



a.p. van den berg



## Fundeermachine: trillingvrij & geruisloos prefab betonpalen indrukken



- Toepassing van kwalitatief hoogwaardige prefab betonpalen
- Geen overlast door geluid & trillingen
- Bewezen technologie
- Dataregistratie ten behoeve van correlatie met sonderingen en palenplan
- Data levert per paal een proeve van belastbaarheid
- Verschillende modellen met indrukcapaciteiten van 60 tot 1200 ton

**Interesse? Neem contact met ons op!**

*Zie ook het artikel in deze editie.*

A.P. van den Berg GeoTechnology bv  
Postbus 68, 8440 AB Heerenveen

Tel.: 0513 631355  
Fax: 0513 631212

info@apvandenbergnl  
www.apvandenbergnl

Prefab paalfunderingen  
z nder trillingen

**DRUKPAAL**.nl



0514 56 80 00

info@drukpaal.nl | www.drukpaal.nl

Postbus 210 | 8530 AE Lemmer

# DE DRUKPAAL VOORDELEN UIT TWEE WERELDEN



Harrie Dieteren  
CRUX



Sandro Katerberg  
A.P. van den Berg  
GeoTechnology



Guido Meinhardt  
CRUX



Tahl Tekofsky  
Drukpaal.nl



FIGUUR 1 – FUNDEERMACHINE  
(BRON: A.P. VAN DEN BERG)

## INLEIDING

Het traditioneel heien van prefab betonpalen behoort tot de meer populaire fundeermethodes in de Europese markt, mede gesteund door de goede kwaliteit en hoge betrouwbaarheid van zowel de paal als de inbrengmethode. Echter, vanwege regelgeving en omgevingsfactoren winnen de diverse methodes waarbij de palen trillingsvrij geboord worden ook terrein. Deze methodes zijn echter meer uitvoeringsgevoelig ten aanzien van de te leveren paalkwaliteit (in de grond gevormd) en daarnaast zijn geboorde paalsystemen in het algemeen ook duurder. Het indrukken in plaats van heien van de kwalitatief hoogwaardige betonpalen verenigt de voordelen van dit paalttype in de trillings- en nagenoeg geluidsvrije installatiemethode 'drukken'. De hinder op de omgeving wordt hierdoor tot een minimum beperkt.

Met name voor funderen in het binnenstedelijk gebied is dit gunstig. Drukpaal.nl is een samenwerkingsverband tussen de betonfabrieken Bruil Prefab en de IJB-Groep. De fundeermachine is geleverd door A.P. van den Berg uit Heerenveen die als exclusieve distributeur van de machines in Europa optreedt namens T-Works uit China. In Azië wordt deze methode al ruim een decennium lang op grote schaal toegepast. Door T-Works worden fundeermachines gebouwd met een maximale indrukkraft variërend van 600 tot 12000kN. Door A.P. van den Berg worden de machines afgestemd op de Europese wet- en regelgeving met name met betrekking tot veiligheid en milieu. Daarnaast worden de machines voorzien van een dataregistratiesysteem. Op de Nederlandse markt is sinds eind 2016 een fundeermachine actief met een totaal gewicht van 320 ton en een maximale indrukkraft van 3200kN (= 320ton).

Inmiddels zijn meer dan 12 projecten in Nederland succesvol gerealiseerd en tevens is er in het najaar van 2017 een constructeurs-

event georganiseerd. In dit artikel wordt ingegaan op de opgedane ervaringen tot op heden en op de specifieke ontwerpaspecten van de nieuwe installatiemethode van de bekende prefab betonpaal.

## BESCHRIJVING PAALSYSTEEM EN FUNDEERMACHINE

De machine bestaat uit een basisframe dat langs- en dwarsliggers heeft met een railconstructie waarover het basisframe zich kan voortbewegen. Met deze combinatie van langs- en dwarsligger kan de machine zich in lengte- en dwarsrichting voortbewegen en zelfs 360° om de om de paalpositie roteren.

De twee langsliggers hebben een afmeting van 11,8m x 1,25m. Met het gewicht van 320ton resulteert dit in funderingsdrukken per ligger van circa 110kPa.

