

Toetsing technieken aan Programma van Eisen

# No-Recess proeftuin Hoeks

De No-Recess proeftuin betreft een (demonstratie-) onderzoek naar - voor Nederlandse begrippen - niet conventionele funderingswijzen voor aardebanen voor rail- en weginfrastructuur. Het geeft echter geen volledig beeld van alle mogelijke technieken om snel en onderhoudsarm te bouwen. In dit artikel worden de kosten van de technieken geëvalueerd en de resultaten van de statische en dynamische metingen getoetst aan het Programma van Eisen.

J. D. VAN DUIJVENBODE / A. VAN DEN BERG

No-Recess is in 1997 gestart met de workshop in Delft, waar deskundigen uit het buitenland nieuwe oplossingen toonden voor de Nederlandse problematiek rond bouwen op slappe grond. Het onderzoek is vervolgens door de projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra en de afdeling Geotechniek van Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde verder opgezet. In januari 1998 is gestart met het bouwrijp maken van het No-Recess proefterrein in de Hoeksche Waard. Negen maanden later waren alle vijf testbanen gerealiseerd, te weten:

- HW1: verticale drains met aardebaan (conventioneel, bedoeld als referentie);
- HW2: gestabiliseerde grondkolommen met aardebaan (Stabilator/NGT, Zweden);

- HW3: gestabiliseerde grondwanden met aardebaan (Sidla&Schönberger/KWS/NBM, Duitsland);
- HW4: geotextiel ommantelde zandkolommen met aardebaan (Möbius, Duitsland/ Ballast NEDAM);
- HW5: houten palen en AuGeo palen met een baan van gestabiliseerde vrijkomende grond (Cofra/Vermeer, Nederland).

Deze technieken en de gerealiseerde ont-

FMI machine voor het maken van een gestabiliseerde grondwand in HW3.

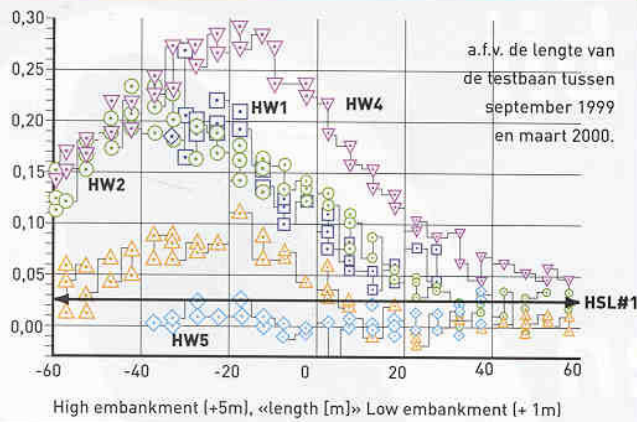


Beton-tegels dekken de palen af in HW5.

Het uitvoeren van dynamische metingen met de DysSaFiT plaat.



BEREKENDE LRS-WAARDEN WATERPASPUNTEN



VERBAND TUSSEN NO-RECESS EN BEREKENDE LRS-WAARDE



# the Waard

werpen zijn beschreven in verschillende publicaties. De kruinbreedte is 10 meter en de lengte van de testbanen variëren van 80 tot 120 meter met een hoog gedeelte van 5 meter, een overgangsgebied en een laag gedeelte van 1 meter. Bij het hoge gedeelte van HW3 en de totale banen HW4 en HW5 zijn belastingspreidende lagen van geotextiel of geogrids opgenomen tussen de fundering en de aardebaan.

In de zomer van 1999 zijn er dynamische metingen uitgevoerd op de hoge en lage testbanen. De statische metingen zijn afgerond in maart 2000. In de loop van het jaar zullen de testbanen worden gesloopt.

## Programma van Eisen

De gerealiseerde ontwerpen zijn gebaseerd op het volgende Programma van Eisen:

- eis HSL#1: voor het hoge en lage deel een bouwtijd kleiner dan 18 maanden en restzettingen na 24 maanden (gedurende 30 jaar) kleiner dan 30 mm;
- eis HSL#2: overgangsconstructie onder hoge deel over 20 meter, restzettingen van 0 tot 30 mm (aansluiting op een fictief kunstwerk);

De kwaliteit van de testbanen zijn ook getoetst aan twee verschillende richtlijnen van de Deutsche Bahn:

- eis DB#1: Dynamische stabiliteit;
- eis DB#2: Bruikbaarheidseis.

