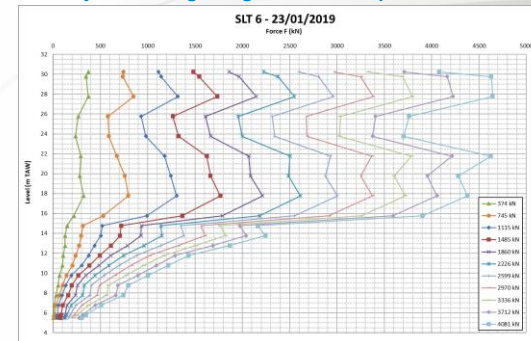
- Omega schroefpalen 610 mm paarsgewijs geïnstalleerd:
  - Een met een "klassiek" afzuiggedeelte 0,95 m
  - Een met een verlengd afzuiggedeelte van 1,80 m
- Palen geplaatst in zand en krijt.
- Volledig geïnstrumenteerde belastingproeven
- De verdeling van de belasting werd afgeleid uit de glasvezelsensoren



Friday, August 16, 2024

## Grondverdringende schroefpalen

### Belastingproeven bij variabele grondgesteldheid/impact van het extractiegedeelte



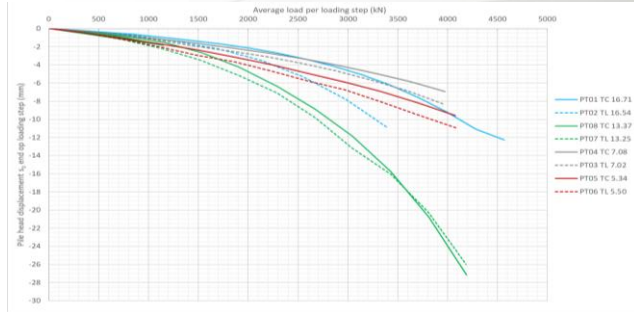
Friday, August 16, 2024

Franki Foundations 20



## Grondverdringende schroefpalen

Belastingproeven bij variabele grondgesteldheid/impact van het extractiegedeelte



Friday, August 16, 2024

## Geboorde palen

Enorme verbeteringen in de mogelijkheden van equipment

- Uitgebreid gebruik van oscillatoren, rotators, multihammers
- Grotere palen op grotere diepte in hardere gronden.
- Gebruik in extremere rotsomstandigheden of uitdagende werkomstandigheden, zoals beperkte ruimte.



Friday, August 16, 2024

## Boorpalen

Key aspects

- Veel aspecten van het paaluitvoeringsproces zijn van invloed op de paalcapaciteit :
  - Boorproces en boorgereedschappen,
  - Netheid van de paalbodem,
  - Kwaliteit van het betoneerproces
  - Interactie met de steunvloeistof (bentoniet of polymeer).
- Recent onderzoek is uitgevoerd om twee essentiële componenten van boorpalen beter te begrijpen:
  - Tremie beton
  - Steunvloeistoffen



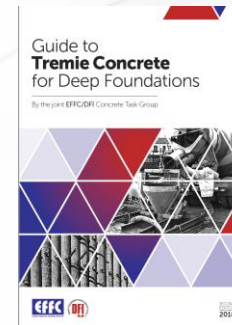
Friday, August 16, 2024

## Bored piles

Better understanding of two essential components

Tremie Concrete

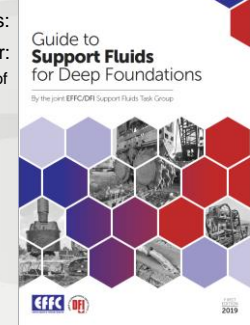
- Evolution of the fabrication process
- Emphasis on:
  - Viscosity & yield stress
  - Workability



Friday, August 16, 2024

Support Fluids:

- Guidance for:
  - Selection of the right support fluid
  - Testing in the field





**Paalconstructie**  
Tussentijdse conclusies

- Equipment is enorm geëvolueerd en daarom hebben we onze grenzen verder verlegd.
- Uitvoeringssystemen zijn voortdurend in ontwikkeling en **kleine details** kunnen variëren, wat tot grote verschillen kan leiden.
- **Alle installatiemethoden kunnen ontoereikend blijken in functie van de grondgesteldheid.**
- De reactie van sommige grondsoorten op de sollicitatie van een paalinstallatie kan dramatisch verschillen van de verwachtingen.
- Alle aspecten die van toepassing zijn op de paalinstallatie moeten in overweging worden genomen: systeemdetails, materialen, capaciteit van het equipment, monitoring tijdens en na de paalinstallatie.

Het adequaat inzetten van nieuwe technologieën kan meer inzicht geven.



**VOORUITGANG IN TESTEN**

Glasvezel opent nieuwe perspectieven  
Online monitoring van de paalinstallatie

Friday, August 16, 2024



**Vooruitgang in testen**  
25 jaar evolutie

- Grote ontwikkelingen in de ITC-sector hebben hun weg gevonden naar de geotechnische sector:
  - Miniaturisatie
  - Geïntegreerde elektronica
  - Draadloze gegevensoverdracht,
  - Real-time en online visualisatie,
- De belangrijkste vooruitgang is de glasvezeltechnologie.

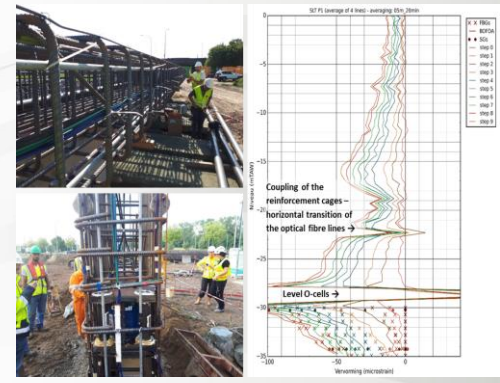


Friday, August 16, 2024



**Antwerpen**  
Tests op Diepwanden

- glasvezelsensoren geïntegreerd in de wapeningskorf van vier 40 m diepe diepwanden
- Load test programma
  - geïntegreerde Osterberg-cellen
  - de panelen werden intensief geïnstrumenteerd met o.a. optische vezelsensorlijnen in het onderste deel van de diepwand gelegen in de stijve overgeconsolideerde Tertiaire Boomse klei



Friday, August 16, 2024



## De ontwikkeling van de digitale omgeving en big data

### Ingescheepte elektronische apparatuur en testing, machine learning en AI

- De evolutie van de meet- en monitoringstechnieken maakt het mogelijk
  - Om meer en beter inzicht te krijgen in het werkelijke gedrag van een fundering onder proefbelasting
  - Om de juiste uitvoering te documenteren
  - Om de prestaties te koppelen aan bepaalde waarnemingen met de uitvoering of de grondgesteldheid.
- Hoe maken we optimaal gebruik van deze informatie??
  - De interpretatie moet worden ondersteund door een gedegen technisch oordeel en de codes moeten worden aangepast om met deze informatie rekening te houden.
  - Overdracht en analyse vereist meer transparantie van beide kanten.



Friday, August 16, 2024

## De ontwikkeling van de digitale omgeving en big data

### Ingescheepte elektronische apparatuur en testing, machine learning en AI

- Zijn we klaar om te delen??
- Zijn we klaar voor meer openheid en transparantie?
- Zijn onze klanten klaar voor meer openheid en om te belonen en over te stappen van de "straf"-strategie naar de "win-win"-strategie??



Friday, August 16, 2024

## KUNNEN WE CODES EN RECENTE TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN/ERVARING OP ELKAAR AFSTEMMEN??

Het Belgische voorbeeld

Friday, August 16, 2024

## Technologische ontwikkelingen en ontwerpcodes op elkaar afstemmen

### Lessons learned (I)

- Uitvoeringssystemen zijn voortdurend in ontwikkeling en kleine details kunnen tot grote verschillen leiden. De codes zijn meestal niet voldoende up-to-date om rekening te houden met deze nieuwe evoluties.
- Alle installatiemethoden kunnen ontoereikend blijken te zijn in functie van de lokale grondgesteldheid of de geïnstalleerde capaciteit van het equipment.
- De reactie van sommige grondsoorten op het verzoek om een paalinstallatieprocedure kan dramatisch verschillen van verwacht. Dit is met name het geval bij tussenliggende grondsoorten of bij snel veranderende bodemgesteldheid.
- Structurele aspecten en de impact van materialen (en de interactie grond/materiaal) mogen niet worden onderschat.

Installatiecoëfficiënten moeten gerelateerd zijn aan de "echte" set parameters van de specifieke bouwplaats.

Friday, August 16, 2024



## Technologische ontwikkelingen en ontwerpcodes op elkaar afstemmen

### Lessons learned (II)

- Er zijn meer belastingproeven nodig om installatiefactoren te kalibreren,
- Economische stimulansen die kwaliteitscontrole en -testen bevorderen, moeten worden opgenomen in codes en normen,
- Normen en codes moeten de deur openlaten voor technisch oordeel en zelfs innovatieve technieken en processen stimuleren,
- Ons beroep moet evolueren naar meer transparantie.

Friday, August 16, 2024

## Technologische ontwikkelingen en ontwerpcodes op elkaar afstemmen

### Hoe nu verder?

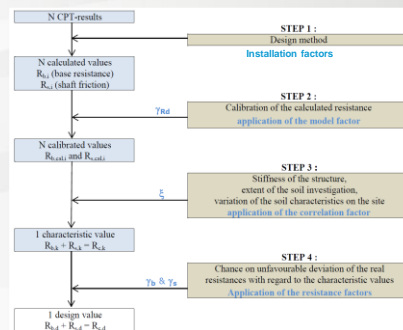
- Betere kennis van het paalgedrag door geïnstrumenteerde Load Testing
- Betere opvolging van lokale discrepanties door optimaal gebruik van moderne monitoring:
  - Real-time toegang tot alle locatie- en equipmentgerelateerde gegevens
  - Gedetailleerd rapportering met selectie van specifieke gegevens voor verdere analyse en kwaliteitsdocumentatie
  - Gerichte opvolging door in-house expertteam.
- Hoe dit in codes te verantwoorden?
  - Installatiefactoren afgestemd op aangetoonde prestaties
  - Model- en veiligheidsfactoren
    - afgestemd op bewezen betrouwbaarheid
    - In-situ testen belonen.

Friday, August 16, 2024

## Technologische ontwikkelingen en ontwerpcodes op elkaar afstemmen

### The Belgian proposal

- Belgische nationale bijlage van de EC 7
- "GEO"-verificatie volgens Eurocode 7:
 
$$F_{c,d} \leq R_{c,d}$$
- Schematisch overzicht van de verschillende stappen om de ontwerpwaarde van de drukweerstand  $R_{c,d}$  van de paal te berekenen.



Friday, August 16, 2024

## Technologische ontwikkelingen en ontwerpcodes op elkaar afstemmen

### Het Belgische voorstel

- De volgende principes zijn opgenomen in de Belgische ontwerpmethodologie zoals beschreven in WTCCB-CSTC, (2009/2016):
  - Installatie factoren  $\alpha_b$  en  $\alpha_s$  zijn functie van paal (sub) categorie. Deze generieke installatiefactoren zijn vrij conservatief, maar het document biedt een methodologie (geïnstrumenteerd paaltestprogramma in verschillende grondsoorten) en acceptatiecriteria om betere installatiefactoren voor individuele paalsystemen te krijgen.
  - Modelfactoren  $\gamma_{rd}$ , zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van geïnstrumenteerde SLT's.
  - Correlatiefactoren  $\xi_{3,4}$  zijn afhankelijk van de intensiteit van het grondonderzoek.
  - Veiligheidsfactoren  $\gamma_{b,s}$  zijn afhankelijk van de kwaliteit van de QC die voor de productiepalen wordt geleverd.

Friday, August 16, 2024

## Technologische ontwikkelingen en ontwerpcodes op elkaar afstemmen

### Het Belgische voorstel

- Systeem van **Gecertificeerde Technische Goedkeuringen (ATG)** gelanceerd door het Belgische gecertificeerde agentschap BUTgb, dat voor een individueel paalsysteem specifieke installatiefactoren toekent, evenals modelfactoren en veiligheidsfactoren.
- Recente evolutie:
  - Opletten voor een heel administratief gebeuren
  - ATG's mogen vakkennis en Engineering judgement niet in het gedrang brengen.

Friday, August 16, 2024

## CONCLUSIE

Friday, August 16, 2024

## Conclusie

### Is het mogelijk om codes af te stemmen op technologische vooruitgang en praktische kennis??

- Ja, als codes:
  - Ruimte geven aan lokale kennis en correct begrip van de interactie fundering/grond
  - Evolutionaire instrumenten zijn die snel aansluiten bij nieuwe ontwikkelingen en afwijkende omstandigheden
  - Optimaal gebruik maken van nieuwe technologieën om:
    - Adequaat inzicht te geven in paalgedrag door middel van testen
    - De paalprestaties in het veld te bewaken.
  - Het juiste begrip en de monitoring van de paaluitvoering belonen en de daarmee samenhangende verhoging van de betrouwbaarheid door aangepaste installatie-, model- en veiligheidsfactoren.

Friday, August 16, 2024

Standards and codes of practice should encapsulate best practice based on sound theory—but we all know that they don't. Standards and codes are written by committees who could not agree, and the codes are likely to be out of date in a decade or so.

J. Atkinson - Professor of Soil Mechanics, City University, London

Friday, August 16, 2024

## Conclusie

Is het mogelijk om codes af te stemmen op technologische vooruitgang en praktijkkennis??

- Nee, als:
  - We te veel vertrouwen op codes en normen en fundamentele kennis van grondmechanica en hydrologie vergeten;
  - Deze codes te prescriptief, bevroren en streng zijn/worden;
  - We het overwegen, kapitaliseren en overdragen van praktische kennis en ervaring verwaarlozen.

Friday, August 16, 2024

Ground engineering is governed largely by flawed codes and practices, experts and the legal profession.

The best way round this is to abandon codes as a legal prop and get the basics right in the first place. Things will not go wrong so often, experts can get on with producing good designs, the legal profession will lose business, and that will be a good thing

(J. Atkinson-2002)