Tijdens het manoeuvreren van de machine wordt steeds afgestempeld op de liggers (langs of dwars) terwijl de andere liggers (dwars of langs) worden verzet. De basismachine heeft uiteraard een eigen gewicht maar om met de maximale indrukkraft te kunnen werken, dienen contragewichten te worden aangebracht. De maximale indrukkraft is mogelijk als de paal vanuit het midden door de machine wordt gedrukt. Het indrukmechanisme bestaat uit vier hydraulische cilinders en een hydraulische klem om de paal vast te houden. Door de eenvoud van de constructie behoeft de fundeermachine dan ook minimaal onderhoud. Aan de kopse kant van de machine bevindt zich eveneens een indruksysteem (de zogenaamde sidepiler). Echter hiermee kan tot ca. 50% van de indrukkraft van het centrale indruksysteem worden behaald. Met het indrukmechanisme (vijzel) kan een paal ongeveer 2 meter worden weggedrukt waarna de paal overgepakt moet worden door de klem. Tijdens het indrukproces wordt de diepte en drukkracht automatisch en continu geregistreerd.

Tot op heden zijn met deze nieuwe installatiemethode bij een 12-tal projecten prefab betonpalen vierkant 250 à 350mm gedrukt met een lengte variërend van circa 6m tot 22m. Op basis van de huidige

inzichten zijn palen tot circa 25m uitvoerbaar alsmede koppelpalen. Door het toepassen van een stalen oplanger is het mogelijk om de palen verdiept aan te brengen.

## BEREKENING DRAAGKRACHT

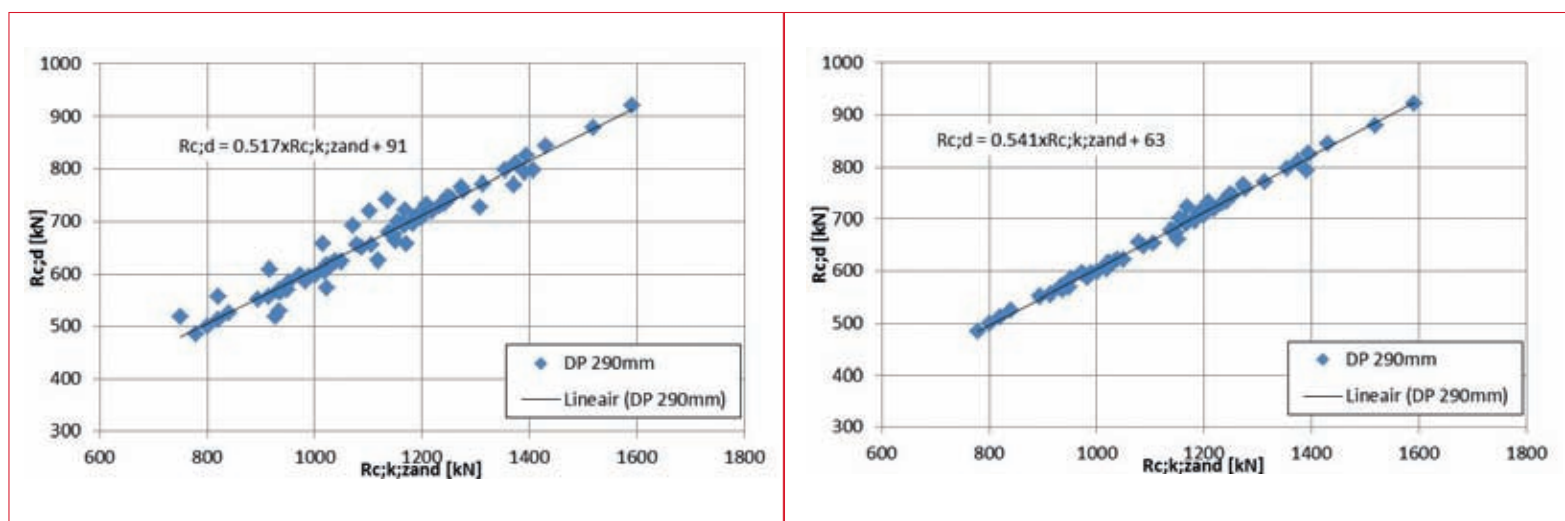
Officiële paalklassefactoren van dit paalsysteem (type paal in combinatie met installatiemethode) zijn tot op heden nog niet beschikbaar. Bij het ontbreken van resultaten van proefbelastingen, is het gebruikelijk het 'nieuwe' paalsysteem in te schalen aan de hand van vergelijkingen met paalsystemen die wel zijn opgenomen in de norm. Uit analyses van enkele gedrukte palen in de begintijd en de inmiddels gerealiseerde projecten blijkt, dat de paalklassefactoren voor de geheide prefab betonpaal goed aansluiten bij dit 'nieuwe' paalsysteem. In de ontwerpfase wordt daarom de rekenwaarde van de draagkracht van een drukkend geïnstalleerde prefab betonpaal berekend alsof het een geheide paal betreft met de waarden uit NEN 9997-1 (2016), tabel 7c en 7d.

Hierbij wordt opgemerkt dat de paalklassefactor paalpunt ( $\alpha_p$ ) van 0,7 op basis van de huidige inzichten voor de drukpaal aan de lage kant lijkt te liggen (Van Baars 2018). Echter deze waarde wordt aangehouden tot er officiële factoren op basis van paalproeven conform de NPR7201 (2017) beschikbaar zijn.

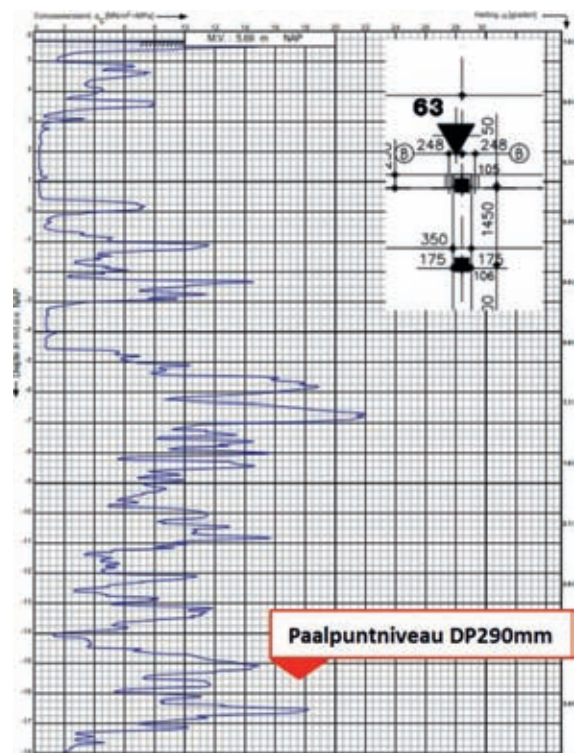
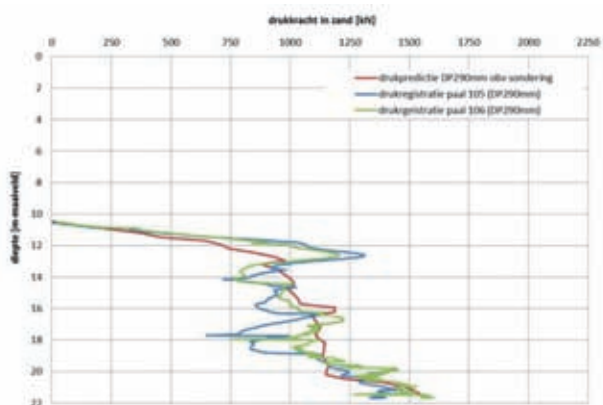
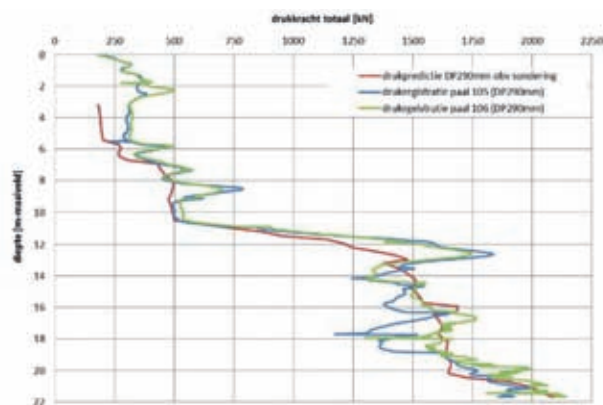
## DRUKPREDICTIE

Gezien de installatiemethode is het van belang om vooraf goed te voorspellen wat de te verwachten indrukkraft diepte wordt. Hiervoor wordt middels een door CRUX ontwikkeld programma een predictie gedaan van de benodigde drukkracht om de paal op de gewenste diepte te krijgen. De noodzakelijke drukkracht om een paal statisch de grond in te drukken is in principe gelijk aan de verwachtingswaarde van de paalpunt- plus de schachtweerstand.

