

# Publicatie Vernagelingstechnieken in waterkeringen

26 februari 2019

POV

MACRO  
STABILITEIT



Deltares



# POVM-publicatie Vernagelingstechnieken

## Schrijversteam

- Pieter Bart



- Jan-Willem Bardoel



- Huub de Bruijn



- Marco Peters



- Marcel Visschedijk



- Jasper Sluis



- Jan-Kees Bossenbroek



- Mark Post



- Jos van Zuylen



# POVM-publicatie Vernagelingstechnieken

*Ondersteund door een klankbord*

Leden Klankbordgroep	Organisatie
J. Hockx	Fugro
H.J. Lengkeek	Witteveen+Bos
A. Wiggers	Royal Haskoning DHV
R. van IJken	Van Oord
A. Yahyaoui	VolkerInfra
K. Pronk	Movares
J. Karsten	JLD-International
E. Bijlsma	Arcadis
J.W. Vink	Cofra
K. Heijn	Waternet
M. Muilwijk	Bam
M. van de Meer	Fugro
M. Van	Deltares
D. van Schie	Waterschap Rivierenland
M. SChepers	Waterschap Rivierenland
G. Meinhardt	Crux
K. Heijn	Waternet



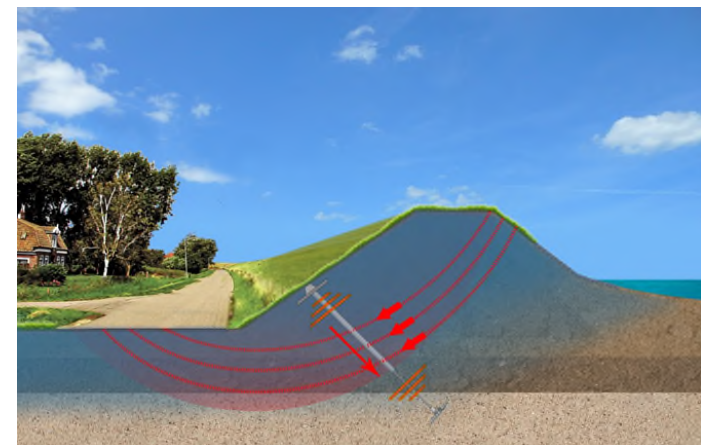
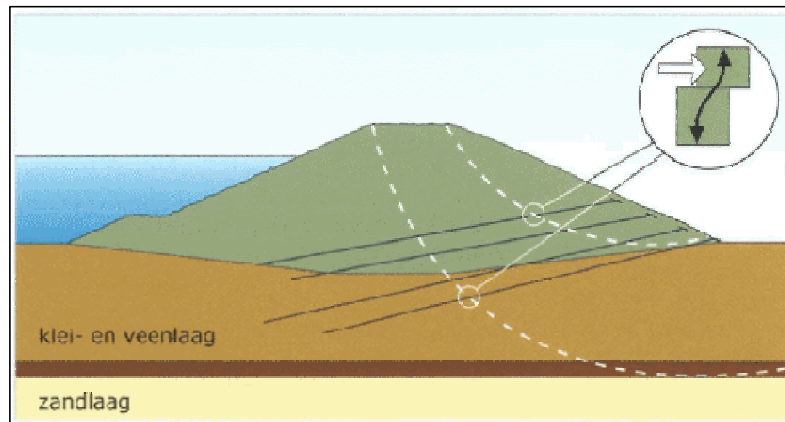
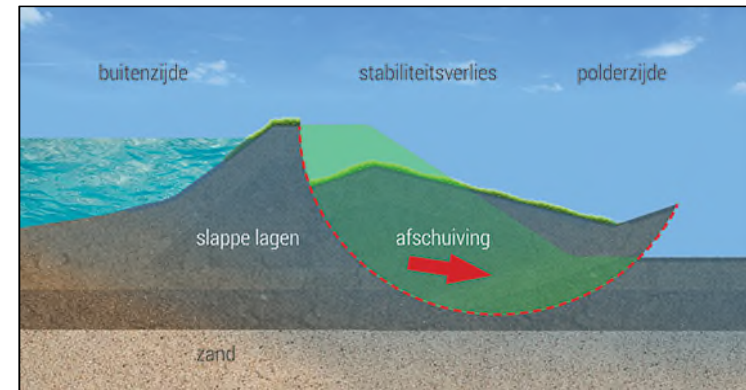
# Inhoudsopgave

- Wat zijn vernagelingstechnieken?
- Toepasbaarheid
- Vernagelingstechnieken in de tijd
- Aanleiding voor PPV
- Inhoud PPV
- Veiligheidsbenadering
- Aandachtspunten ontwerp
- Controle- en bezwijkproeven tijdens ontwerp/uitvoering/ levensduur
- Aandachtspunten beheer
- Witte vlekken
- Vragen?



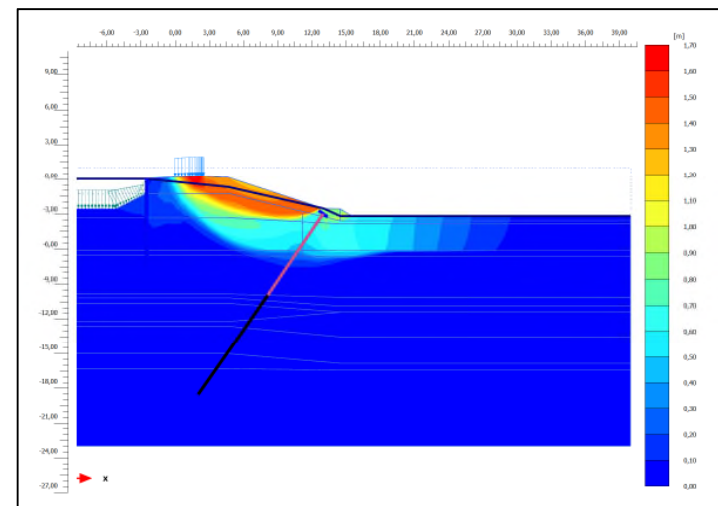
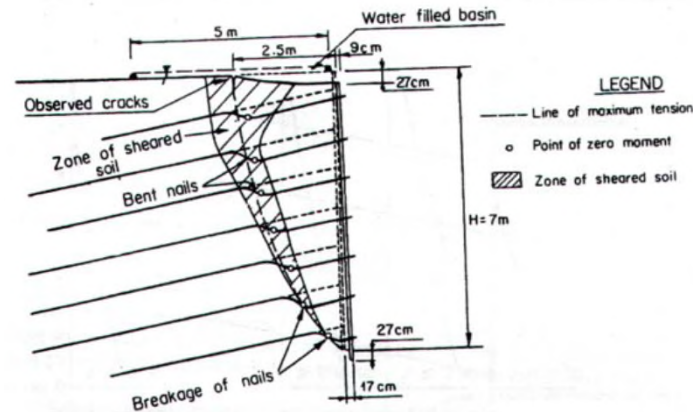
# Wat zijn Vernagelingstechnieken?

- Wanneer: versterken macrostabiliteit
- Voordeel: klein ruimtebeslag
- 2 Technieken
  - Dijkvernageling
  - JLD-Dijkstabilisator



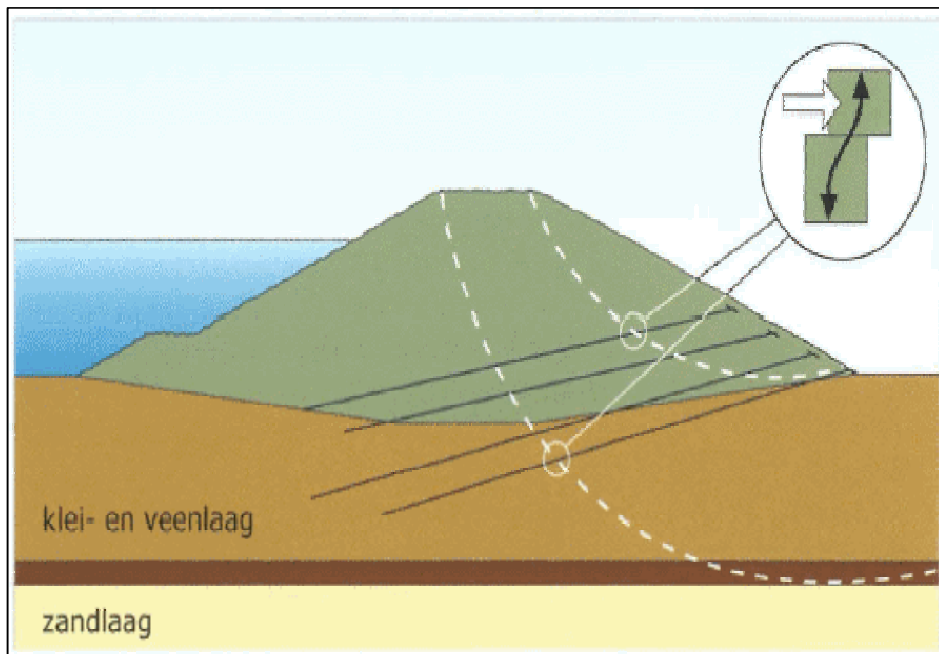
# Wat zijn Vernagelingstechnieken?

- Niet nieuw:
  - 1972 Versaille
  - 1986 CLOUTERRE
- Wel nieuw:
  - Dijkveiligheid & dijkverhogingen
  - Grondwater & slappe grond
  - WBI2017 & CSSM



# Welke vernagelingstechnieken?

## Dijkvernageling



## JLD-Dijkstabilisator



# Toepasbaarheid Vernagelingstechnieken

- Versterken macrostabiliteit zonder opdrijven
- Toegevoegde veiligheid: 10%-30%, afhankelijk van de diepte van de glijcirkels
- Beperkt ruimtebeslag, wel tijdelijke werkruimte van 5-8 m nodig
- Behoud van het landschappelijk aanzicht van de waterkering
- Beperkte impact op omgeving tijdens aanleg
- Kosten sterk afhankelijk van het aantal nagels per  $m^1$ , in de regel tussen een versterking in grond en een stabiliteitsscherm
- Uitbreidbaar, afhankelijk van het initiële stramien





# Vernagelingstechnieken in de tijd

## Tijdslijn – Vernagelingstechnieken

1972

- 1972 – Toepassen vernageling (Versailles)

1986-  
1991

- 1986 – 1991 CLOUTERRE Frankrijk

2001-  
2007

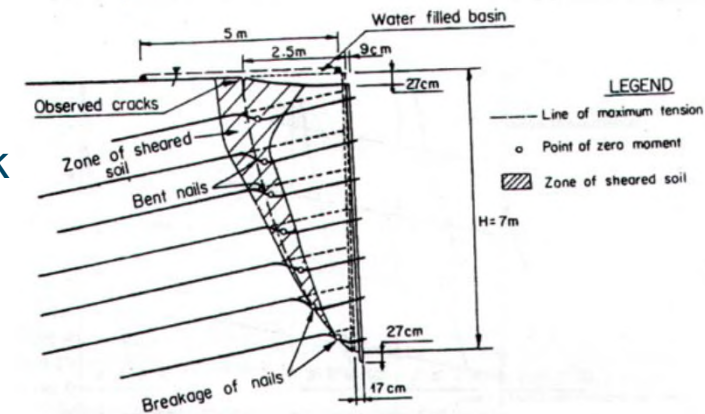
- 2001 – 2007 – INSIDE

2011

- 2011 – Embedded beam in PLAXIS (validatie dwarskrachten)

2015-  
2019

- 2015 – Pilot Dijkvernageling / Dijkstabilisator
- 2016 - Positief ENW advies
- 2019 – POVM Publicatie Vernagelingstechnieken (PPV)



# Vernagelingstechnieken in de tijd

## Tijdlijn - Dijkvernageling

2001

- Idee en start INSIDE

2007

- Afronden INSIDE

2015

- Pilot Vianen

2016

- Positief ENW-Advies

2017-  
2018

- POV-M publicatie  
Vernagelingstechnieken
- Dijkversterking Uitdam MMD



POV

MACRO  
STABILITEIT

# Vernagelingstechnieken in de tijd

## Tijdlijn – JLD-Dijkstabilisator

2012

- Idee JLD

2013

- Start uitwerking van idee tot concept

2014

- Start voorbereiding proeven Purmerend

2015

- Proeven Purmerend

2016

- Postdictie proef Purmerend
- Positief ENW-Advies

2017-  
2018

- Pilot Watergraafsmeer
- POV-M publicatie Vernagelingstechnieken



# Aanleiding PPV

- Meer uniformiteit in het ontwerp van de verschillende vernagelingstechnieken
- Rekenmethoden die aansluiten bij de ontwikkelingen uit B-EEM / PPE
- Zoveel mogelijk uniformiteit tussen langsconstructies en vernagelingstechnieken
- Vergroten van de toegankelijkheid van vernagelingstechnieken voor alle partijen
  - Uitwerken van rekenvoorbeelden (opgenomen in PPE)

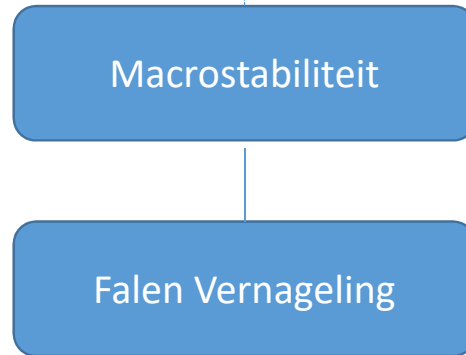


# Inhoud PPV

- Uitleg vernagelingstechnieken en toepassingen
- Veiligheidsbenadering
- Ontwerpuitgangspunten en methoden voor beide vernagelingstechnieken
- Ontwerp Dijkvernageling
- Ontwerp JLD-Dijkstabilisator
- Realisatie
- Beheer en onderhoud
- Witte vlekken



# Veiligheidsbenadering



Geotechnisch falen (GEO) – 33%	Constructief falen (STR) – 33%	Grond-constructie interactie (SSI) – 33%
Geotechnisch bezwijken door de vernagelingstechniek	Constructief bezwijken nagel door dwarskracht, normaalkracht	Bezwijken houdkracht nagels door slip <sup>1</sup>
Geotechnisch bezwijken buiten de vernagelingstechniek	Constructief bezwijken nagel door buigend moment, normaalkracht	Bezwijken houdkracht klapanker <sup>2</sup>
	Constructief bezwijken facing/kopplaat (incl. verbindingen)	Snijden van de grond tussen nagels
	Constructief bezwijken klapanker (incl. verbindingen) <sup>2</sup>	Bezwijken grond onder de facing/kopplaat

<sup>1</sup> Alleen bij *Dijkvernageling*  
<sup>2</sup> Alleen bij *JLD-Dijkstabilisator*

Kleinere toegestane faalans door belasting-effectfactoren

# Veiligheidsbenadering

- Uit te voeren controles - ontwerp
  - Snedekrachten in de constructie;
  - Geotechnische stabiliteit;
  - Vervorming bij hoogwater;
  - Nageluitval;
  - Effect hydraulische kortsluiting op piping en heave;
  - Erosiebestendigheid grasmat i.r.t. kopplaat/facing.
- Uit te voeren controles - uitvoering
  - Controle werkelijke sterkte – controle- en bezwijkproeven;
  - Monitoring voorspanning JLD-Dijkstabilisator.



# Veiligheidsbenadering

- Partiële factoren:

- Schadefactor – volgens OI/WBI alleen delen door 3 voor toepassing van constructies in de dijk (33% per faaloorzaak);
- Materiaalfactor op de grondstijfheid = 1,5;
- Modelfactor EEM i.v.m. modelonzekerheid = 1,06;
- Modelfactor vervormingen = 1,3;
- Schematiseringsfactor geotechnisch (GEO) – systematiek TGS uitgebreid voor constructief versterkte dijken;
- Schematiseringsfactor constructief (STR) – systematiek TGS uitgebreid voor constructief versterkte dijken;
- Schematiseringsfactor grond-constructie interactie – systematiek TGS uitgebreid voor constructief versterkte dijken;
- Groepseffect-factor – toepassen op groepseffecten die niet in EEM berekeningen zitten;
- 3D-factor
- Belastingeffect-factoren – toe te passen op snedekrachten
  - $\gamma_{add, str} = 1,25$ ; => Ductiel bezwijken
  - $\gamma_{add, ssi} = 1,10$
- Belastingeffect-factor nageluitval = 1,3.





# Aandachtspunten ontwerp

- Ontwerp maatgevende doorsnede in 3D EEM
  - 2D maatgevend: verdere ontwerp in 2D;
  - 3D maatgevend: verdere ontwerp in 2D + extra 3D factor **of** verdere ontwerp in 3D
- Modelling EEM volgens de richtlijnen en voorbeelden uit de PPE
- Rekening houden met groepseffecten
- Nageluitval
- Effecten van vervormingen op andere faalmechanismen (overslag/bekleding)



# Aandachtspunten ontwerp

- Toets nageluitval
- Overgangsconstructies
- Invloed van vernageling op kwel
- Benodigd grondonderzoek:
  - Handsonderingen in het talud;
  - Peilbuisonderzoek /waterspanningsmeters – waterspanningen om wrijving te bepalen o.b.v. sonderingen
- Witte vlekken



# Controle- en bezwijkproeven

tijdens ontwerp / uitvoering / levensduur

- Doel bezwijkproeven: vaststellen correlaties voor ontwerp
- Doel controleproeven: verificatie belangrijkste ontwerp onderdelen



# Controle- en bezwijkproeven tijdens ontwerp

- **Bezwijkproeven Dijkvernageling**
  - Ter bepaling van de wrijving langs de nagel;
  - Uitvoeren op dummy nagels;
  - Onderscheid actief en passief deel
  
- **Bezwijkproeven JLD-Dijkstabilisator**
  - Ter bepaling van de wrijving langs het LDE;
  - Uitvoeren op dummy nagels;
  - Houdkracht klapanker (geschikheidsproef)



# Controle- en bezwijkproeven

## tijdens uitvoering

- Controleproeven Dijkvernageling
  - Controle ontwerpwaarde wrijving
  - Draagkracht grond onder de facing
- Controleproeven JLD-Dijkstabilisator
  - Controle ontwerpwaarde wrijving
  - Controle ontwerpwaarde normaalkracht gehele systeem (klapanker en verbindingen)
  - Draagkracht grond onder de kopplaat



# Controle- en bezwijkproeven tijdens levensduur

- Proeven / controle op productionenagels:
  - Vrijgraven van 2 kopplaten per beoordelingsronde;
- Proeven / controle op dummy nagels:
  - Trekproeven ter controle van de wrijving en gaten onder de nagel;
  - Vrijgraven kopplaat/facing en deel nagel - controle verbinding en achteruitgang sterkte elementen;
  - Controle degradatie/corrosie materialen;
  - Controle spanningen/vervormingen voor uitbreidbaarheid;



# Aandachtspunten voor beheer

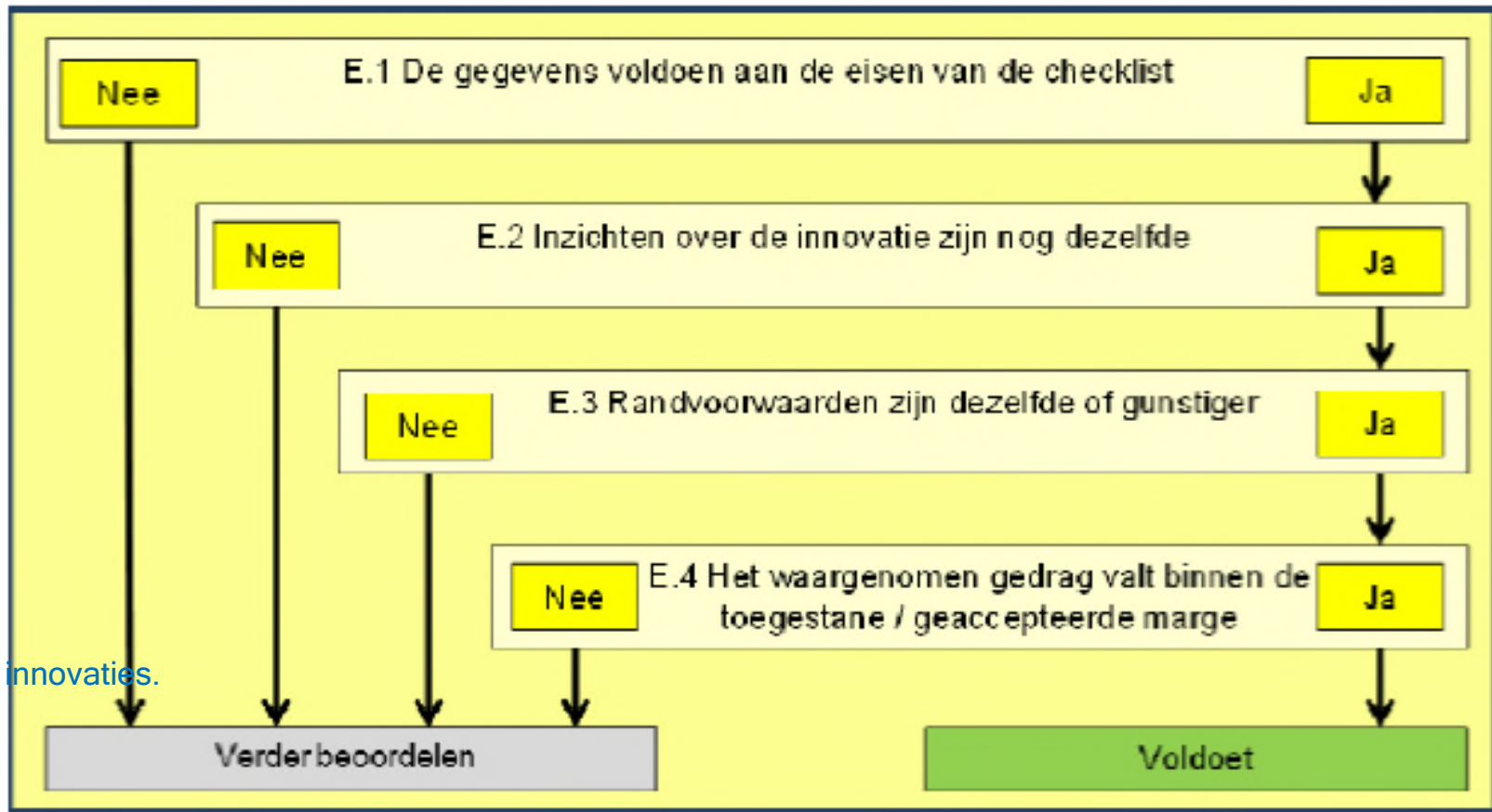
- Opnemen vernageling in de legger;
- Specifieke beheer/vergunningvoorschriften voor vernageling;
- Beoordeling
- Monitoren ten behoeve van de beoordeling
  - Vervormingen
  - Voorspanning bij JLD-Dijstabilisator
- Monitoren van de voorspanning (bij JLD-Dijstabilisator).



Figuur 9.1 Life cycle monitoring: doorloopte van data en anticipatie gedurende een voortdurende, decenniale lange cyclus



# Beoordelingsspoor: Technische Innovatie (INN)



Eenvoudige toets innovaties.





# Witte vlekken

Nr.	Witte vlek generiek	Toelichting	Hoe mee omgegaan in deze publicatie?	Verder handelingsperspectief
G1	Lange termijn gedrag van een door zakkende grond (lateraal) belaste nagel	De vraag hoe precies de belastingen t.g.v. zakkende grond op ankerstangen c.q. ankerkabels zich ontwikkelen over langere periode is een actueel onderwerp van onderzoek [2018]. De vraag speelt ook bij vernagelingstechnieken. Aandachtspunt hierbij is dat bij vernagelingstechnieken bewust de wrijvingsinteractie met de grond wordt gemaximaliseerd omdat dit bijdraagt aan de beoogde werking. Het betekent echter ook een verhoogde belasting op de nagels door de zakkende grond op langere termijn.	Conservatief ontwerp maken: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitvoeren van grond-constructie interactie berekeningen met een bovengrens van de zettingen over levensduur.</li> <li>• Meenemen van bovengrens van verwachte wrijvingsinteractie</li> <li>• In geval van JLD-Dijkstabilisator monitoren van voorspanning (geeft indicatie over gedrag)</li> </ul>	Aanbrengen van dummy nagels binnen project op welke nader onderzoek kan plaatsvinden in toekomst.
G2	Mogelijkerwijs ontstaan van holle ruimtes rondom nagels t.g.v. lange termijn zettingen	Het is de vraag of op langere termijn holle ruimtes ontstaan onder de nagels als gevolg van de zakkende grond. Het is daarbij onduidelijk of dit mogelijk schadelijk en/of nadelig kan zijn voor de constructie en/of het dijklichaam. In het geval dit optreedt, kan b.v. worden berekend dat de porositeit van de dijk toeneemt hetgeen mogelijk leidt tot verhoogde grondwaterstanden in de dijk onder MHW condities.  Ook kan het hierdoor zijn dat voor de maatgevende situatie niet langs de volledige omtrek van de nagel slibkracht kan worden gemobiliseerd, immers aan de zijde van holle ruimtes geen interactiekracht met de grond	Hier wordt in het ontwerp vooralsnog geen rekening mee gehouden. Aangezien een nagel aan het talud niet op een vast punt is opgelegd, wordt vooralsnog niet verwacht dat dit optreedt.	Aanbrengen van dummy nagels binnen project zodat in toekomst trekproeven kunnen worden uitgevoerd zodat de gevonden wrijving vergeleken kan worden met de wrijving uit de bezwijkproeven uit het DO. Een significant lagere wrijving kan een indicatie zijn van holle ruimtes rondom de nagel.
G3	Het aantal belastingproeven en de wijze van uitvoeren van een belastingproef op een nagel	Het is gangbaar om bij uitvoering van nagels belastingproeven (i.e. controle, geschiktheids en/of bezwijkproeven) uit te voeren om meer zekerheid te verkrijgen over het sterkte en stijfheidsgedrag. Het is echter niet eenduidig hoeveel procent van de nagels beproefd dient te worden en met welke specificaties de proef dient te worden uitgevoerd.	In deze publicatie is een concreet voorstel gedaan in paragraaf 7.4. Hierbij is gebruik gemaakt van bestaande normen en richtlijnen, de adviezen uit het witte vlekken rapport en eerste ervaringen.	Op basis van toekomstige ervaringen dient te worden afgewogen of aanpassingen benodigd zijn.
G4	Invloed maatgevende hydraulische belastingen op houdkracht	Er dient rekening te worden gehouden met een zekere invloed van de maatgevende hydraulische belastingen op de houdkracht van (onderdelen van) de vernageling.	De conusweerstand, op basis waarvan de houdkracht wordt berekend, dient gecorrigeerd te worden voor de extreme omstandigheden.	Nvt
G5	Groepswerking	Indien de nagels dicht bij elkaar worden geplaatst kunnen (onderdelen van) de nagels elkaar nadelig gaan beïnvloeden, hierdoor is de draagkracht van twee dichtbij elkaar geplaatste nagels niet gelijk aan tweemaal de draagkracht van een alleenstaande nagel. Het is niet eenduidig hoe deze onderlinge beïnvloed te berekenen.	In deze publicatie is gebruik gemaakt van de adviezen uit Deltares en is daarnaast gebruik gemaakt van bestaande richtlijnen uit de CUR 166.  Alleen voor de groepswerking van de axiale schachtweerstand is nog geen methode voorhanden. De nu gehanteerde methode voor het vaststellen van de axiale schachtweerstand is gebaseerd op een methode voor trekpalen volgens NEN 9997-1. Deze methode voorziet in een reductie voor groepswerking maar is enkel gestoeld op zandige lagen. De groepswerking in	Verdere aanscherpingen zijn mogelijk door met veldproeven aan te tonen dat minder conservatieve waarden kunnen worden aangehouden.  Het verwerken van de groepswerking van axiale schachtweerstand in het ontwerp dient getoetst te worden door een door de opdrachtgever aan te wijzen



# Een aantal witte vlekken

- Vervormingsgedrag lange termijn
- Geotechnische draagkracht facing/kopplaat i.r.t. onverzadigde zone
- Groepswerking
- Piping/Kwel



# Vragen?

