

Memo

Aan
Waterschap Noorderzijlvest, T.a.v. dhr. W. Karten

Datum	Kenmerk	Aantal pagina's
16 maart 2017	1220173-040-0003	8
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Mark Klein Breteler	+31(0)88335 8244	mark.kleinbreteler@deltares.nl

Onderwerp
Herstelmaatregelen voor de bekleding van de dijk Eemshaven - Delfzijl

1 Vraagstelling

Voor het ontwerp van de verbetering van de dijk Eemshaven - Delfzijl dient ook rekening gehouden te worden met aardbevingen. Uitgangspunt vormen de berekeningen van de te verwachten vervormingen door de maatgevende aardbeving. Fugro heeft deze berekeningen uitgevoerd in opdracht van NAM en heeft hierover in concept gerapporteerd in een rapport¹ en een memo². Volgens de berekeningen zal de maximale kruindaling ongeveer 0,3 m bedragen, en de horizontale verplaatsing van de binnenteen maximaal 1,0 m.

De waarden van de kruindaling zijn langs het hele traject Eemshaven – Delfzijl aanzienlijk kleiner dan de maximaal toelaatbare waarde van 3 m. De kans op een overstroming is daarmee kleiner dan de wettelijk vereiste waarde.

Vervormingen van de dijk na een aardbeving zullen echter ook de dijkbekleding kunnen aantasten. Daarom wil Waterschap Noorderzijlvest in het ontwerp en het beheer hier zoveel mogelijk rekening mee houden. Een uitgangspunt hierbij is dat de te verwachten schade aan de dijk binnen drie maanden zal worden hersteld.

Op 15 februari is Deltares gevraagd om hierover mee te denken met het Waterschap Noorderzijlvest. In het onderstaande gaan wij in op:

- De grootte van de verwachte vervormingen
- De gevolgen voor de dijkbekleding
- De omvang van de schade
- De hersteltijd van drie maanden
- De mogelijke beheersmaatregelen die tot doel hebben herstel binnen drie maanden mogelijk te maken
- Verdere uitwerking van de beheersmaatregelen.

¹ Fugro (2017a). Evaluation of dynamic stability using code calibrated design parameters Eemshaven – Delfzijl levee The Netherlands. Versie 00, project no. 1016-0459-000. Maart 2017.

² Fugro (2017b) Evaluation of dynamic stability of levee sections 37.5 km and 36.0 km using code calibrated design parameters, Eemshaven-Delfzijl Levee, Groningen, The Netherlands. Project Memorandum. 9 maart 2017.

2 Verwachte vervormingen

Tabel 2.1 geeft de berekende vervormingen in de volgende vijf profielen:

- vak A, profiel km 38,0, representatief voor de strekking van km 38,5 tot 37,9;
- vak B, profiel km 37,5, representatief voor de strekking van km 37,9 tot 37,1;
- vak D, profiel km 36,0, representatief voor de strekking van km 36,3 tot 36,0;
- vak K, profiel km 29,4, representatief voor de strekking van km 29,5 tot 29,0 (de “zanddijk”);
- vak L, profiel km 27,5, representatief voor de strekking van km 28,6 tot 27,4.

Fugro heeft de vervormingen berekend voor 11 aardbevingssignalen, alle met de materiaalmodellen UBCSAND en PM4SAND. Tabel 2.1 geeft de gemiddelde en maximale waarden van de post-seismische vervorming voor alle aardbevingssignalen en modellen. Op alle vervormingen is de modelfactor toegepast die is bepaald in de code calibration³.

vak / profiel	daling binnenkruin (post-seismisch) [m]		horizontale verplaatsing teen (post-seismisch) [m]	
	gemiddeld	Maximaal	gemiddeld	maximaal
A – km 38,0	0,12	0,23	0,24	0,51
B – km 37,5	0,04	0,08	0,13	0,28
D – km 36,0	0,06	0,12	0,11	0,21
K – km 29,4	0,12	0,27	0,20	0,69
L – km 27,5	0,15	0,33	0,46	0,99

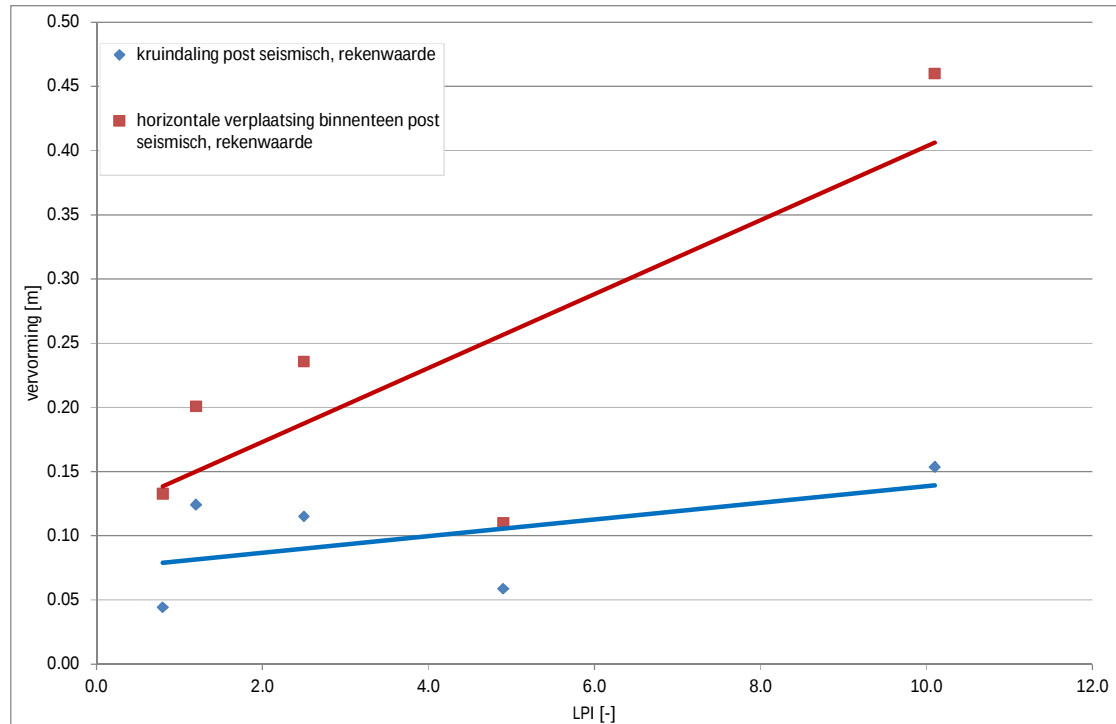
Tabel 2.1 Berekende vervormingen, na toepassing van de modelfactor volgens de code calibration.

De vervormingen zijn het grootste in de profielen: vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5. Van deze profielen is alleen vak L – km 27,5 in de in de LPI screening⁴ als kritisch aangegeven.

Figuur 2.1 geeft het verband tussen LPI waarde en de vervormingen. Hieruit blijkt dat de horizontale verplaatsing van de teen toeneemt met de LPI waarde. Het verband tussen LPI en kruindaling is bij deze lage LPI waarden minder duidelijk.

³ Jongejan, R.; Chacko, J.; Drosos, V. (2017b). 'Code calibration for coupled, effective stress FEM-assessments of the primary flood defenses at Eemshaven-Delfzijl' Final report, 28 februari 2017.

⁴ Deltares, Fugro (2017d) 'LPI screening for the Eemshaven-Delfzijl levee'. Final report, 1220173-024-GEO-0067, 28 februari 2017



Figuur 2.1: Verband tussen LPI en vervormingen.

Tabel 2.2 geeft de horizontale rekken die optreden aan het oppervlak van de dijk; dit zijn de rekken in de ondergrond die de dijkbekleding zal moeten volgen.

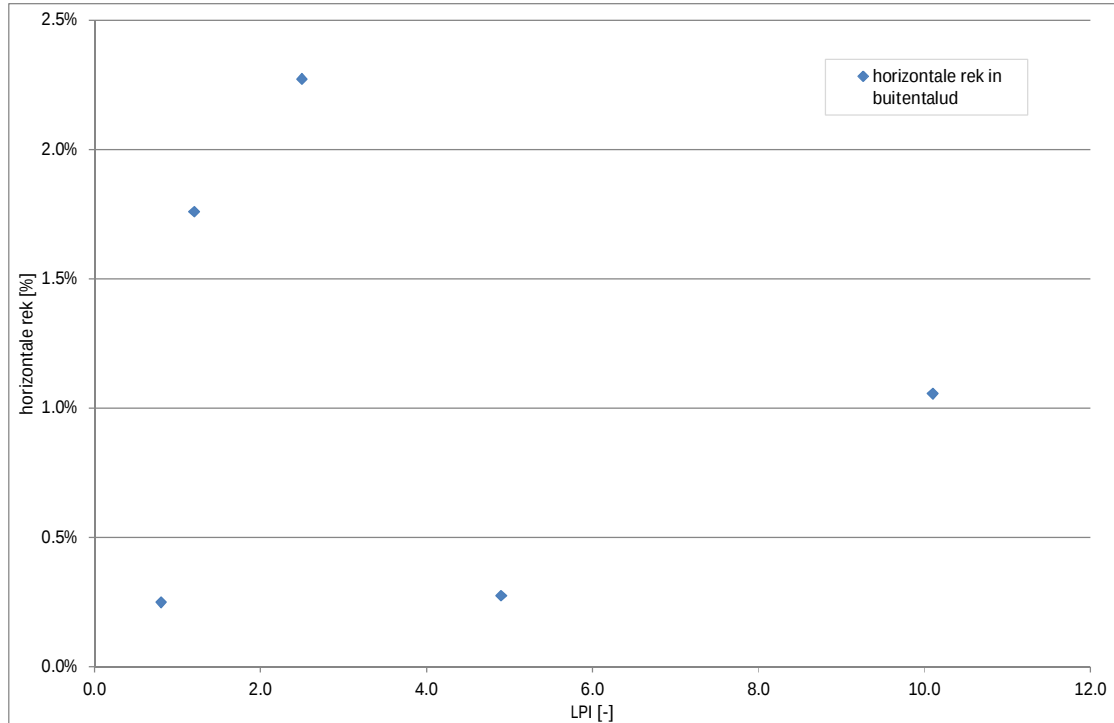
De rekken zijn afgeleid uit de contourplots van de horizontale vervormingen direct na de aardbeving, voor aardbevingssignaal 4 en het UBCSAND model. De vervormingen bij dit signaal zijn representatief voor het gemiddelde van de vervormingen berekend voor alle signalen. Op de rekken is de modelfactor uit de code calibration toegepast.

vak / profiel	Locatie	maximale horizontale rek
A – km 38,0	buitentussenberm-buitentalud	2,3 %
A – km 38,0	buitentalud-binnentalud	0,8 %
B – km 37,5	buitentalud-binnentalud	0,2 %
D – km 36,0	buitenkruin-berm	0,3 %
K – km 29,4	Buitentalud	1,8 %
K – km 29,4	buitentalud-binnentalud	1,0 %
L – km 27,5	buitentalud-binnenkruin	1,1 %

Tabel 2.2 Berekende horizontale rekken in de dijk onder de bekleding, na toepassing van de modelfactor volgens de code calibration.

De rekken zijn het grootste in de profielen de in de LPI screening als kritisch zijn aangegeven: vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5.

Figuur 2.2 geeft het verband tussen de horizontale rek in de dijk onder de bekleding en de LPI waarde. Uit de figuur blijkt dat de LPI geen voorspellende waarde heeft voor de horizontale rek in de dijk onder de bekleding.



Figuur 2.2: Verband tussen LPI en horizontale rek in de dijk onder de bekleding van het buitentalud.

3 Gevolgen voor de dijkbekleding

3.1 Scheurvorming in de bekleding

Een belangrijk deel van de dijkbekleding van de dijk Eemshaven - Delfzijl bestaat uit Noorse steen die ingegoten is met beton. Deze voldoet aan de eisen en wordt gehandhaafd. Op andere delen heeft de aannemerscombinatie voorgesteld om een dijkbekleding aan te brengen die bestaat uit breuksteen die ingegoten gaat worden met beton.

Beide bekledingen zullen bij de te verwachten vervormingen bij een aardbeving plaatselijk gaan scheuren. Deze scheuren in de bekleding zullen de stabiliteit tegen golfaanval doen verminderen.

Ondanks de scheuren zal de bekleding nog geruime tijd een behoorlijke golfbelasting kunnen weerstaan. Er zal echter zand gaan uitspoelen door de scheuren op de locaties waar de bekleding direct op zand is aangebracht, waardoor de bekleding ondermijnd raakt en verder verzwakt.

In alle profielen ligt de bekleding over de bovenste meters tot de kruin op zand. Dit is de zone waar volgens de berekeningen van Fugro nog belangrijke vervormingen optreden. De 'zanddijk' is dus niet de enige strekking die kwetsbaar is voor uitspoeling na scheurvorming in de bekleding.

3.2 Kruindaling

Door de kruindaling verliest de dijk kerende hoogte. Deze moet na een aardbeving worden hersteld.

4 Omvang van de schade

4.1 Scheurvorming in de bekleding

In de profielen vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5 zijn kruindaling en horizontale rekken zodanig dat vrijwel zeker schade zal optreden. Deze profielen zijn representatief voor de strekkingen:

- vak A, profiel km 38,0: representatief voor de strekking van km 38,5 tot 37,9;
- vak K, profiel km 29,4: representatief voor de strekking van km 29,5 tot 29,0 (de “zanddijk”);
- vak L, profiel km 27,5: representatief voor de strekking van km 28,6 tot 27,4.

De totale lengte van deze strekkingen bedraagt 2,3 km.

Het is niet zeker dat er geen schade optreedt in de overige profielen. Volgens Figuur 2.2 betekent een lage LPI waarde (beneden 5) niet dat de horizontale rek in de dijk onder de bekleding laag is. De omvang van de schade in de overige profielen is daarom op basis van de LPI niet vast te stellen. De kans op schade is klein op locaties waar weinig verweekbare afzettingen aanwezig zijn.

Een indicatie van de totale lengte waar schade kan optreden is 4,6 km; dit is de totale lengte waar verweekbare afzettingen van enige dikte onder de dijk voorkomen. Deze lengte is inclusief de 2,3 km in de vakken A, K en L.

4.2 Kruindaling

In de profielen vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5 is de kruindaling in de orde 0,2 tot 0,3 m. Deze profielen zijn representatief voor de strekkingen:

- vak A, profiel km 38,0: representatief voor de strekking van km 38,5 tot 37,9;
- vak K, profiel km 29,4: representatief voor de strekking van km 29,5 tot 29,0 (de “zanddijk”);
- vak L, profiel km 27,5: representatief voor de strekking van km 28,6 tot 27,4.

De totale lengte van deze strekkingen bedraagt 2,3 km.

De kruindaling in de overige profielen met een lage LPI waarde (ver beneden 5) kan nog in de orde 0,1 tot 0,2 m zijn, zie Figuur 2.1. Deze kruindaling zou kunnen optreden waar in de ondergrond verweekbare afzettingen voorkomen.

Een indicatie van de totale lengte waar kruindaling kan optreden is 4,6 km; dit is de lengte waar verweekbare afzettingen van enige dikte onder de dijk voorkomen. Deze lengte is inclusief de 2,3 km in de vakken A, K en L.