Op basis van in het verleden uitgevoerde analyses van de drukregistraties wordt bij de bepaling van de maximum paalpuntweerstand uitgegaan van een paalklassefactor paalpunt ( $\alpha_p$ ) van 1,0 in plaats van 0,7 en wordt de paalpuntspanning ( $q_{b,max}$ ) niet



FIGUUR 2 – BEREKENDE DRUKKRACHT IN ZAND ( $R_{c;k;zand}$ ) VERSUS REKENWAARDE PAALDRAAGKRACHT ( $R_{c;d}$ ) VOOR EEN GROEPSONDERINGEN EN VERSCHILLENDE PAALPUNTNIVEAUS



**FIGUUR 3 –  
BEREKENDE  
VERSUS GEMETEN  
DRUKKRACHT  
(BOVEN: TOTAAL;  
ONDER: IN HET  
ZAND).**

afgesloten op 15 MPa. Het invloedsgebied onder en boven de paalpunt wordt hierbij gekozen tussen  $2D/4D$  à  $4D/8D$ .  $4D/8D$  is een veilige benadering voor de rekenwaarde van het draagvermogen maar kan echter een te gunstige benadering voor de maximale verwachte drukkracht zijn omdat de invloed van stoorlaagjes met teruglopende conusweerstand minder significant zijn.

De paal ondervindt vanaf intrede in de grond (maaiveld) weerstand aan de punt en langs de schacht. In verband hiermee wordt dus ook kleef (schachtwrijving) in rekening gebracht in de klei- en zandlagen waaraan conform de draagkrachtberekening geen schachtwrijving wordt ontleend. De te hanteren paalklassefactor voor de schacht in die lagen wordt conform NEN 9997-1:2016 Tabel 7.d bepaald. Bij de bepaling van de maximum paalschachtweerstand wordt de conusweerstand niet afgesloten op 12 of 15 MPa maar wordt gerekend met de gemeten conusweerstand.

Daar het principe van het drukken van prefab betonpalen gebaseerd is op het lokaal bezwijken van de grond onder de paalpunt worden de partiele weerstandsfactoren ( $\gamma_m$ ) en de correlatiefactoren ( $\xi$ ) op 1,0 gesteld. De benodigde totale drukkracht ( $R_{c;k;totaal}$ ) wordt per niveau bepaald aan de hand van:

$$R_{c;k;totaal} = R_{paalpunt} + R_{schacht}$$

Van tevoren dient duidelijk in kaart te zijn gebracht welke palen niet vanuit het midden kunnen worden gedrukt daar dit significant de maximale indrukdiepte bepaalt en daarmee bepalend is voor het ontwerp van het palenplan.

### BEOORDELING DRUKREGISTRATIE

Zoals boven beschreven, wordt in de drukpredictie met schachtwrijving gerekend vanaf intrede in de grond. Bij de bepaling van de rekenwaarde van het draagvermogen wordt dit normaliter gedaan

