


POV-Macro stabiliteit

Plan van Aanpak
“Optimalisering vervormingseisen
stabiliteitsschermen in
waterkeringen”

POV

MACRO
STABILITEIT



Auteur: JvdS/MSa/AvH

Datum: 5 December 2015

Versie: 1

Inleiding

Dit plan van aanpak (PvA) is onderdeel van de Project Overstijgende Verkenning Macro stabiliteit (POVM). Het beschrijft de stappen die moeten worden ondernomen om te komen tot een antwoord op de vraag of - en zo ja hoe - het binnen het kader van de waterveiligheidseisen ('waterveilig') mogelijk is om meer vervorming toe te laten in stabiliteitsschermen in primaire waterkeringen en of dit tot goedkopere dijkversterking leidt.

Het POVM is opgenomen binnen het "Hoogwaterbeschermingsprogramma" (HWBP) en biedt de mogelijkheid voor waterschappen, bedrijfsleven en kennisinstituten samen te zoeken naar kansen om het faalmechanisme macro stabiliteit effectiever te kunnen aanpakken. Het uiteindelijke doel is om dijkversterkingen beter, sneller en goedkoper te kunnen uitvoeren. Dit onderzoek naar het verruimen van vervormingseisen lijkt hier een kans te bieden.

Vragen en signalen uit referentieprojecten zijn leidend voor de onderwerpen die binnen de POVM worden opgepakt. Het streven is om de inspanningen en resultaten van activiteiten binnen de POVM te verbinden aan HWBP referentieprojecten. Daarmee wordt bereikt dat de POVM de verbinding met de praktijk onderhoudt bij het concretiseren van onderzoeksvragen, maar ook om de stap te kunnen zetten naar praktische toepassing binnen projecten.

Voorliggende PvA is gekoppeld aan het HWBP project Veilige IJsseldijken Gouda (VIJG). Als de huidige vervormingseisen 'waterveilig' kunnen worden verruimd, dan kan hier een onverankerd damwandprofiel mogelijk volstaan op locaties waar nu een relatief zwaar verankerd damwandprofiel is voorzien. Het PvA is geschreven door Royal HaskoningDHV (betrokken adviseur bij het VIJG project).

Achtergrond

Tijdens de uitvoering van de projecten binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) is gebleken dat er geen actueel doelmatig ontwerp kader was voor het ontwerpen van stabiliteitsschermen in primaire waterkeringen. In opdracht van Waterschap Rivierenland is door Deltares een ontwerp kader voor stabiliteitsschermen in primaire waterkeringen opgesteld: "Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen, groene versie" (eerste versie dateert van maart 2012, laatste versie maart 2013). Achtereenvolgens zijn er achtergrond documenten opgesteld en aanvullende documenten opgesteld voor onder andere type I constructies welke specifiek zijn gegenereerd voor projecten.

Afgelopen jaren is de groene versie van de ontwerp richtlijn binnen HWBP projecten toegepast voor het ontwerpen van stabiliteitsschermen (met name damwanden) in primaire waterkeringen. De ontwerpen resulteerden in relatief zware en dure oplossingen. De waterschappen en het HWBP zijn op zoek naar mogelijke optimalisaties die leiden tot kostenbesparingen zonder tekort te doen aan de waterveiligheid.

In de vigerende ontwerprichtlijn voor stabiliteitsschermen in waterkeringen is een aantal vervormingseisen beschreven voor zowel de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) als de uiterste grenstoestand (UGT):

- Kruinzakking < 0,1 m in BGT;
- Horizontale verplaatsing constructie < 0,1 m in BGT;
- <2% van de wandlengte met een maximum van 0,5 m in UGT.

Deze eisen gelden ongeacht de hoogte en breedte van de kering en de locatie van de damwand. Zij leiden er toe dat stabiliteitsschermen in waterkeringen vaak uitgevoerd worden als een relatief zwaar verankerd scherm. Dit is niet alleen duur, het is ook onpraktisch:

- De installatie van de constructie met of zonder ankers is een uitdaging vanwege de meestal beperkte ruimte en de overlast op de omgeving;
- De constructie vormt een mogelijk obstakel voor de toekomstige dijkversterkingen;
- De autonome bodemdaling resulteert in een toenemende belasting op de constructie (ankerstangen en daaruit volgend verticale draagkracht van de wand). Hierdoor zijn zwaardere ankers en langere damwanden benodigd.

Met de uitvoering van dit PVA zal antwoord worden verkregen op de vragen:

- Welke zaken zijn van belang als het gaat om het verruimen van vervormingseisen voor stabiliteitsschermen in waterkeringen,
- Leidt het verruimen van vervormingseisen tot goedkopere waterveilige stabiliteitsschermen in praktische (project) toepassingen, en zo ja;
- Hoe kan hier het best praktisch mee worden omgegaan (in de vorm van een praktische aanbeveling).

De vraagstelling wordt onderzocht aan de hand van het project VIJG. Hierdoor kunnen kansen die het project VIJG eventueel biedt voor verzilvering in aanmerking komen.

Probleemanalyse

Binnen de vraagstelling spelen de volgende aspecten een dominante rol:

- De waterveiligheid beschouwd in samenhang met de nieuwe normering;
- Rekentechniek.

Hieronder volgt een toelichting.

Waterveiligheid en nieuwe normering

In de nieuwe normgeving, welke is gekoppeld aan een overstromingskans, geldt daadwerkelijk falen van de waterkering als uitgangspunt. Bij falen horen grote vervormingen. Vanuit dit uitgangspunt beschouwd zijn vervormingseisen die refereren aan een uiterste grenstoestand (UGT) niet relevant. In algemene zin geldt wel dat vervormingen nooit zo

groot mogen worden dat ze het inleidend mechanisme worden voor falen van de waterkering (bijvoorbeeld als gevolg van spleetvorming langs een waterkerend scherm, waardoor hydraulische kortsluiting ontstaat tussen watervoerende lagen, resulterend in een opdrijfmechanisme).

Het ligt voor de hand dat beperkingen ten aanzien van de verruiming van vervormingseisen gekoppeld zijn aan andere functies dan primair de waterveiligheid. Daarbij wordt gedacht aan eisen die volgen uit:

- Beheer- en onderhoudsoverwegingen (kosten-baten, 'lifecycle' kosten);
- Het gebruik van de waterkering als vluchtroute;
- Het gebruik van de waterkering als plek om op te wonen;
- Etc.

Achtergrond

De achtergrond bij de huidige vervormingseisen is niet volledig duidelijk.

Vanuit de vigerende richtlijnen is het wel begrijpelijk dat men de vervormingen van de damwand tot een praktisch minimum wilde beperken. In de vigerende normgeving geldt de ontwerpwaterstand als uitgangspunt (met daaraan gekoppeld een vooraf vastgelegde normkans van overschrijding). Onder deze ontwerpwaterstand dient met voldoende zekerheid te worden aangetoond dat het achterliggende land niet onderstroomt.

Een uitbuiging van de damwand leidt ook tot verticale vervorming. De kerende hoogte van de waterkering neemt hierdoor af. Het limiteren van de damwandvervormingen tot nog juist toelaatbare waarden leidde er in elk geval toe de gevolgen hiervan tot een veilig geachte bovengrens beperkt blijven.

De nieuwe normering neemt falen van de waterkering als uitgangspunt. Vervormingen zijn dan impliciet groot. De nog toelaatbare vervormingen in de gebruikstoestand zouden dan best maatgevend kunnen zijn boven bijvoorbeeld de toets op constructieve sterkte.

Om de kansen die het 'waterveilig' verruimen van de vervormingseisen biedt te kunnen onderzoeken is het nodig:

- De factoren te kennen die bepalend kunnen zijn voor het vastleggen van de beoogde vervormingseis;
- De vervormingseis te koppelen aan een kans dat de aan deze eis verbonden maximale vervorming wordt overschreden.

Factoren die van invloed zijn op het vastleggen van de vervormingseis kunnen verschillende achtergronden hebben. Het gaat veelal om functionele eisen en randvoorwaarden (waaronder dus ook eisen volgend uit gebruik, beheer- en onderhoud).

Zo zou men – als voorbeeld - kunnen eisen dat men de kans op grootonderhoud wil beperken tot eens in de 50 jaar, of de te accepteren kans dat de te beschouwen dijk niet meer begaanbaar is als vluchtroute willen koppelen aan een overall risicobenadering.

Veel van de invloedfactoren zijn generiek van aard en dus geldig voor veel dijkversterkingsprojecten. Maar, er zijn ook project-specifieke eisen van toepassing, denk

bijvoorbeeld aan de aanwezigheid van bebouwing – met cultuurhistorische waarde - op de waterkering waarvoor strenge vervormingsbeperkingen gelden.

Het zal enige inspanning vereisen – van verschillende partijen en stakeholders - om vast te stellen welke eis(en) onder welke omstandigheden ontwerpbepalend zijn.

Rekentechniek

Een aantal zaken veranderen onder de nieuwe normering:

- De nieuwe norm is gebaseerd op een overstromingskans - waarbij zowel de belasting (waterstand) als de weerstand (de sterke) als stochastische variabelen worden beschouwd. Verder worden de gevolgen van een nadrukkelijk in de norm-eis meegewogen (volgens de principes van een risicobenadering). Het falen van de waterkering geldt als uitgangspunt; eisen van toepassing op vervormingen in de uiterste grenstoestand zijn dan weinig zinvol;
- Binnen het nieuwe normstelsel zal het grondgedrag op een andere wijze in de rekensommen worden meegenomen en er wordt expliciet rekening gehouden met het feit dat dijkfalen vaak onder ongedraineerde afschuifcondities plaats vindt. Voor het toetsen en ontwerpen van groene dijken wordt het grondgedrag fysisch eenduidiger gemodelleerd en de parameterbepaling gebeurt bij grote rekken (critical state conditie). Het feit dat de sterkte-bepaling geschiedt bij grote rekken geschiedt, vraagt om het expliciet(er) vaststellen van de grootte van vervormingen (zie kader).

Achtergrond

In de huidige bezwijkanalyses wordt de weerstand tegen bezwijken getoetst aan de hand van effectieve (gedraineerde) sterkte parameters onder (a-priori) aanwezige maatgevende waterspanningscondities. De limietwaarde voor de in de rekensommen gehanteerde sterkte is daarbij gedefinieerd als de gemobiliseerde sterkte (in een triaxiaalproef of een direct simpel shear proef – een en ander afhankelijk van het type grondmateriaal) bij een rekpercentage variërend tussen 2 % en 5 % rek. Deze manier van modelleren (rekenen) heeft lang tot bevredigende dijkontwerpen geleid, maar is niet erg eenduidig en weinig doorzichtig. Aspecten als schuifsterkte anisotropie en waterspanningsgeneratie tijdens het afschuiven, zijn op zijn best impliciet verdisconteerd. De invloed van de (effectieve) spanningsgeschiedenis (over-consolidatie) bij lage effectieve spanningen is onder ongedraineerde afschuifrandvoorwaarden niet zo eenduidig te modelleren en de parameter bepaling leent zich slecht voor het rekenen aan vervormingen.

Onder het nieuwe normstelsel, wordt de sterkteontwikkeling in een proef over een veel groter rek niveau gevolgd. De rek wordt zodanig groot gekozen dat de 'critical state' conditie met zekerheid wordt bereikt (rekken > 25 %). Vervolgens wordt (bij groene dijken) met de ongedraineerde schuifsterkte gerekend die hoort bij de 'critical state' conditie.

Beide methodieken zijn primair ontwikkeld voor het rekenen aan bezwijken (voor toepassing in zg. ultimate limit state modellen).

In de huidige parameterbepaling in het laboratorium zat (impliciet) een vervormingsbeperking verborgen; de sterkte werd immers afgesloten op een gelimiteerd rekpercentage (er werd qua sterkte wat extra veiligheid gecreëerd ten opzichte van pieksterkte en mogelijk ook ten opzichte van de sterkte bij critical state). Een iets grotere veiligheid ten opzichte van bezwijken, betekent ook wat minder rek en dus ook enige beperking van de vervorming. Onder de nieuwe rekenwijze is de reklimitering in de proef losgelaten. De rekensterkte is een sterkte die bij grote rek wordt gemobiliseerd. Het is belangrijk vast te stellen hoe groot de daadwerkelijk optredende vervormingen zijn onder gebruikscondities bij lagere rekken en met een bijbehorende kans van optreden.

Het rekenen aan vervormingen op een wijze die aansluit bij de nieuwe normering verdient nog enige aandacht.

Voor het nauwkeurig vaststellen van vervormingen is een natuurgetrouwe modellering van het grondgedrag nodig. Eindige elementen methoden lenen zich hier in principe goed voor, mits het materiaalmodel, de parameterbepaling en de wijze waarop de werkelijkheid wordt gemodelleerd goed zijn afgestemd op de onderzoeksvraagstelling en er rekening wordt gehouden met de project specifieke randvoorwaarden.

Voor de raming wordt er van uitgegaan dat de vigerende versie van de aanbevelingen over het ontwerp van stabiliteitsschermen in primaire waterkeringen binnen dit onderzoek kunnen worden gebruikt om de vervormingen van een damwand als functie van de belasting te onderzoeken. Er zijn echter wel wat zaken in beweging. Hierover is afstemming voorzien met de deskundigen binnen het cluster Techniek van de POVM. Aandachtspunten:

- Is de huidige ontwerpmethodiek volledig in het geven van aanbevelingen als het gaat om het nauwkeurig bepalen van vervormingen. De vigerende methodiek gaat uit van modelleren met het Hardening Soil model en geeft aanbevelingen hoe om te gaan met de stijfheid van grond. Voor het nauwkeurig uitrekenen van vervormingen, verdienen ook de sterkte parameters en het modelleren van sterktegedrag onder verschillende afschuifcondities (gedraineerd/ongedraineerd) aandacht om te bereiken dat de mobilisatie van sterkte (als functie van rek) ook natuurgetrouw wordt gemodelleerd (rekening houdende met specifieke projectomstandigheden);
- Hebben de veranderingen binnen het nieuwe normstelsel (zoals nu geïntroduceerd voor de groene dijken) gevolgen voor het rekenen aan vervormingen van damwanden in waterkeringen.
- Als grotere vervormingen in de gebruikstoestand kunnen worden toegelaten, en er dus mogelijk kan worden volstaan met een minder zwaar damwandprofiel, dan is het nog altijd nodig te toetsen of het aangepaste damwandprofiel ook constructief voldoet. Op dit moment leeft de gedachte dat de wijze waarop de constructieve sterkte binnen het kader van de vigerende richtlijn wordt getoetst mogelijk tot te conservatieve resultaten leidt. Daarom zal, als de constructieve sterkte bepalend blijkt voor de toelaatbare vervorming, contact worden gezocht met andere onderzoeksprogramma's binnen het cluster rekentechniek van de POVM om te verifiëren of de huidige constructieve toets niet te conservatief is uitgevoerd (en de

constructieve strekte dus onterecht als maatgevend is beschouwd als het om vervormingen gaat, boven de toelaatbare vervorming in de gebruikstoestand).

Er ligt ook een link naar de nieuwe Leidraad Kunstwerken, waar naar verwachting soortgelijke vragen spelen:

- Wat betekenen overstromingskans en falen voor (rekenen aan) een kunstwerk als waterkerend element;
- Is het falen van een constructief element gelijkwaardig te beschouwen aan het falen van een groene dijk in het kader van de nieuwe normering?

Samenhang met referentieproject

Dit PvA is gekoppeld aan het project Veilige IJsseldijken Gouda (VIJG). Binnen VIJG is de uitvoering van de dijkversterking voorzien met behulp van relatief zware verankerde damwandprofielen. De gedachte leeft dat door de vervormingseisen te verruimen mogelijk kan worden volstaan met een veel lichtere onverankerde damwandconstructie. Het project VIJG zal hier door sneller, goedkoper en waarschijnlijk ook beter kunnen worden uitgevoerd.

De koppeling met een praktijk case is belangrijk omdat vanuit de projectomgeving vaak specifieke eisen en randvoorwaarden gelden die de speelruimte om vervormingseisen te verruimen sterk kunnen inperken.

Het VIJG referentieontwerp is gebaseerd op een zg. ‘maatgevend dijkprofiel benadering’. Nu zal het nodig zijn om op basis van kwalitatieve afwegingen secties te selecteren die in de context van de vraagstelling het VIJG project de grootste kans op succes bieden.

Ten slotte, binnen VIJG gelden een aantal project specifieke ‘technische’ randvoorwaarden. Zonder de pretentie volledig te zijn:

- De deklaag - bestaande uit klei en veen – is lokaal behoorlijk dik en ook erg slap. De stabiliteit van het dijklichaam houdt niet over. De kracht die een damwand onder maatgevende condities aan het dijklichaam kan ontleen is beperkt;
- Het modelleren van het samenspel tussen een niet erg sterk dijklichaam en een bij herhaling belaste damwand stelt de nodige eisen ten aanzien van de rekentechniek, het toe te passen materiaalmodel en zeker ook de wijze van modellering als het gaat om het met enige zekerheid voorspellen van de vervormingen op de korte en de lange termijn;
- Het projectgebied is onderhevig aan een relatief grote autonome bodemdaling (1 m autonome bodemdaling over 50 jaar).

Plan van Aanpak (stappenplan)

De volgende stappen worden onderscheiden:

1. Vaststellen van factoren die van invloed kunnen zijn op het vaststellen van de vervormingseis

Het gaat hier om het samenbrengen van technische - en functionele eisen en/of randvoorwaarden beschouwd vanuit verschillende invalshoeken en stakeholder belangen. Het VIJG project zal hier als referentie dienen.

De uitvoering van deze stap vereist een multidisciplinaire en integrale aanpak en wordt daarom uitgevoerd in één van de Integrationrooms (i-rooms) van Royal HaskoningDHV. Hiervoor zullen de belangrijkste stakeholders en een groep externe deskundigen worden uitgenodigd. De bedoeling is te komen tot maatgevende vervormingseis(en) waarbij dan rekening wordt gehouden met de project specifieke eisen en randvoorwaarden. Hiervoor wordt een ochtend uitgetrokken in de i-room.

2. Selectie van maximaal 2 kansrijke doorsneden

Als de onder punt 1 benoemde invloedfactoren zijn vastgesteld, zal er een keuze moeten worden gemaakt voor die doorsnede(n) die het best inzicht geven in de kansen die de verruiming van de vervormingseisen biedt. Voor de selectie van de maatgevende doorsneden geldt dat vooral inzicht moeten geven in de potentiële besparing op project niveau.

Voor de selectie van de doorsneden wordt een middag uitgetrokken in de i-room (voor de uitvoering van de stappen 1 en 2 uit dit stappenplan wordt in totaal 1 dag i-room gereserveerd).

3. Analyse

Voor de geselecteerde doorsneden zal de vervorming als functie van de hydraulische belasting worden gekwantificeerd en worden bekeken of grotere vervormingen in de te beschouwen doorsneden toelaatbaar zijn en kunnen leiden tot een minder dure en praktischere constructieve oplossing.

Dit gebeurt met behulp van analyse in PLAXIS. Gebruik zal worden gemaakt van de specifieke kennis van het VIJG project (geologie, parameterbepaling, etc.). Uitgangspunt van dit PvA is dat de vigerende rekenmethodiek voor het rekenen aan stabiliteitsschermen in waterkeringen ook volstaat voor het hier aangegeven doel. Over dit punt zal afstemming plaatsvinden met de deskundigen binnen de POVM - cluster Rekentechniek. Er lopen binnen het cluster Rekentechniek een aantal andere onderzoeksinitiatieven die specifiek aandacht besteden aan het toepassen van de Eindige Elementen Methode (EEM) voor het uitwerken van dijkversterkingen.

4. Doorkijk nieuwe ontwikkelingen

Het kan zijn dat de huidige methodiek nog niet helemaal is toegesneden op de nieuwe normering of het ‘anders kijken naar materiaalgedrag’ in de waterkeringenwereld. De bedoeling is om een doorkijk te geven van de potentiële consequenties – van zaken die in de context van de huidige vraagstelling nog niet konden worden meegenomen – en afgezet tegen de analyses uitgevoerd onder punt 3.

5. Rapportage

Product

Een rapport met de volgende inhoud:

- Beschrijving van de onderzoeksopgave en de context
- Overzicht van invloedfactoren (de te beschouwen aspecten die een rol spelen bij het vaststellen van verruimde vervormingseis(en));
- Keuze van maatgevende doorsneden;
- Analyse en rapportage van de bevindingen;
- Aanbeveling voor het verzilveren van kansen voortkomende uit het verruimen van vervormingseisen.

Projectorganisatie

- Plan wordt uitgevoerd volgens de regels geldend binnen de POVM;
- Toetsing en bespreking van het PvA binnen het cluster Rekentechniek van de POVM;
- Team Royal Haskoning specialisten met kennis en ervaring van het ontwerpen van stabiliteitsschermen in waterkeringen;
- Ondersteuning door een groep te selecteren specialisten op het gebied van ontwerpen van stabiliteitsschermen in waterkeringen;
- Ondersteuning vanuit de projectorganisatie VIJG (te selecteren adviseurs);

Planning en overleg

Stap	Actie ¹⁾	Planning	Opmerking
n.v.t.	Aanbieding PvA in kernteam.	Z.s.m.	Bij goedkeuring van de stappen 1 en 2 kan met de voorbereiding van i-room sessie worden begonnen.
n.v.t.	Bespreking en formele accordering van dit PvA in cluster rekentechniek.	18-jan	Overleg en beslismoment.
1 – 2	Vaststellen invloedfactoren en keuze representatieve VIJG profielen	25-jan	1 dag i-room sessie (met stakeholders (adviseurs) en specialisten).
3	Analyse (EEM) 2 doorsneden	01-feb tot 15-mrt	Aan de hand van vigerende rekenmethodiek
4	Doorkijk (ondersteund met een EEM berekening)	01-mrt tot 15-mrt	Aanpassingen/verdere uitwerking van vigerende rekenmethodiek
5.	Rapportage (concept eindrapport gereed per 1 april 2016)	01-apr	Kansen VIJG inzichtelijk per 1 april 2016.

1) Ruim 20 % van het onderzoeksbudget is gereserveerd voor bijdragen van derden.

Risico's

Risico's komen vooral voort uit raakvlakken met andere onderzoeksinitiatieven, bewegingen binnen de normering en de afstemming met het referentieproject VIJG.

Door externe specialisten op te nemen, deskundigen vanuit VIJG bij de uitvoering van het project te betrekken en gezien de omarming van het onderzoek binnen de POVM organisatie worden de risico's afdoende afgedekt.