5 De hersteltijd van drie maanden

Tijdens het stormseizoen, namelijk van 1 oktober tot 1 april, moeten de waterkeringen op volle sterkte zijn en moeten ze voldoen aan de criteria zoals geformuleerd in de Waterwet. Om hieraan te kunnen voldoen na het optreden van een grote aardbeving, zal er snel gewerkt moeten worden aan herstel. Als de aardbeving in april plaatsvindt, is er een half jaar de tijd, maar als deze in november plaatsvindt, zou de dijk eigenlijk direct weer hersteld moeten zijn. Praktisch gezien is het aanhouden van het gemiddelde van deze twee uitersten, namelijk drie maanden, een logische keuze. Hiermee wordt op praktische wijze aangesloten op de eis dat de dijk tussen 1 oktober en 1 april moet voldoen aan de criteria in de Waterwet.

6 Beheersmaatregelen

Zodra er een aardbeving is geweest die de vervormingen tot gevolg heeft, zal er snel gewerkt moeten worden om binnen drie maanden de schade te herstellen. Enerzijds zal de kruin weer verhoogd moeten worden met klei en anderzijds zullen de scheuren gevuld moeten worden met beton of gietasfalt. In een later stadium moeten wellicht delen van de bekleding vervangen worden.

Als preventieve beheersmaatregelen, die tot doel hebben de consequenties van een aardbeving te verminderen en het vlotte herstel mogelijk te maken, wordt het volgende voorgesteld:

- Aanbevolen wordt om een kleidepot aan de binnenzijde van de dijk aan te leggen, die benut kan worden om de dijk weer op hoogte te brengen. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van een extra brede binnenberm, die ook nog wat extra steun geeft tegen verzakkingen tijdens de aardbeving.
- Daar waar een nieuwe dijkbekleding van ingegoten breuksteen op een geotextiel op zand wordt aangelegd (zoals de 'zanddijk' tussen km 29,0 en 29,5), wordt aanbevolen om een tweede geotextiel toe te passen. Dit tweede geotextiel moet zo dicht mogelijk onder het bovenste geotextiel en de ingegoten breuksteen liggen, maar moet niet vastplakken aan de gietmortel die toegepast wordt in de toplaag. Afhankelijk van het type geotextiel kunnen beide waarschijnlijk op elkaar worden toegepast.
- Aanbevolen wordt om de onderhoudsweg niet stijf tegen het boventalud te leggen, maar circa 2 m te verleggen richting de polder. Daardoor ontstaat de ruimte om de dijk weer op hoogte te brengen na de aardbeving. Hierdoor ontstaat ook de ruimte om de knik tussen boventalud en berm af te ronden, waardoor de dijk beter overslagbestendig wordt.
- Er kan een meetsysteem worden aangelegd in de kruin van de dijk om vervormingen te detecteren. De metingen helpen om snel de omvang van de schade vast te stellen en het herstel te prioriteren. Het meetsysteem kan bijvoorbeeld met glasvezeltechniek gerealiseerd worden.

Technisch gesproken maken deze preventieve maatregelen het mogelijk het herstel binnen drie maanden te realiseren. De werkelijke hersteltijd zal echter ook worden bepaald door bijvoorbeeld inkoopprocedures.

7 Verdere uitwerking van de beheersmaatregelen

Bovenstaande preventieve beheersmaatregelen moeten verder worden uitgewerkt. De uitwerking kan de volgende stappen omvatten:

- 1 Bepaling van de maatgevende kruindaling en horizontale vervormingen van de dijk in een aantal niet-kritische profielen. Over deze berekeningen zijn nog geen afspraken gemaakt.
- 2 Per profiel: verifiëren of de ondergrond van de dijkbekleding ter plaatse van de grootste vervormingen uit zand of klei bestaat.
- 3 Per profiel: vaststellen van de mogelijke beheersmaatregelen voor herstel van schade aan de dijkbekleding. Deltares kan hierover adviseren.
- 4 Keuze van de beheersmaatregelen per profiel / strekking in combinatie met de wijze van implementatie door Waterschap Noorderzijlvest, zodanig dat het herstel binnen drie maanden kan worden gerealiseerd.

Voor de communicatie omtrent de te verwachten kruindaling met niet waterbouwers is het aan te bevelen om de kruindaling op ware schaal in het dwarsprofiel in te tekenen. Dit zal duidelijk maken dat ten opzichte van de enorme afmetingen van deze dijk de kruindaling slechts beperkt is.

8 Conclusies

Het rapport en het memo van Fugro over de berekeningen zijn nog niet volledig gereviewd. De conclusies in het onderstaande worden gegeven onder voorbehoud van een goedkeurende review.

- Bij de maatgevende aardbeving wordt een maximale kruindaling van circa 0,3 m verwacht op een aantal plaatsen langs de dijk, en een maximale horizontale verplaatsing van de binnentoe van 1,0 m.
- De kruindaling, horizontale verplaatsing van de teen en de horizontale rek onder de bekleding zijn het grootste in de profielen die in de LPI screening als kritisch zijn aangegeven: vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5. Voor de overige, niet-kritische strekkingen zullen de vervormingen kleiner zijn dan de waarden in deze profielen. Het is niet zeker of de horizontale rekken in de dijk onder de bekleding kleiner zijn.
- De dijkbekleding zal bij de berekende kruindaling en horizontale rekken plaatselijk gaan scheuren. Deze scheuren in de bekleding zullen de stabiliteit tegen golfaanval doen verminderen. Door kruindaling verliest de dijk kerende hoogte. Deze moet na een aardbeving worden hersteld.
- In de profielen vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5 zijn kruindaling en horizontale rekken zodanig dat vrijwel zeker scheurvorming in de bekleding zal optreden. Het is niet zeker dat er geen schade optreedt in de overige profielen die in de LPI screening als niet-kritisch zijn aangemerkt. De LPI is geen goede indicator van de horizontale rekken in de dijk onder de bekleding. Scheurvorming in de bekleding kan daarom optreden waar verweekbare lagen van enige dikte aanwezig zijn. Dit is een lengte van circa 4,6 km.
- In de profielen vak A – km 38,0, vak K – km 29,4 en vak L – km 27,5 bedraagt de maximale kruindaling 0,2 tot 0,3 m. Dit betreft een totale lengte van 2,3 km. De

kruindaling in de overige profielen met een lage LPI waarde (ver beneden 5) kan nog in de orde 0,1 tot 0,2 m zijn. Deze kruindaling zou kunnen optreden waar in de ondergrond verweekbare afzettingen voorkomen maar lage LPI waarden zijn gevonden, over een lengte van 2,3 km.

- De hersteltijd van drie maanden sluit op praktische wijze aan op de eis dat de dijk tussen 1 oktober en 1 april moet voldoen aan de criteria in de Waterwet.
- Op de plaats in het profiel waar de kruindaling optreedt is de ondergrond onder de bekleding in alle profielen kwetsbaar voor uitspoeling. De kwetsbaarheid is niet beperkt tot de 'zanddijk' tussen km 29.5 en 29.0.
- Er is een viertal preventieve maatregelen mogelijk die technisch gesproken herstel binnen drie maanden mogelijk maken: aanleg van kleidepots, aanbrengen van een extra geotextiel onder de dijkbekleding, verplaatsing van de onderhoudsweg met geringe aanpassing van het profiel, en het aanbrengen van een detectiesysteem voor vervormingen.
- Voor verdere uitwerking van de herstelmaatregelen zijn de volgende stappen nodig: berekening van de exacte vervormingen in kritische en niet-kritische profielen, bepaling van de ondergrond onder de bekleding ter plaatse van de grootste vervormingen, vaststellen van mogelijke beheersmaatregelen en het kiezen van de beheersmaatregelen in combinatie met de wijze van implementatie.

Kopie aan

Bert de Wolff (Waterschap Noorderzijlvest), Arjan Venmans;DELTARES