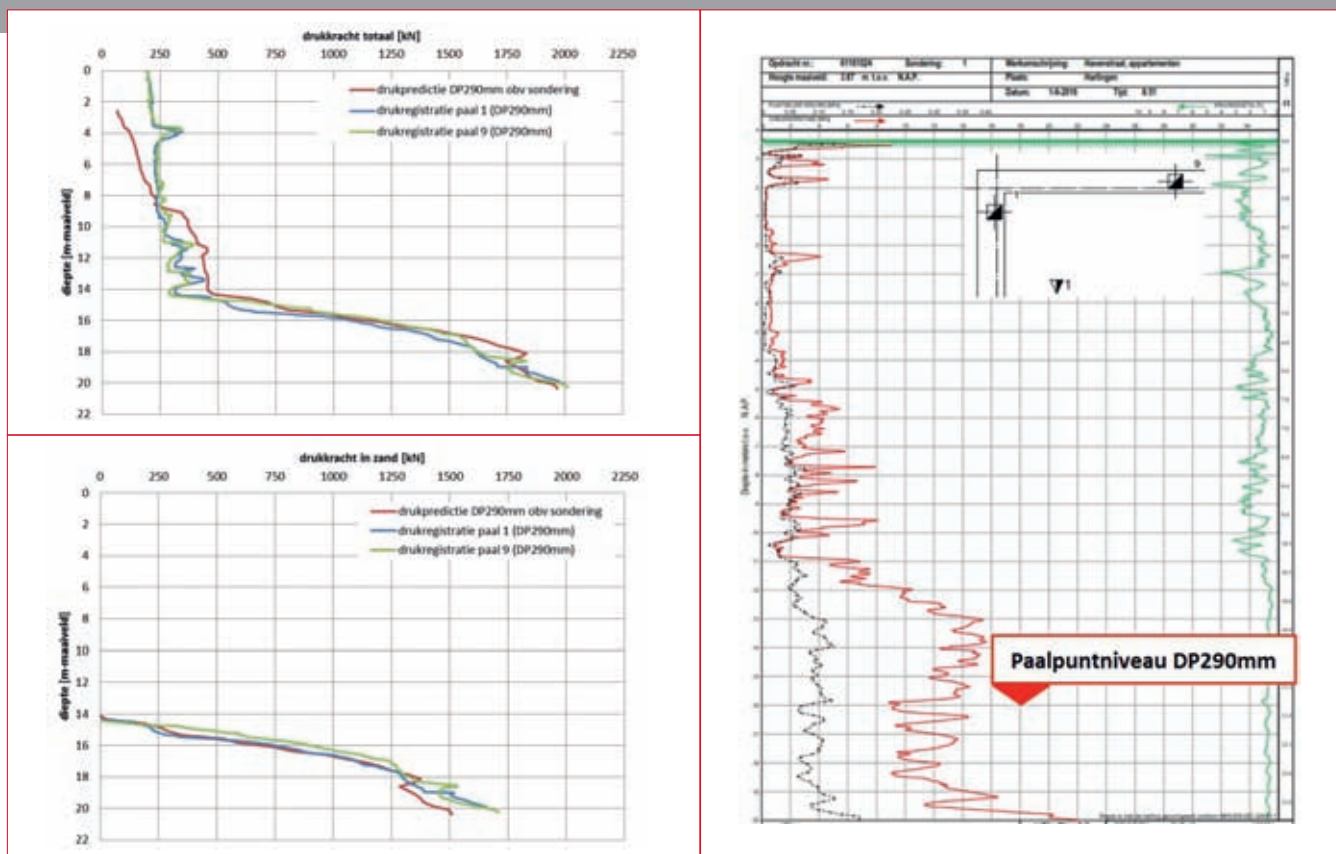
vanaf de bovenkant van de zone waar positieve schachtwrijving in rekening wordt gebracht, de funderingszandlaag.

Om tot een vergelijk te kunnen komen tussen de gerealiseerde drukkracht (drukregistratie) en het berekende draagvermogen moet dus de schachtwrijving tot aan de funderingszandlaag in mindering worden gebracht op de berekende totale drukkracht.

Door voor ieder deelgebied/sondering en paalafmeting de rekenwaarde van de draagkracht ( $R_{c;d}$  dus exclusief negatieve kleef) uit te zetten tegen de berekende benodigde drukkracht in het zand (aangeduid met  $R_{c;k;zand}$ ) kan een vergelijking worden afgeleid zoals weergegeven in figuur 2. Bij voorkeur dient dit bij ieder deelgebied/sondering over een traject van minimaal paalpuntniveau tot circa 2,5m daarboven te worden gedaan om, zodoende een meer reële vergelijking te verkrijgen dan als alleen naar het paalpuntniveau wordt gekeken. Belangrijk hierbij is dat de variatiecoëfficiënt over het bewuste traject maximaal 12% is en sprake is van een draagvermogen dat toeneemt met de diepte.