De meetresultaten zijn eveneens getoetst aan de wensen van RWS namelijk:

- wens RWS#1: bouwtijd lage aardebaan van 6 maanden en over de volgende 30 jaar een restzetting kleiner dan 100 mm, en bouwtijd hoge aardebaan van maximaal 12 maanden en over de volgende 30 jaar een restzetting kleiner dan 100 mm.
- wens RWS#2: Dezelfde bouwzeiten als

hierboven, en een bouwzetting kleiner dan 100 mm (verbreden naast de bestaande weg);

## Toetsing aanlegkosten

Voor de kostenevaluatie van de No-Recess proeftuin technieken is uitgegaan van de hoge en lage aardebaanontwerpen zoals gerealiseerd in de No-Recess proeftuin en er is ervan uitgegaan dat deze in het vrije veld worden aangelegd. Er is een spreadsheet (In-GeoInfo) gemaakt met de verschillende objecten uit de No-Recess proeftuin [3]. Om een vergelijking met de HSL referentie te maken, zijn ook de kosten van een plaat op palen geraamd. De resultaten zijn samengevat in tabel 1.

## Toetsing restzetting en bouwzetting

Voor de toetsing van de (rest)zettingseisen is door Fugro een statisch meetprogramma opgesteld en uitgevoerd. Alle metingen zijn opgeslagen met softwarepakket Origin 5.0 op een cd-rom en toegevoegd aan het evaluatierapport. De monitoring start ( $t=0$ ) na het aanbrengen van de fundering en voor het aanbrengen van de eerste ophoogslag. Er zijn drie methodes gebruikt om te voorspellen of aan de restzettingseis wordt voldaan en verschillende methodes om te toetsen of aan deze restzettingseis wordt voldaan:

- De bekende methode om de restzettingen te voorspellen is een extrapolatie van de meetgegevens van de zakkakens waarbij de zetting tegen  $\log(t)$  wordt uitgezet. Hieruit kan een minimale waarde en een maximale waarde worden bepaald.
- Het gedrag van de fundering en de ondergrond kan ook gesimuleerd worden. Er zijn analytische berekeningen uitgevoerd en met PLAXIS EEM berekeningen om de (rest)zettingen te voorspellen.

● Een andere methode is de Logarithmic Rate of Settlement berekening. Tussen twee opeenvolgende meetpunten wordt de zettingstoename per decade berekend. Op deze manier wordt de bovengrens van de restzetting bepaald. Ter illustratie van de laatste methode is in figuur 1 de bepaling van de LRS waarde weergegeven. Hieruit blijkt dat de LRS waarde van deze zakkakmeting langzaam afneemt tot in dit geval 0,17 m op  $t = 800$  dagen.

In figuur 2 wordt deze berekende LRS waarde uitgezet tegen de tijd voor verschillende zakkakens in het hoge gedeelte van de verschillende testbanen. Dit geeft een aardig beeld in hoeverre de geëiste en gewenste restzettingen worden gehaald. Hierin is ook duidelijk te zien dat de dynamische metingen wat ruis in de metingen hebben veroorzaakt.

De LRS-methode kan ook gebruikt worden om de meetresultaten van de waterpaspunten aan de bovenkant van de testbanen te analyseren. Omdat er per baan drie rijen met een h.o.h. afstand van vijf meter zijn geplaatst (totaal circa 75 stuks) geeft dit veel LRS-waarden. Figuur 3 toont de berekende LRS-waarden op basis van twee metingen na de dynamische testen als functie van de lengte van de baan. De grootte van de markers is gerelateerd aan de hoogte van de testbaan. Hieruit kan in een oogopslag het zettinggedrag van de technieken worden bepaald voor het hoge en lage gedeelte.

In figuur 4 zijn de constructiekosten uit tabel 1 gerelateerd aan de LRS-waarden voor de verschillende technieken. In deze kosten-baten grafiek geeft de horizontale peil de maximale kosten en de verticale peil de maximale restzetting.

