



Leo Kwakman, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier / Arcadis

Nelle Jan van Veen, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier / HKV Lijn in water

Erik van Soest, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

# Grote wateroverspanningen bij praktijkproeven verkeersbelasting op waterkering

**De dijken en kaden in Nederland worden periodiek beoordeeld op hun waterkerende functie. Een belangrijk onderdeel van deze beoordeling is de toetsing van de macrostabiliteit. Dat gebeurt onder andere door zware verkeersbelasting. Vooral bij de veelal smalle boezemkaden met steile taluds heeft de verkeersbelasting een grote (negatieve) invloed op de stabiliteit. Dit leidt in veel gevallen tot het afkeuren en aansluitend versterken van deze kaden. Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft als dijkbeheerder daarom op drie locaties een statische en dynamische praktijkproef uitgevoerd om dit aspect nader te onderzoeken.**

De invloed van een verkeersbelasting op de stabiliteitsberekening bestaat uit twee componenten: de grootte van de verkeersbelasting en de mate van wateroverspanning die de belasting genereert in de ondergrond. Ten aanzien van de wateroverspanningen bestaan grote onzekerheden. De leidraad<sup>1)</sup> stelt dat een verkeersbelasting vrijwel altijd een kortdurende belasting is, waarop de grond vrijwel ongedraineerd zal reageren. Zodoende beveelt de leidraad aan om met 100 procent wateroverspanning rekening te houden, ofwel 0 procent aanpassing. Uit verkennend onderzoek<sup>2)</sup> blijkt echter dat dit uitgangspunt mogelijk te conservatief is. Dit onderzoek is echter ontoereikend als onderbouwing voor een algemeen geldende optimalisatie van het aanpassingspercentage. De leidraad introduceert wel de mogelijkheid om een afwijkend aanpassingspercentage te hanteren onder de voorwaarde dat de beheerder dit aantoont op basis van lokaal onderzoek<sup>3)</sup>. De praktijkproeven zijn uitgevoerd door Arcadis en Inpijn Blokpoel.

## Opzet praktijkproeven verkeersbelasting

Het meest ongunstige scenario voor een verkeersbelasting betreft een rij vrachtwagens die gedurende meerdere uren op dezelfde locatie blijven staan, bijvoorbeeld zandwagens bij een calamiteit. Voor de



**Afb. 1:** De drie onderzoekslocaties voor de statische en dynamische verkeersbelastingproeven (1. Starnmeer, 2. Beetskoog, 3. Nauernasche vaart).

praktijkproeven is daarom gedurende een periode van 48 tot 72 uur een statische belasting aangebracht. Op deze manier wordt inzichtelijk of de wateroverspanningen blijven toenemen of dat deze na enkele uren een maximum bereiken. Daarnaast is voor alle drie de locaties voorafgaand aan

de statische proef een dynamische proef uitgevoerd. Er is met tussenpozen van één minuut zesmaal een kortdurende belasting aangebracht.

Om de waterspanningen te monitoren zijn per locatie vier speciaal aangepaste waterspanningsmeters geplaatst: drie waterspan-



Installatie waterspanningsmeters.



Aangebrachte belasting langs Starnmeerdijk.

ningsmeters op verschillende dieptes in de ondergrond om de verhoging van de waterspanning als gevolg van een verkeersbelasting te meten en één waterspanningsmeter als referentie om variaties als gevolg van bijvoorbeeld neerslag te meten (zie kader en afbeelding 2 voor een schematische weergave van de geplaatste waterspanningsmeters in dwars- en langsaanzicht). De waterspanningen zijn gedurende enkele weken gemeten, twee weken voor de plaatsing van de 'verkeers'belasting en nog enkele dagen na het verwijderen van de belasting.

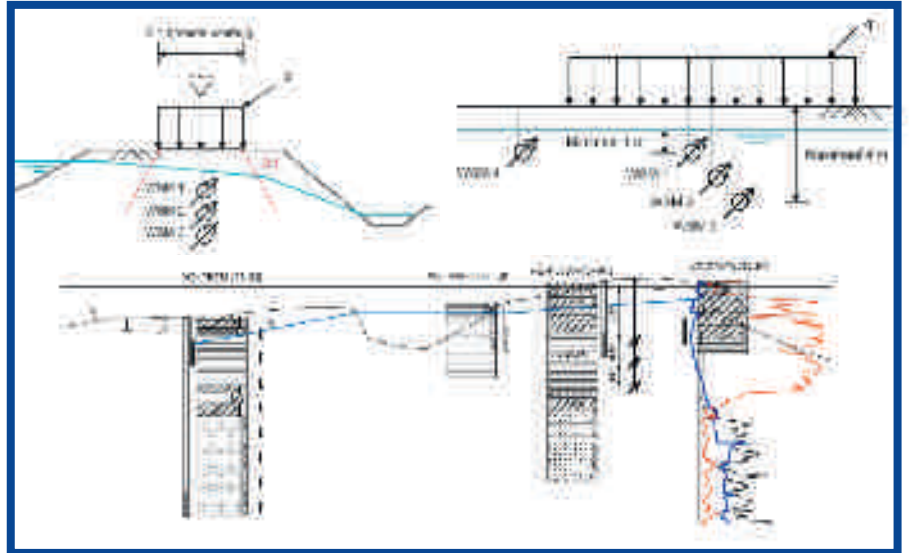
### Resultaten waterspanningsmetingen

De verkeersbelastingproeven zijn met succes uitgevoerd. Op alle onderzoekslocaties zijn veelal aanzienlijke wateroverspanningen gemeten als gevolg van de aangebrachte belasting. Tussen de waterspanningsmeters onderling worden wel grote verschillen gemeten.

Enkele opvallende resultaten zijn:

- Bij de diepst gelegen sensoren zijn consequent (relatief) hoge waterspanningen gemeten, mogelijke verklaring is de boogwerking van de ondergrond en de wegconstructie, waardoor net onder de wegconstructie relatief lage spanningen worden gemeten;
- In een aantal gevallen neemt de wateroverspanning na het verwijderen van de verkeersbelasting niet of zeer beperkt af, mogelijk is daar sprake van een permanente deformatie en duurt het veel langer voor de wateroverspanningen dissiperen;
- Voor deze onderzoekslocaties is geen relatie gevonden tussen de grondsoort (klei of veen) en de gemeten wateroverspanningen.

Voor deze proeven is gebruik gemaakt van speciaal aangepaste waterspanningsmeters. De meter moet over een relatief korte tijdsperiode (seconden) veranderingen in de waterspanning kunnen registreren. Daarnaast moet voorkomen worden dat de aanwezige kleilagen het filter kunnen verstopen en daarmee de meetresultaten beïnvloeden. Om dit te bereiken is de waterspanningsmeting met een doorlatende ring uitgevoerd met eenzelfde diameter als de waterspanningsmeter (net als bij een waterspanningsmeting in een piëzoconus bij sonderen) in plaats van de standaard vier gaatjes met filter.



Afb. 2: Schematische weergave van de geplaatste waterspanningsmeters in dwars- en langsaanzicht.

De afbeeldingen 3 en 4 tonen de resultaten van de diepst gelegen waterspanningsmeter in de Nauernasche Vaardijk. Afbeelding 3 geeft de meting van de statische verkeersbelastingproef weer; hier is lokaal een toename van de waterspanningen gemeten van circa 30 centimeter ofwel  $3 \text{ kN/m}^2$ . De aangebrachte belasting bedroeg  $10,9 \text{ kN/m}^2$  op deze locatie. Afbeelding 4 geeft de meting weer gedurende de dynamische belastingproef; op deze locatie wordt binnen enkele seconden na het plaatsen van de belasting al een respons gemeten. Het zesmaal plaatsen en verwijderen van de belasting is goed zichtbaar in de metingen. Opvallend is de cumulatieve toename van de waterspanningen; de waterspanningen bouwen aanzienlijk sneller op dan dat ze dissiperen.

### Vertaling naar aanpassingspercentage

Om de vertaling te kunnen maken van de aangebrachte belasting en de gemeten wateroverspanningen naar een aanpassingspercentage, is berekend hoe de belasting zich spreidt in de ondergrond. Deze volgt namelijk niet direct uit de metingen. Het berekenen van de spreiding van de belasting in de ondergrond betreft de meest onzekere factor in de proef.

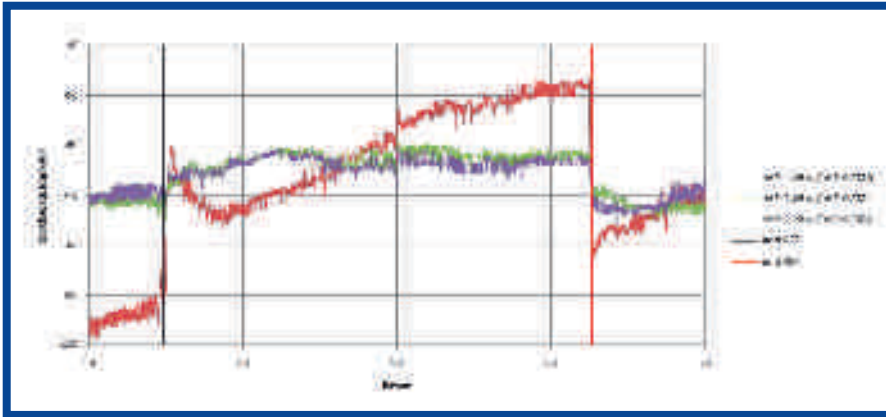
Afhankelijk van de gekozen rekenmethode wordt een ander aanpassingspercentage berekend. Om deze onzekerheid goed in kaart te brengen, is de spreiding daarom zowel berekend op basis van vuistregels (dit betreft een bovengrenswaarde) als op geavanceerde wijze met behulp van het eindige elementenmodel Plaxis 2D 2010.

In afbeelding 5 is de uitvoer van Plaxis weergegeven voor de Nauernasche vaardijk. Bij de diepste sensor is op basis van de belastingspreiding een toename berekend tussen  $1,9$  tot  $4,3 \text{ kN/m}^2$ . De gemeten toename betrof  $3,3 \text{ kN/m}^2$ , dit betekent dat de wateroverspanning als gevolg van de aangebrachte belasting voor deze sensor tussen de 75 en 100 procent<sup>4)</sup> ligt, ofwel 0 procent aanpassing. Voor de andere onderzoekslocaties zijn voor de diepe sensoren vergelijkbare resultaten berekend. Voor de hogere gelegen sensoren zijn lagere wateroverspanningen berekend, maar deze zijn vaak toch nog aanzienlijk, in het gunstigste geval 30 tot 45 procent. Het is echter niet na te gaan of nu daadwerkelijk sprake is van een lagere respons of dat lagere wateroverspanningen optreden vanwege bijvoorbeeld sterke boogwerking door het aanwezige wegcunet.

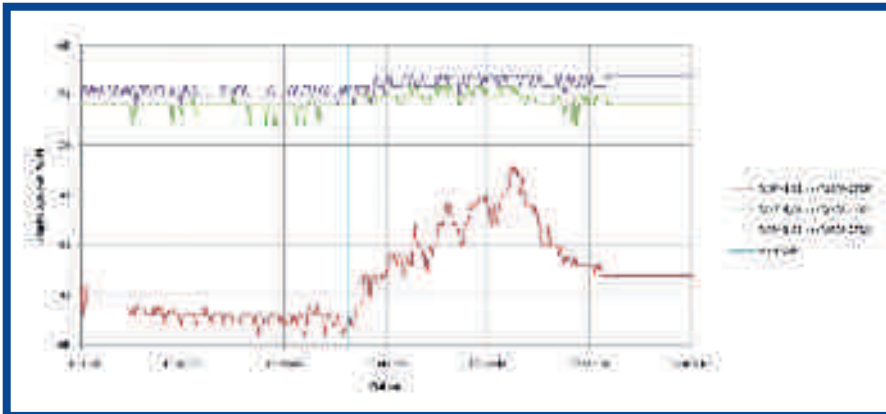
### Conclusie

Op basis van verkennend onderzoek stelt de leidraad<sup>5)</sup> dat de bestaande regels voor de berekening van de stabiliteit van kaden bij een zware verkeersbelasting mogelijk te conservatief zijn. Dit zou kunnen resulteren in het onnodig afkeuren en aansluitend versterken van deze kaden. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier voerde daarom op drie locaties praktijkproeven met een verkeersbelasting uit.

De resultaten van deze proeven geven geen eenduidig beeld. Zijn de grote verschillen in de gemeten waterspanningen het gevolg van sterke belastingspreiding of is inderdaad sprake van een geringe respons op de aangebrachte belasting? Dit is niet geheel duidelijk. De proeven tonen echter wel aan

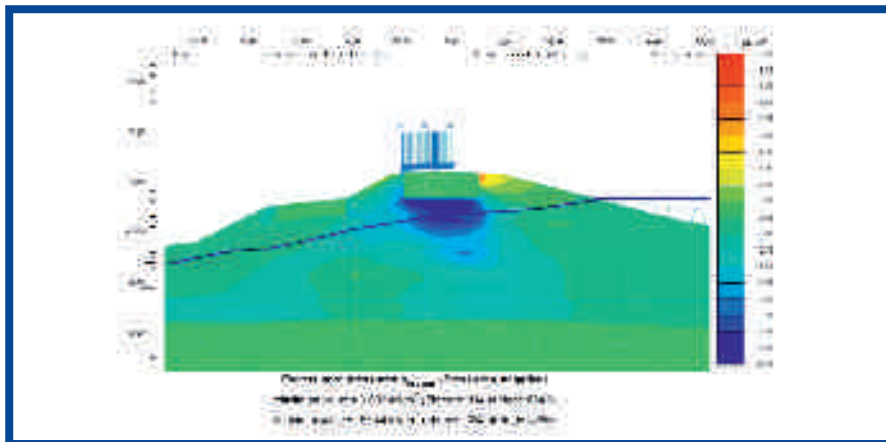


Afb. 3: Resultaten statische verkeersbelastingproef ter hoogte van de Nauernasche vaart, diepste sensor.



Afb. 4: Resultaten dynamische verkeersbelastingproef ter hoogte van de Nauernasche vaart, diepste sensor.

Afb. 5: Berekening wateroverspanningen in Plaxis.



dat grote wateroverspanningen optreden. Op enkele meters onder het maaiveld treedt waarschijnlijk een respons op van 100% op de aangebrachte belasting wanneer deze gedurende een langere tijd (enkele uren) op dezelfde locatie aanwezig is. In de ondieper gelegen lagen is de berekende respons lager. Dit kan echter ook het gevolg zijn van een sterke boogwerking door het aanwezige wegcunet. Hierdoor treden recht onder de belasting lagere wateroverspanningen op. Dit sluit echter niet uit dat op andere locaties op deze diepte wel hoge wateroverspanningen optreden.

Gezien deze resultaten heeft Hollands Noorderkwartier besloten dat de regels ten aanzien van de optredende wateroverspanning door verkeersbelastingen onveranderd van toepassing blijven. De resultaten geven wel aanleiding om de rekenregels voor de belastingspreiding nader te beoordelen. Rekenen met lagere wateroverspanningen over een grotere breedte resulteert in een gunstiger oordeel ten aanzien van de sterkte van de waterkering.

Het is aan te bevelen om bij een vervolgonderzoek meer aandacht te besteden aan de belastingspreiding en invloed van eventuele boogwerking. Eén van de mogelijkheden om deze aspecten beter in kaart te brengen is het plaatsen van waterspanningsmeters in zowel breedte als de diepterichting.

#### NOTEN

- 1) De beoordeling van de waterkerende functie van de boezemkaden wordt uitgevoerd conform het Addendum op de Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden.
- 2) STOWA, ORK 200916, Onderzoek naar de schematisering van verkeersbelasting op kades.
- 3) In het Addendum is een onderzoeksprotocol opgenomen voor het meten van waterspanningen bij verkeersbelastingen.
- 4) Theoretisch wordt een hogere respons berekend dan 100 procent, aangezien dit fysisch onmogelijk is wordt 100 procent aangehouden.
- 5) De beoordeling van de waterkerende functie van de boezemkaden wordt uitgevoerd conform het Addendum op de Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden.

advertentie

**NIEUW**  
**Energiemonitoring, OMS 5.1**  
 Bezoek ons op de  
 Rioleringsvakdagen / Aqua Nederland Vakbeurs  
 standnummer 525

## ICT-innovator voor de watersector

I-Real heeft haar specialistische kennis van websoftware, open telemetrie, GIS en gegevensopslag samengevoegd in het telemetrie- en procesautomatiseringssysteem **H2gO**.

I-Real is tevens uw partner voor koppelingen tussen diverse ICT-(telemetrie)systemen, onderhoudsmanagement-software, PLC-programmering, gegevensverwerking, maatwerkoplossingen, advies en onderzoek.



POSTBUS 593, 7000 AN DOETINCHEM. T: +31 (0)314 366600 E: INFO@I-REAL.NL I: WWW.I-REAL.NL