Om de afgeleide vergelijking te mogen gebruiken bij het beoordelen van de drukregistratie dient als eerste gecontroleerd te worden of de drukpredictie overeenkomt met de gemeten waarden. In figuur 3 zijn daarom de gemeten drukkrachten (drukregistratie) van twee gedrukte palen uitgezet tegen de berekende indrukkraft.

Conform de drukpredictie zou de drukkracht in het zand op paalpuntniveau circa 1590kN bedragen met een gemiddelde waarde over de laatste 3m van circa 1280kN. Bij de nabij geïnstalleerde palen 105 en 106 zijn op paalpuntniveau 1330kN respectievelijk 1550kN gemeten en over het bovenliggende traject 1210kN respectievelijk 1310kN. De predictie sluit met name over het onderste gedeelte van de grafiek



**FIGUUR 4 – BEREKENDE VERSUS GEMETEN DRUKKRACHT (BOVEN: TOTAAL; ONDER: IN HET ZAND).**

goed aan bij de gemeten waarden. De berekende draagvermogens over dat traject hebben een variatiecoëfficiënt van 5 à 10%, hetgeen ook wordt teruggevonden in de gemeten drukkrachten (registratiegegevens) in het zand.

Op grond van de afgeleide vergelijking in figuur 2 kan voor de palen 105 en 106 een betrouwbare indicatie worden gegeven van de rekenwaarde van de draagkracht, te weten circa 780kN respectievelijk 900kN. De negatieve kleeft, die bepaald is aan de hand van de ontwerpsonderingen, kan (afhankelijk van de bodemopbouw) vervolgens in mindering worden gebracht daar de drukgrafieken geen aanleiding geven om deze waarde bij te stellen.

### OPGEDANE ERVARING BIJ GEREALISEERDE PROJECTEN

Op basis van de tot op heden gerealiseerde projecten, waarbij in principe iedere drukkend geïnstalleerde paal een soort drukproef is, zie ook het voorbeeld over de beoordeling van de drukregistratie in dit artikel en het voorbeeld in figuur 4, is de paalklassefactor voor de paalpunt wat betreft deze installatiemethode eerder 1,0 dan 0,7 conform de norm. Dit ondanks het feit dat een groot deel van de gedrukte palen meer dan 8m in het zand staan. Hierbij wordt echter opgemerkt de punt-schacht verhouding nog niet exact middels reksensoren is bepaald en op aannames is gebaseerd. In vervolgonderzoeken zal hier nader aandacht aan worden besteed.

### ONTWERP- EN UITVOERINGSASPECTEN

De Drukpaal (het drukkend installeren van prefab betonpalen) combineert de kwaliteitsvoordelen van de prefab betonpaal met de geluids- en trillingsvrije installatie van de geschroefde systemen. Deze

laatste echter vereisen extra aandacht in de kwaliteitscontrole omdat het 'in de grond gevormde' funderingselementen zijn. Ook in verband met de continue drukregistratie tijdens de installatie heeft de Drukpaal kwaliteitsvoordelen.

Aandachtspunten van deze installatiemethode zijn het benodigde gewicht en de afmetingen van de fundeermachine, het aan de voorkant goed voorspellen van het te realiseren paalpuntniveau (ook in relatie tot de vereiste draagkracht) en het daarmee vroegtijdig inpassen van dit systeem in funderingsontwerpen. Achtereenvolgens wordt op de genoemde aspecten ingegaan.

Het gewicht van de machine is van invloed op de draagkracht van de ondergrond alsmede de eventuele beïnvloeding van objecten in de omgeving (zoals belendingen, taluds, damwanden en kabels en leidingen) en dient deskundig te worden beoordeeld in een risicoanalyse. In principe kan de stelling een paal drukken tot op circa 0,8m uit de belending (drukkracht ca. 50%). Als vanwege de ondergrond gekozen wordt voor de toepassing van draglineschotten dan verdient het aanbeveling het palenstramien hierop af te stemmen.

In de ontwerpfase verdienen tevens vast tot zeer vast gepakte zandlagen extra aandacht omdat deze moeilijk te passeren zijn. Wordt namelijk de maximale drukkracht al ruim boven het voorgeschreven paalpuntniveau behaald dan moet de paal worden afgezaagd voordat met de volgende paal kan worden gestart. Een robuuste zekerheid van de uitvoerbaarheid van de installatiediepte (paalpuntniveau) wordt daarom aanbevolen. Het kan dus vanuit de drukpredictie wenselijker zijn om meer kortere palen met een eventueel grotere afmeting toe te passen dan minder palen maar langer. Tevens verlagen extra sonderingen bij grillige bodemcondities het risicoprofiel

met oog op de haalbaarheid van het vereiste paalpuntniveau.

De fundeermachine leent zich met name voor projecten van enige schaal (> 50 à 100 palen). Voor projecten met een regelmatig stramien (bijvoorbeeld lijninfra zoals tunnels, verdiepte liggingen, geluidsschermen) of woning- en utiliteitsbouwprojecten, waar vroegtijdig afstemmen van de palenplannen op deze installatiemethode tot de mogelijkheden behoort, biedt deze installatiemethode voordelen in combinatie met geen geluids- en trillingsoverlast, hoge bouwsnelheid en hoge aantoonbare kwaliteit.

## SAMENVATTING EN PERSPECTIEF

Eind 2016 werd door Drukpaal.nl en A.P. van den Berg het drukkend installeren van de bekende prefab betonpaal op de Nederlandse markt gelanceerd. In plaats van het traditioneel heidend aanbrengen van prefab betonpalen worden de palen met dit systeem drukkend aangebracht. Hierdoor wordt een aantoonbaar kwalitatief hoogwaardige fundering vervaardigd die geluidsarm en trillingsvrij wordt aangebracht.

De meetdata tot op heden (iedere gedrukte paal is een soort paalproef) lijken het toepassen van een paalklassefactor voor de punt van 1,0 (in tegenstelling tot de norm 0,7) te onderstrepen. Dit sluit aan bij de discussie die al enige tijd wordt gevoerd over het met 30% moeten reduceren van het puntdragvermogen (zie ook Van Baars en Rica, 2018).

Om echter concrete uitspraken te kunnen doen over de paalklasse-

factoren voor deze ‘nieuwe’ installatiemethode wordt in de nabije toekomst meer onderzoek naar de verhouding tussen punt- en schachtdraagvermogen en de bijhorende paalklassefactoren gedaan.

De installatiemethode biedt door de continue registratie goede mogelijkheden voor kwaliteitsverhoging of verantwoord toepassen van veiligheidsfactoren. Bijvoorbeeld doordat bij de Drukpaal net als bij een sondering de weerstand wordt gemeten vanaf intreding in de grond, kan draagvermogen, sondegrafiek en drukregistratie middels deskundige beoordeling tot een aantoonbaar veiligheidsniveau gecorreleerd worden.

Met andere woorden zal in toekomst de drukregistratie kunnen worden beschouwd als zijnde een (controle)sondering waardoor de correlatiefactoren ( $\xi$ ) op 1,0 zouden kunnen worden gesteld. Uiteraard dienen diverse projecten, proefbelastingen en onderzoeken deze denkrichting nog te bevestigen.

Een eerste stap hierin is meer onderzoek naar de verdeling tussen punt-schacht door enkele drukpalen te voorzien van reksensoren. De voorbereidingen hiervoor lopen en zullen in een volgend artikel gepresenteerd worden.

## LITERATUUR

*Van Baars, Rica (2018), De gevolgen van de restkracht bij een paalfundering, Geotechniek, Maart 2018.*

# CRUX



+31 (0)20 4943070  
info@cruxbv.nl  
cruxbv.nl

Amsterdam  
Delft  
Eindhoven

### Geotechniek



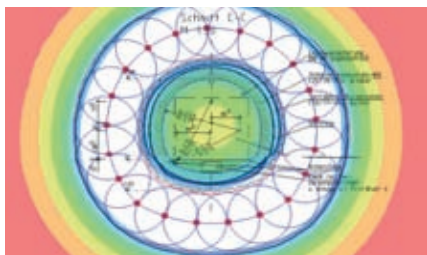
### Omgeving



### Versterk jij ons team?

Adviseur Geotechniek  
Adviseur Bodem  
Milieukundig begeleider (MKB)

### Grondverbetering



### Geohydrologie



### Bodem