Alle toetsingsmethoden voor de zettingen

## TOETSING AANLEGKOSTEN NO-RECESS ONTWERPEN

aan HSL referentie (prijspeil 1999)

Baan	InGeoInfo object	Lage baan (NLG/m)	Hoge baan (NLG/m)
HW1	Zandlichaam	1500	5800
	Referentie	300	700
	Totaal	<b>1800</b>	<b>6500</b>
HW2	Zandlichaam	900	3800
	Grondkolommen	4900	7300
	Gestabiliseerde grondkolommen		
Totaal	<b>5800</b>	<b>11100</b>	
HW3	Zandlichaam	200	2100
	Grondwanden		
	Belasting spreidende laag	0	2400
	Gestabiliseerde grondwanden	7500	8100
Totaal	<b>7700</b>	<b>12600</b>	
HW4	Zandlichaam	1800	3000
	Zandkolommen	2100	3200
	Belasting spreidende laag	2300	4400
	Ommantelde kolommen		
Totaal	<b>6200</b>	<b>10600</b>	
HW5	Gestabiliseerd grondlichaam	400	5200
	Augeo		
	Belasting spreidende laag	1000	1700
	AuGeo palen	1200	3300
Totaal	<b>2600</b>	<b>10200</b>	
HSL	Prefab betonpalen	8000	10100
	Referentie		
	Bovendeck van gewapend beton	11350	11350
Totaal	<b>19350</b>	<b>21450</b>	

## EISEN VERSUS WENSEN

Testbaan	HSL#	1HSL#2	RWS#1	RWS#2
	restzetting	overgang	restzetting	bouwzetting
HW1	Hoog	rood	rood	rood
	Laag	rood	-	rood
HW2	Hoog	rood	rood	rood
	Laag	groen	-	groen
HW3	Hoog	rood	rood	rood
	Laag	groen	-	groen
HW4	Hoog	rood	rood	rood
	Laag	rood	-	groen
HW5	Hoog	groen	groen	groen
	Laag	groen	-	groen

## CONTROLLERICHTLIJN DEUTSCHE BAHN

Testbaan	DB#1	DB#2
	dynamische stabiliteit	bruikbaarheid
HW1	Hoog	oranje
	Laag	oranje
HW2	Hoog	oranje
	Laag	groen
HW3	Hoog	groen
	Laag	groen
HW4	Hoog	oranje
	Laag	groen
HW5	Hoog	groen
	Laag	groen

Zoals voorspeld komen de gestabiliseerde grondwanden zeer goed uit deze beproeving.

leiden tot dezelfde conclusies zoals vermeld in tabel 2. Het blijkt dat HW1 het slechtste scoort. HW3 komt als beste grondverbeteringstechniek naar voren. HW5 voldoet overeenkomstig de verwachting.

### Toetsing dynamische stabiliteit aan Deutsche Bahn richtlijnen.

De dynamische stabiliteit van de hoge en lage aardebanen is getest met het DyStaFiT apparaat waarmee de Deutsche Bahn ook zijn aardebanen laat testen. De DyStaFiT bestaat uit een vibrerende plaat met een diameter van 2,5 meter waarmee een aslast kan worden gesimuleerd (foto 3). Het volgende programma is afgewerkt voor de hoge en lage aardebanen:

1. Statisch belasten: 23-45-60-23 kN/m<sup>2</sup>.
2. Simulatie trein van 200 km/h: 100.000 lastwisselingen met 25 Hz.
3. Dynamische belasting: 10.000 lastwisselingen voor verschillende frequenties van 7,5 Hz met stappen van 2,5 Hz tot 42,5 Hz.
4. Simulatie trein van 300 km/h: 1.000.000 lastwisselingen met frequenties tussen 26 en 29 Hz.
5. Ontlasten tot 23 kN/m<sup>2</sup>.

Uit het onderzoek blijkt dat de aardebanen zeer ongelijkmatig verdicht zijn, hetgeen leidt tot potentiële zettingen en verschil zettingen bij dynamische belastingen. In tabel 3 zijn de metingen getoetst aan de richtlijnen voor de Deutsche Bahn.

Zoals voorspeld komen de gestabiliseerde grondwanden zeer goed uit deze beproeving.

### Durf nodig

De concepten van gestabiliseerde grondwanden of een fijnmazig stramien van gedrukte palen lijken zeer aantrekkelijke oplossingsrichtingen te zijn voor de fundering van een aardebaan voor (spoor) wegen in Nederland.

Marktpartijen die nieuwe 'geotechnische' machines of methoden ontwikkelen, en opdrachtgevers die innovatieve onderbouwconcepten durven toe te passen, zijn noodzakelijk voor een verdere introductie van deze nieuwe technieken. ●

*Jan Dirk van Duijvenbode, Aart van den Berg zijn beiden werkzaam bij Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde*