



Duurzaamheid  
Funderingspalen

the state of the art



## Duurzaamheid in funderingspalen

Ed Smienk

- Sr. Adviseur
- Hoofd adviesgroep Civiele  
Techniek

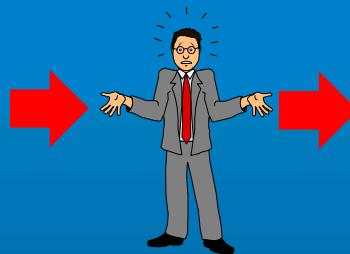


## Duurzaamheid in funderingspalen

- Hot maatschappelijk item
- Aandacht opdrachtgevers
- Dagelijkse praktijk
- Optimalisaties mogelijk
- Speerpunt ABT
- SBR Funderingen



## SBR Funderingen



# Programma

- CO<sub>2</sub> profiel traditionele paalsystemen
- Ontwikkelingen in materiaalbesparing
- Toepassing materiaalsoorten
- Bestendigheid/levensduur
- Duurzaamheid omgeving
- Verwijder- en recyclebaarheid
- Energiepalen



# CO<sub>2</sub> profiel traditionele paalsystemen

## Variabelen:

- Bodemgesteldheid
  - draagkracht
  - negatieve kleeft
  - slappe lagen: overconsumptie beton
- Belastingssituatie
  - druk- en trekbelasting
  - kop- en veldmoment
  - benodigde afmetingen, wapening, wanddikte staal



## CO<sub>2</sub> profiel traditionele paalsystemen

Variabelen:

- Betonkwaliteit en milieuklasse
- hoeveelheid cement



milieuklasse	hoeveelheid cement [kg/m <sup>3</sup> ]		
	C20/25	C35/45	C45/55
<b>XC2</b>	305	340	360
<b>XA2</b>	335	360	390

## CO<sub>2</sub> profiel traditionele paalsystemen

Variabelen:

- Betonmengsel
- cementsoort: CEM I: emissie 2,0 à 2,75 x CEM III



	cementsoort	klinker	slak
<b>portland</b>	CEMI	95-100%	-
<b>hoogoven</b>	CEMIII/A	35-64%	36-65%
<b>hoogoven</b>	CEMIII/B	20-34%	66-80%
<b>hoogoven</b>	CEMIII/C	5-19%	81-95%

# CO<sub>2</sub> profiel traditionele paalsystemen

Variabelen:

- Betonmengsel

- cementsoort: CEM I: emissie 2,0 à 2,75 x CEM III
- toevoeging vliegas
- toevoeging betongranulaat



# Bodemprofielen



Rotterdams profiel



Utrechts profiel

## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

### Rotterdams profiel

type	afmeting
	[mm]
prefab CEM1	450
prefab CEMIII	450
vibro	456/500
fundex	460/560
fundex g.i.	460/560
tubex	460/560
tubex g.i.	460/560
avegaar	600

## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

### Rotterdams profiel

type	afmeting	netto draagkracht
	[mm]	[kN]
prefab CEM1	450	1898
prefab CEMIII	450	1898
vibro	456/500	2020
fundex	460/560	1843
fundex g.i.	460/560	1912
tubex	460/560	1555
tubex g.i.	460/560	1912
avegaar	600	1119

## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

### Rotterdams profiel

type	afmeting [mm]	netto draagkracht [kN]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/paal]
prefab CEM1	450	1898	1736
prefab CEMIII	450	1898	895
vibro	456/500	2020	759
fundex	460/560	1843	759
fundex g.i.	460/560	1912	937
tubex	460/560	1555	3354
tubex g.i.	460/560	1912	3584
avegaar	600	1119	1026

## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

### Rotterdams profiel

type	afmeting [mm]	netto draagkracht [kN]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/paal]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/kN]
prefab CEM1	450	1898	1736	0,91
prefab CEMIII	450	1898	895	0,47
vibro	456/500	2020	759	0,38
fundex	460/560	1843	759	0,41
fundex g.i.	460/560	1912	937	0,49
tubex	460/560	1555	3354	2,16
tubex g.i.	460/560	1912	3584	1,88
avegaar	600	1119	1026	0,92



## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

### Rotterdams profiel

type	afmeting [mm]	netto draagkracht [kN]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/paal]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/kN]	factor [%]
prefab CEM1	450	1898	1736	0,91	42
prefab CEMIII	450	1898	895	0,47	22
vibro	456/500	2020	759	0,38	17
fundex	460/560	1843	759	0,41	19
fundex g.i.	460/560	1912	937	0,49	23
tubex	460/560	1555	3354	2,16	100
tubex g.i.	460/560	1912	3584	1,88	87
avegaar	600	1119	1026	0,92	43

## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

### Utrechts profiel

type	afmeting [mm]	netto draagkracht [kN]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/paal]	CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/kN]	factor [%]
prefab CEM1	450	3089	1412	0,46	37
prefab CEMIII	450	3089	750	0,24	20
vibro	456/500	3259	629	0,19	16
fundex	460/560	2767	629	0,23	18
fundex g.i.	460/560	3026	822	0,27	22
tubex	460/560	2452	3038	1,24	100
tubex g.i.	460/560	3026	3229	1,07	86
avegaar	600	2113	933	0,44	36



## Vergelijk CO<sub>2</sub>-profiel

- Betere prestaties Utrechts profiel
- Profiel avegaarpalen = prefab (CEM I)
- Profiel prefab (CEM I) = 2x prefab (CEM III)
- Stalen buis ongunstig
- Rotterdam: prefab CEM III, vibro, fundex (gi): 0,38 à 0,48 kg/kN; Utrecht → 50%
- Avegaarpaal: 2x meer CO<sub>2</sub>  
→ spanningsveld kosten - duurzaamheid

## materiaalbesparing

- “Gunstig voor eurootjes én planeet”



## materiaalbesparing

- ecopaal (IJB)

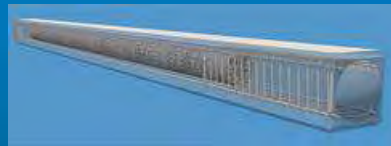


## materiaalbesparing

- Holle heipaal Jansen Zeewolde
  - staalvezels
  - voorspanning
  - stalen voetplaat
- Pluspaal Betonson

## materiaalbesparing

- Holle heipaal Jansen
  - staalvezels
  - voorspanning
  - stalen voetplaat
- Pluspaal Betonson
  - massieve kop en voet
  - EPS



## materiaalbesparing

- Holle heipaal Jansen
  - staalvezels
  - voorspanning
  - stalen voetplaat
- Pluspaal Betonson
  - massieve kop en voet
  - EPS
- Hailightpaal Haitsma
  - zelfverdichtend beton



## materiaalbesparing

- Betonggranulaat
  - Standaard voorschrijven?
  - Eco-schokpaal® Schokindustrie

## materiaalbesparing

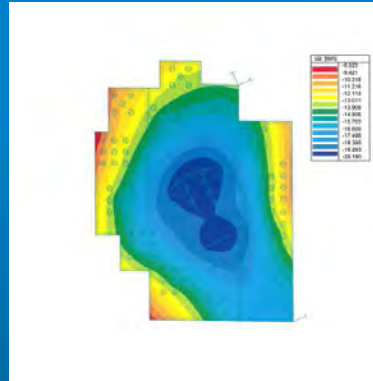
- Al of niet doorslaan met prefab...



## materiaalbesparing

### Slimme/integrale beschouwing fundering

- Rabo hoofdkantoor Utrecht
- paalplaatfundering



## materiaalbesparing

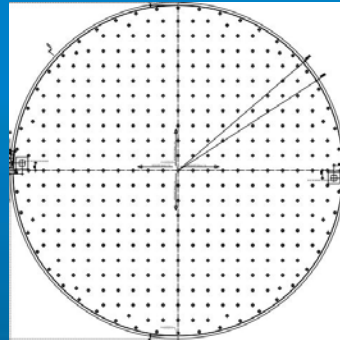
### Slimme/integrale beschouwing fundering

- Rabo hoofdkantoor Utrecht
- Paalplaatfundering
- Tubex-gi-palen Ø 457/670 mm
- Besparing 130 palen
  - 469 t CO<sub>2</sub>
  - verbruik 55 hh in NL
  - 125x aarde rond

## materiaalbesparing

Slimme/integrale beschouwing fundering

- Diksaptank Suikerunie Groningen
- Funderingsplaat Ø 67 m



## materiaalbesparing

Slimme/integrale beschouwing fundering

- Diksaptank Suikerunie Groningen
- Basisontwerp:
  - - vibro Ø 508/560 mm; 20 m
  - 405 stuks
  - plaatdikte 600 mm

## materiaalbesparing

### Slimme/integrale beschouwing fundering

- Diksaptank Suikerunie Groningen

- Basisontwerp:

- vibro Ø 508/560 mm; 20 m
- 405 stuks
- plaatdikte 600 mm

- Alternatief:

- HSP Ø 220mm; 15 m
- 2253 stuks
- plaatdikte 300 mm

## materiaalbesparing

### Slimme/integrale beschouwing fundering

- Diksaptank Suikerunie Groningen

- Basisontwerp:

- vibro Ø 508/560 mm; 20 m
- 405 stuks
- plaatdikte 600 mm

- Alternatief:

- HSP Ø 220mm; 15 m
- 2253 stuks
- plaatdikte 300 mm

- Besparing: 346 t CO<sub>2</sub>

→ verbruik 40 hh in NL

→ 85x aarde rond



## materiaaltoepassingen

- Hybride beton: staalvezels
- Kunststof:
  - recycling
  - leverbaar: tot 6 m, 250 mm
  - betonplangers



## bestendigheid/levensduur

- Prefab vs in de grond gevormd
  - controleerbaarheid/ beheersbaarheid: zekerheid
  - cementsoort: CEM III
  - dekking:
    - > prefab: 30 à 40 mm
    - > niet-grondverdringend igg: > 60 mm
    - > grondverdringend: > 40 mm (bk buis)

## omgeving

- Trillingen
- Geluid
- Deformaties
- Archeologie
  
- Tijdelijke en permanente ingrepen



## duurzaam gebruik ondergrond: verwijder- en recyclebaarheid

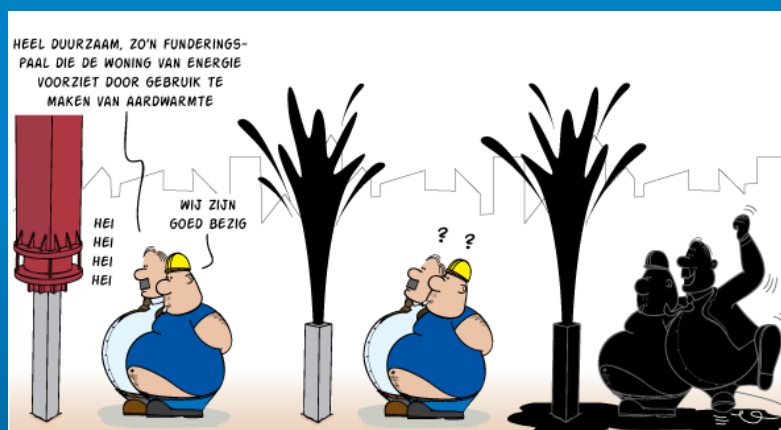
- Prefab: trekken +; betongranulaat
- IGG palen: trekken + mits voldoende wapening
- Boorpalen; diepwandpaneel; slopen kop
- Stalen buispalen; trekken +; hergebruik, recycling

## matrix

funderingstype	Duurzaamheidsaspecten				
	levensduur	verwijder- baarheid	hergebruik (**)	CO <sub>2</sub> emissie	trillingen
houten paal	--	+	--	++	-
prefab betonpaal	+	+	C	+/0	--
avegaarpaal	-	-- *)	C	0	++
vibropaal	0	- *)	C	+	-
grondverdringende schroefpaal	0	- *)	C	+	++
grondverdringende schroefpaal met buis	0	0	--	--	++
stalen buispaal	0	++	A/B	-	--
Stalen buispaal, beton gevuld	0	++	--	--	--
boorpaal	0	--	C	--	++
diepwandpaal	0	--	C	--	++
ankerpaal	0	-	--	+	+

\*): afhankelijk van aanwezigheid doorgaande wapening  
 \*\*): A= volledig te hergebruiken  
       B= recyclebaar  
       C= te verwerken tot secundaire bouwstof/granulaat

## energiepaal



# energiepaal

- Prefab palen



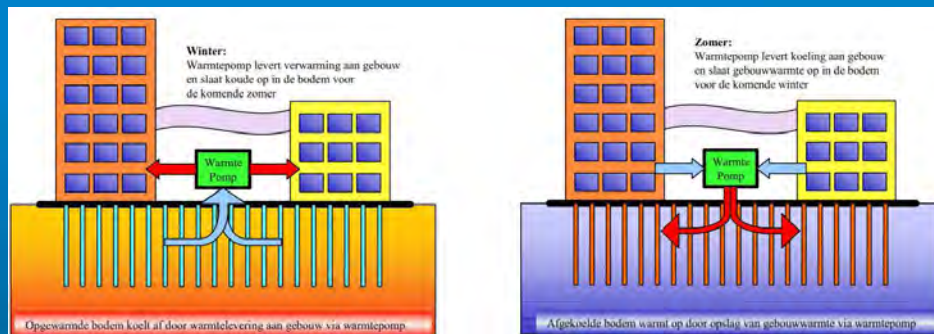
# energiepaal

- Prefab palen



# energiepaal

- Principe
- Gesloten systeem i.t.t. WKO



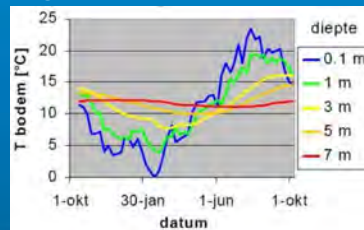
# energiepaal

- Combinatie betonkernactivering  
zomer winter



## energiepaal

- Sinds 1997
- Benaming: “Comfortpaal”/“de Groene Paal”
- Opbrengst / kosten
  - grond- en grondwateromstandigheden



## energiepaal

- Sinds 1997
- Benaming: “Comfortpaal”/“de Groene Paal”
- Opbrengst / kosten
  - bodemomstandigheden
  - 25 à 35 W per m<sup>1</sup> thermisch effectieve paallengte
    - tot 30-40% reductie CO<sub>2</sub>
  - € 50 -100 per paal
  - terugverdiëntijd: was 6 à 7 jaar (met subsidie)

## energiepaal: ontwikkelingen

- Optimalisatie leidingen: bodem maatgevend
- Afname van toepassing
  - concurrentie WKO
  - afnemende vraag / bouwvolume
  - subsidies
  - wetgeving: AMvB Bodemenergie 1/4/2013
- Uitvoeringstechnische aandachtspunten
- In de grond gevormde palen? ...

## energiepaal

- België:





## energiepaal

- België:



## tenslotte

- Funderingsmarkt nog niet echt energiek
- I.v.m. normering toename CO<sub>2</sub>-emissie
  - vanaf 2012: toename rekenwaarden belastingen i.v.m invoering Eurocode
    - ca. 10% (druk- én trekbelasting)
  - vanaf 2016: reductie paalklassefactoren en draagkracht (tenzij tijdige proefbelastingen)
    - ca. 33%

## tenslotte

- Kansen terugdringen CO<sub>2</sub>-emissie
  - slim, integraal ontwerp
  - hoogwaardig rekenen
  - materiaaltoepassingen
  - implementatie in bestekken/vraagspecificaties

## tenslotte

- Groene ideeën en producten nog welkom

