



POVM Publicatie EEM*

POVM Rekentechnieken

- EEM toepassing binnen het ontwerp
- Aanwijzingen
 - Voorbeelden

POV

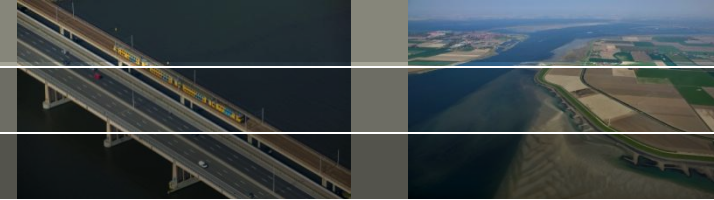
MACRO
STABILITEIT

Datum: december 2018 Versie: 1.02 (concept)

Aanwijzingen en voorbeelden voor het ontwerpen van dijken met stabiliteitsverhogende constructies

*EEM= “Eindige-ElementenMethode”

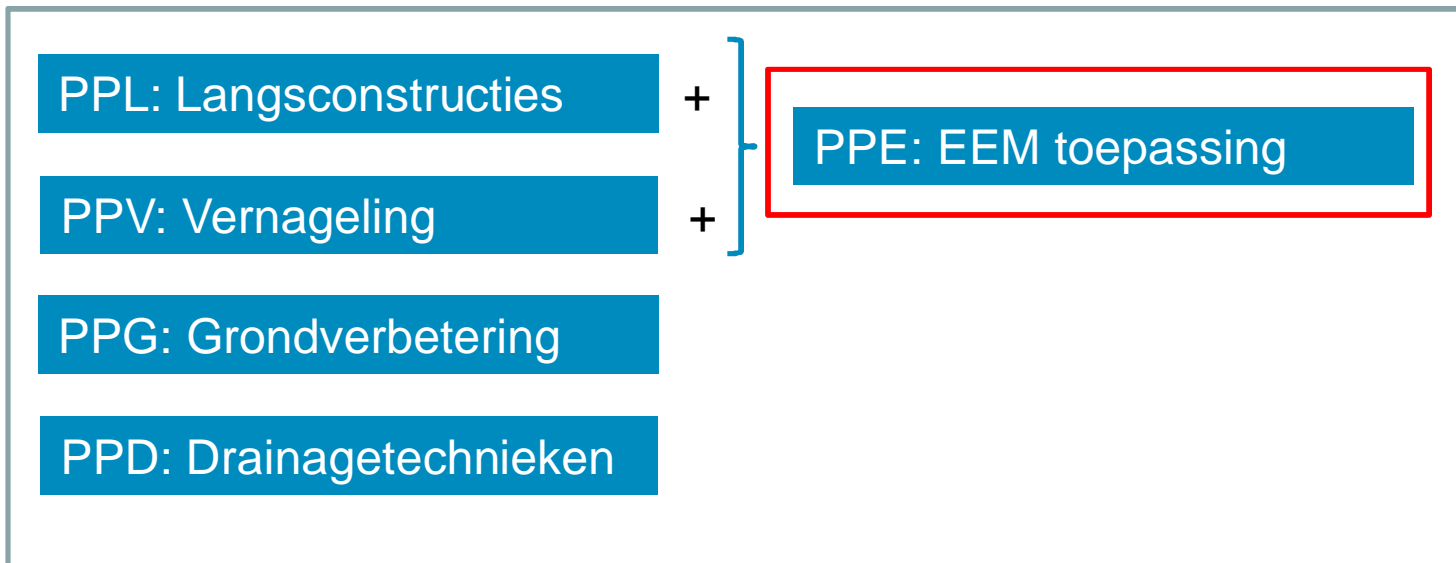




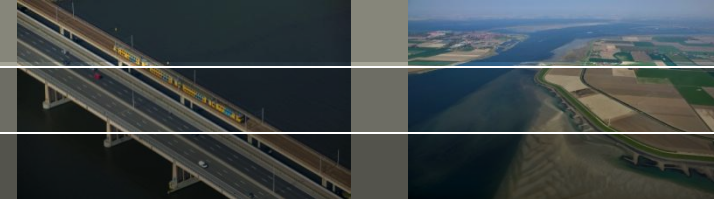
Bevatten actuele en eenduidige aanwijzingen voor:

- Alternatievenafweging
- Ontwerpen en toetsen op maat
- Uitvoering
- Beheer

De definitieve versies moeten als contractdocument geschikt zijn



PPE doelgroep en doel



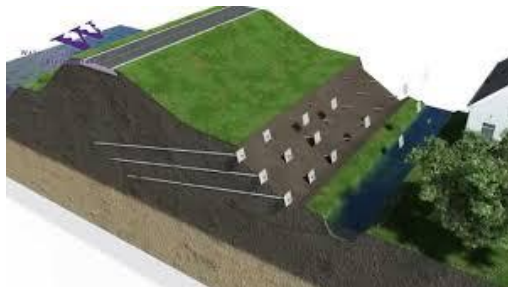
Doelgroep:

“ervaren geotechnisch adviseurs, zowel voor wat betreft het dijkontwerp als voor wat betreft de eindige-elementen toepassing”

Doel:

“aanwijzingen en praktische voorbeelden voor het met EEM ontwerpen van constructieve dijkversterkingen”

Waarom is een PPE nodig?



Nieuwe regels en aanbevelingen

- Wettelijke kaders (WBI en NEN/CUR166)
- OI2014
- Grondslagen voor hoogwaterbescherming

Ontbrekende aanwijzingen voor uniforme EEM schematisering met toepassing van (deels) nieuwe PLAXIS rekenmogelijkheden

(Deels) nieuwe constructietypen in PPL en PPV

Beperking: alleen ontwerp tbv waterveiligheid

Geen uitwerking obv betrouwbaarheidsklassen Eurocode (EC)



- EC is van toepassing bij:
 - objecten in/naast dijk (huis, weg, leiding, L-muur)
 - gecombineerde functies (waterkerend/piping, kademuur)
 - buitenwaartse stabiliteit
- I&M voorstel aan NEN (medio 2019): voor binnenwaartse stabiliteit is alleen waterwet van toepassing

Wel:

- Met EC consistente partiele factoren voor het deel dat niet van de doelbetrouwbaarheid afhankelijk is

Belangrijkste wijzigingen tov OSPW*

*"oude" ontwerprichtlijn voor stabiliteitswanden in primaire waterkeringen

Veiligheidsfilosofie

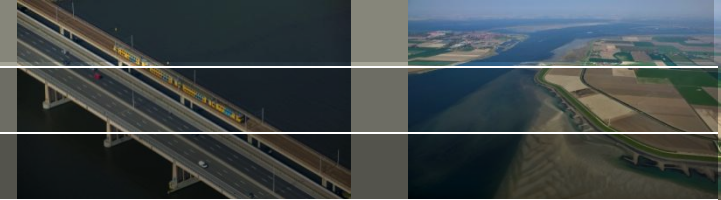
- Faalkanseis en "schadefactor" volgens WBI/OI2014
- Eenvoudiger verdeling over constructief falen, geotechnisch falen, en 'grond-constructie interactie' (bijv. ankersysteem), zonder verdere decompositie: 1/3;1/3;1/3
- Belasting-effectfactoren en constructieve materiaalfactoren (zoals opgenomen in PPL en PPV) consistent met NEN/CUR166
- Mogelijkheid voor vervormingeisen "op maat", bij meer dan 0,1m vervorming

EEM

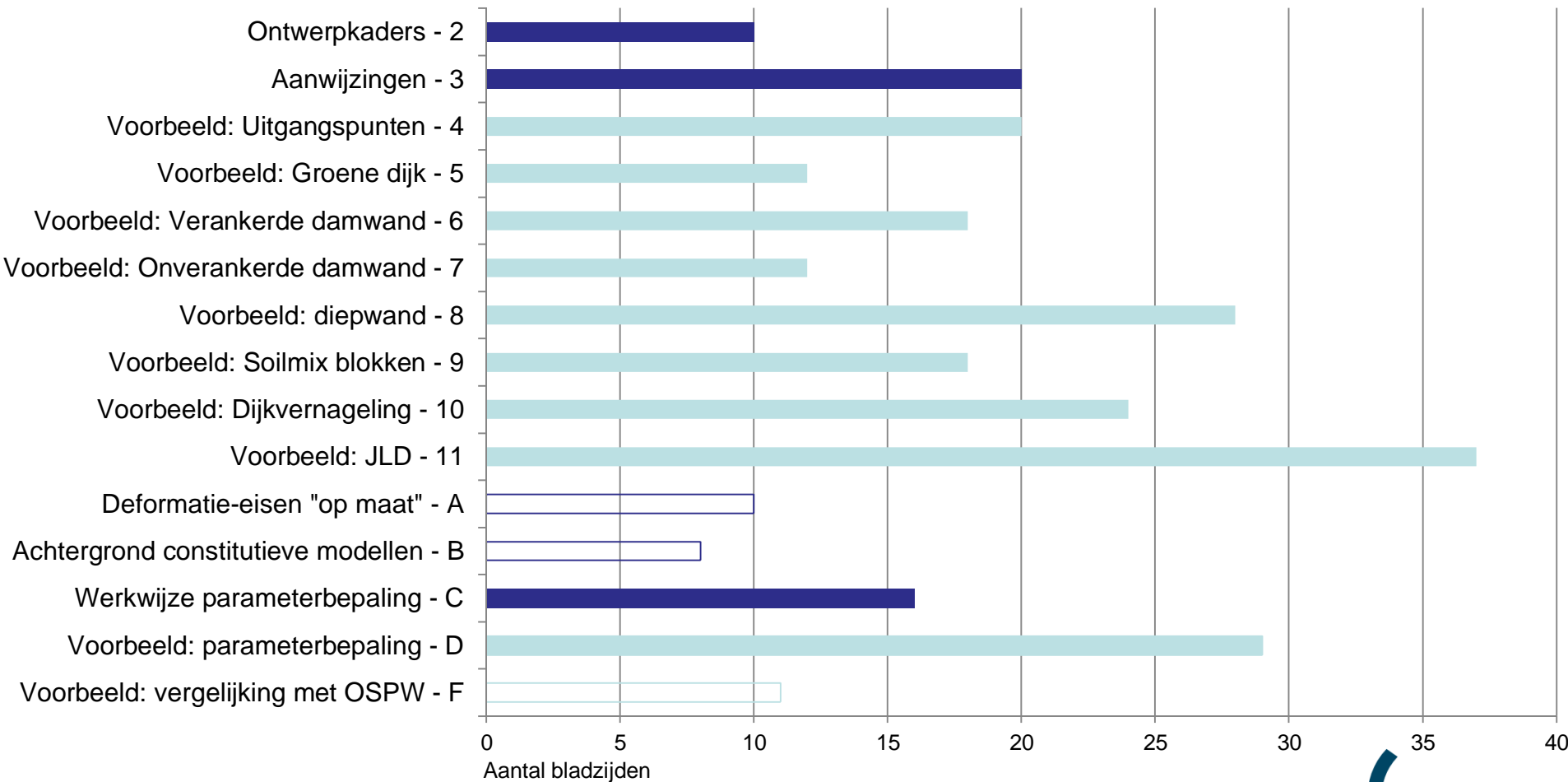
- Materiaalmodellering volgens WBI (critical state, ongedraineerd)
- Impliciete toets op verticaal evenwicht verankerde wand binnen de EEM berekening



Inhoud PPE

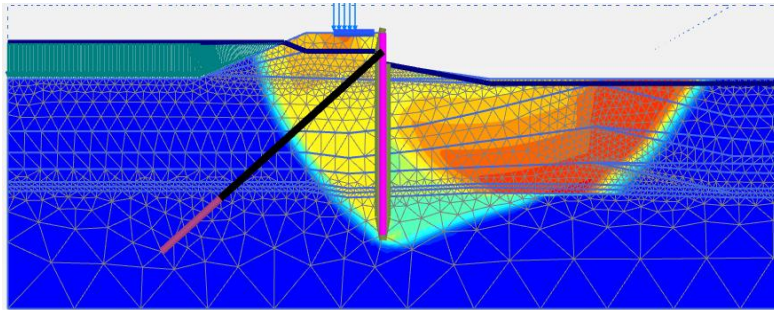


Korte aanwijzingen, Uitgebreide voorbeelden:



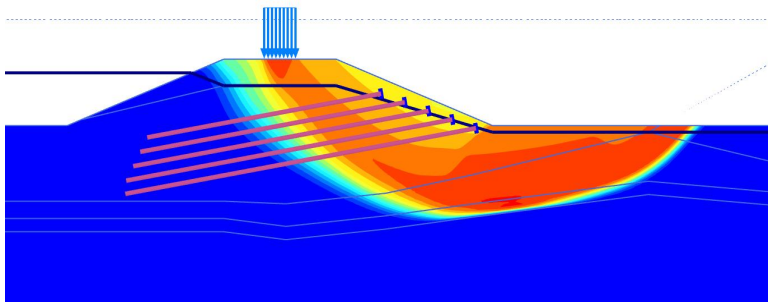
Zes uitgewerkte rekenvoorbeelden

Langsconstructies



- Verankerde open damwand
- Onverankerde open damwand*
- Diepwand (dicht)
- Soil-mix blokken

Vernageling



- Dijknagels* (klassiek)
- JLD* (voorgespannen)

Alle voorbeelden zijn gebaseerd op dezelfde case (Bergambacht).
Invoerbestanden komen ook beschikbaar

* Aangepaste schematisering met minder veiligheidstekort

Resultaat van POVM Cluster 'Rekentechnieken'

abt



SWECO



PLAXIS

Bos

Witteveen



Het voorliggende rapport is opgesteld door het cluster "Rekentechnieken" van de "Projectoverstijgende Verkenning Macro stabiliteit"(POVM). Aan het rapport is bijgedragen door de volgende personen en partijen (in alfabetische volgorde):

- Jan Willem Bardeel (Antea): voorbeeld JLD Dijkstabilisator (H 11);
- Pieter Jeroen Bart (Antea): voorbeeld JLD Dijkstabilisator (H 11), peer-reviews;
- Jaap Bijmagne (ABT): voorbeeld onverankerde diepwand (H 8);
- Joost Bredeveld (Deltares): review;
- Ronald Brinkgreve (TU Delft & Plaxis BV): review;
- Bert Everts (Everts Geotechniek): review;
- Ruben Jongejan (Jongejan RMC), Deformatie-eisen (Bijlage A);
- Pascale Lamens (W+B): voorbeelden verankerde damwand (H 6, Bijlage F, Bijlage G);
- Helle Larsen (Deltares): review;
- Arny Lengkeek (W+B): diverse inhoudelijke bijdragen, peer-review;
- Thomas Naves (W+B): voorbeeld verankerde damwand (H 6, Bijlage F, Bijlage G), voorbeeld onverankerde damwand (H 7), aanwijzingen EEM toepassing (H3);
- Ben Rijnveld (Fugro), Deformatie-eisen (Bijlage A) en review;
- Joost van der Schrier (RHDHV): review;
- Rob van der Sman (RHDHV): voorbeeld "Soilmix blokken" (H 9);
- Jos van Zuijlen (Sweco): voorbeeld vernageling (H 10, Bijlage H);
- Jasper Sluis (W+B), uitgangspunten voor voorbeelden (H4), voorbeeld groene dijk (H 5), voorbeeld vernageling (H10, Bijlage H), postdictie Bergambacht (Bijlage E). peer-review;
- Marcel Visschedijk (Deltares): redactie en diverse tekstbijdragen;
- Jeroen Vork (RHDV): voorbeeld "Soilmix blokken" (H 9);
- Cor Zwanenburg (Deltares): werkwijze parameterbepaling (Bijlage C) en grondparameters Bergambacht (Bijlage D).



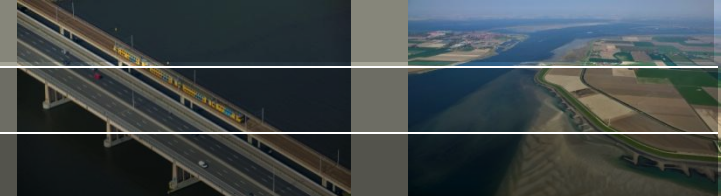
Verdere 'Rekencluster' producten

 <https://www.povmacrostabiliteit.nl/rapporten/>

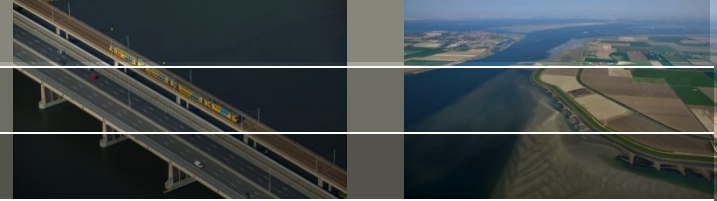
- Achtergrondrapportages PPE
- Uitbreidingen PLAXIS, incl. evaluaties
 - Grondmodellen (SHANSEP NGI-ADP, CREEP SCLAY1), POP veld, Probabilistische module
- Projectsoftware voor glijvlakberekeningen (voorloper nieuwe D-GEO)
 - POP/OCR veld, Bouwfasen, Probabilistische module, Dijknagels, ...
- 'Actuele Sterkte' (schematisering, faalkansberekening, bewezen sterkte)
 - Handreikingen. Voorbeelden. Praktijktoeepassingen.
- EEM grondwaterstromingsanalyses: aanwijzingen en voorbeelden
- Eerste probabilistische EEM analyses van stabiliteitswanden
- Opdrijven/opbarsten
 - Eerste EEM simulaties, tbv eventuele nieuwe rekenregel

Ontsluiting via een (nog te produceren) leeswijzer op de POVM site

Proces



H2: Ontwerpkaders



- Overzicht van kaderstellende documenten
- Samenvatting van:
 - Relevante aanwijzingen uit WBI Schematiseringshandleiding
 - Eisen en veiligheidsfactoren volgens PPE en PPV, voor controle van:
 - > Vervormingen* door hoogwater en evt. verkeersbelasting
 - > Krachten en momenten bij hoogwater en evt. verkeersbelasting
 - > Stabiliteit bij hoogwater en evt. verkeersbelasting

* Uitleg van “vervormingseisen op maat” in bijlage A

H2: Voorbeeld vervormingseisen “op maat”

Voorbeeld van “vervormingseis op maat”, uitsluitend ter gedachtenvorming

Voor een eis van maximaal 0,25m horizontale vervorming aan de kop van de damwand zouden bijvoorbeeld de volgende aanvullende randvoorwaarden kunnen worden gesteld:

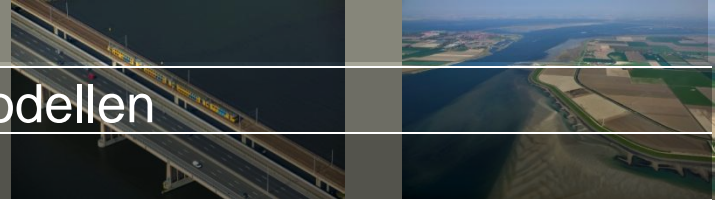
- Toepassen van een overgangsconstructie die in staat is de optredende vervormingsverschillen op te nemen. Hierbij dient het gemiddelde vervormingsverschil over de overgangsconstructie kleiner te zijn dan 0,025m/m’.
- Er dient voldoende overhoogte aanwezig te zijn om eventuele zakking van de kruin te kunnen compenseren.
- Het overslagdebiet moet kleiner zijn dan 0,1l/s/m in verband met de erosiebestendigheid van het binnentalud.
- De horizontale vervorming ter plaatse van het buitentalud moet kleiner zijn dan 0,1m in verband met erosiebestendigheid.
- In het ontwerp dient rekening te worden gehouden met kier-/scheurvorming in het actieve deel van het glijvlak. Er dient uitgegaan te worden dat de freatische lijn in de scheuren toe kan nemen tot de kop van de damwand. Tevens is het actieve deel van het glijvlak niet meer voldoende draagkrachtig om bijv. dienst te doen als evacuatie route of het nemen van (calamiteiten)maatregelen. Als er sprake is van een cohesieve deklaag dunner dan 4m dient rekening te worden gehouden met kortsluiting met het watervoerend pakket.
- Het effect op belendingen, kabels en leidingen etc. moet voldoende klein zijn.
- De horizontale vervormingen van de damwand bij een waterstand met een overschrijdingskans van 1/100ste per jaar dienen kleiner te zijn dan 0,1m in verband met beheer en onderhoudsaspecten.

Ook bij
Restprofiel!

Zie ook toepassing in voorbeelden onverankerde wanden, in H7 en H8

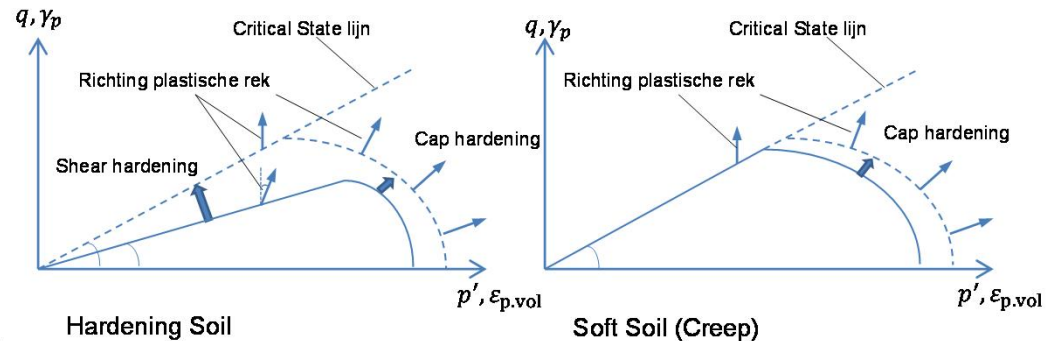


H3: Aanwijzingen Constitutieve modellen



Toe te passen:

- Zand: *Hardening Soil*
- Klei/Veen, gedraineerd: *Soft Soil (Creep)*
- Klei/Veen, ongedraineerd: *SHANSEP NGI-ADP*



Anders dan D-GEO :

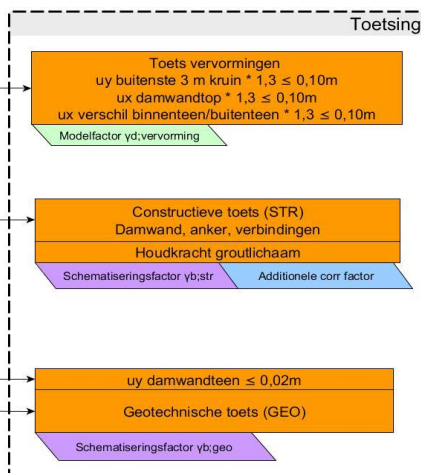
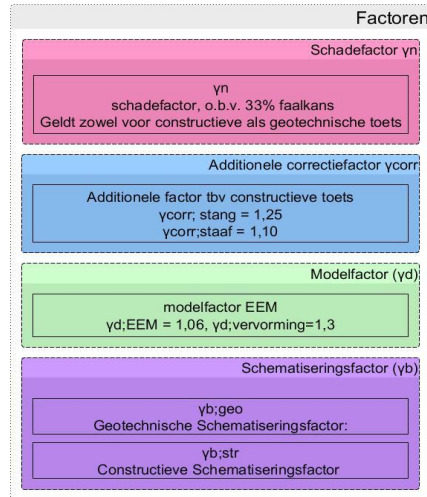
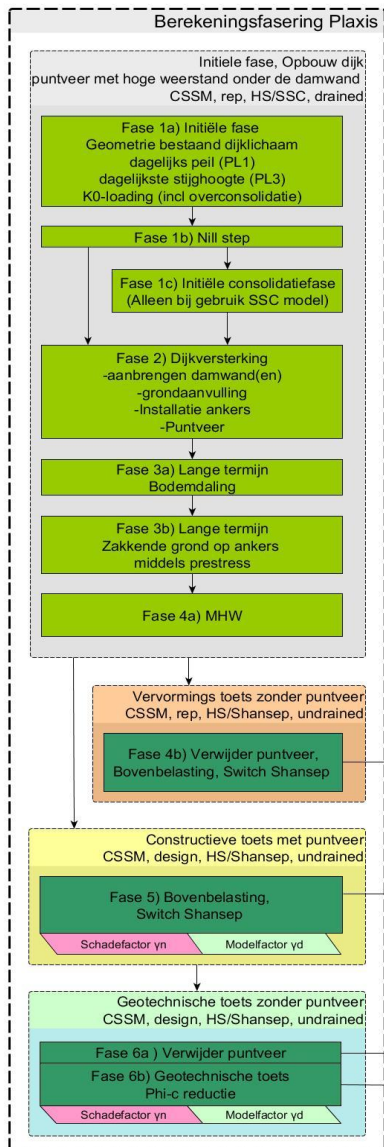
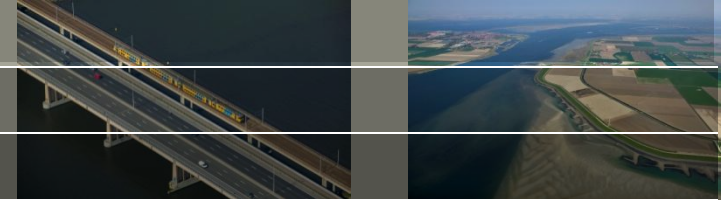
- Spanningsafhankelijke stijfheid
- Meer-assige sterkte- en grensspanningsdefinitie

Bijlage B geeft achtergrond bij deze modellen

Bijlage C geeft uitgebreide aanwijzingen voor parameterbepaling



H3: Aanwijzingen Rekenstappen



1-3 Initiële spanningen bij dagelijkse omstandigheden in beoordelings situatie (incl. effect kruip op kleef en op toename ankerkracht)

4 Aanpassing stijghoogte door hoogwater
Controle vervorming (alleen door hoogwaterbelasting)

5 Grondsterkte reduceren met schadefactor en modelfactor

Controle constructieve sterkte

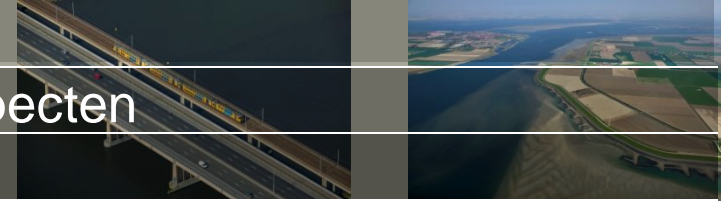
6 Grondsterkte verder reduceren met schematiseringsfactor

Controle stabiliteit

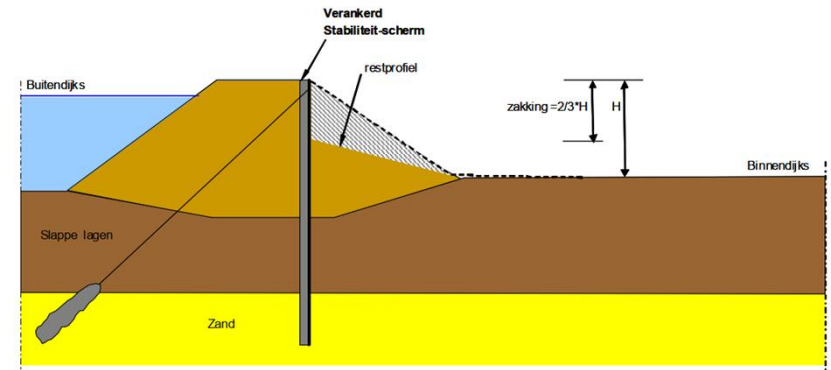
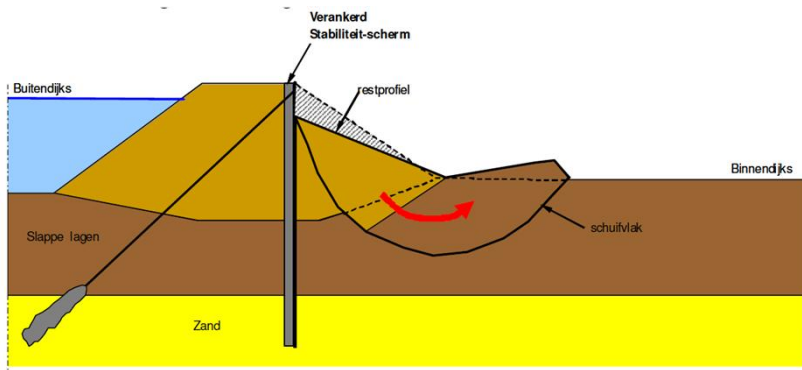
Stap 1 t/m 4a: gedraineerd



H3: Aanwijzingen Modelleringsaspecten



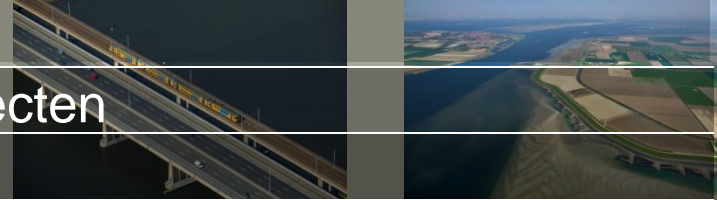
- Stijghoogteverloop (overeenkomstig glijvlakberekeningen)
- Opdrijven & Opbarsten (nulspanning voorkomen)
- Schematiseringsfactoren voor vervormingen/constructie/ stabiliteit
- Puntweerstand bij stabiliteitswanden tbv constructieve sterkte-toets
- Restprofiel



- (Verplichte) controle op voldoende randafstand
- (Verplichte) vergelijking met glijvlakberekeningen (max 6 % verschil)

H3: Aanwijzingen

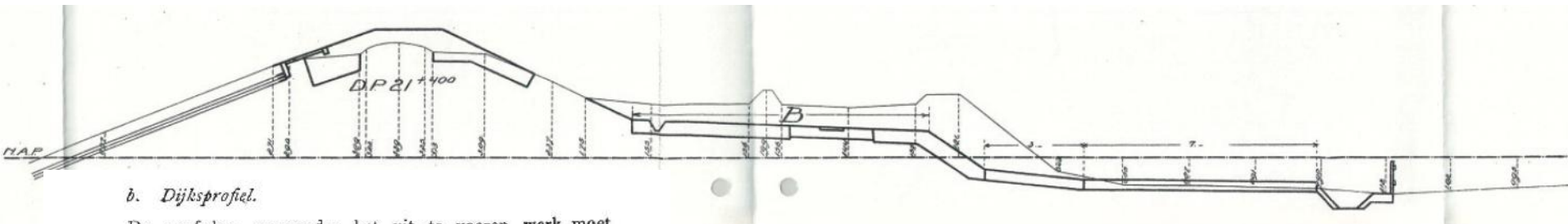
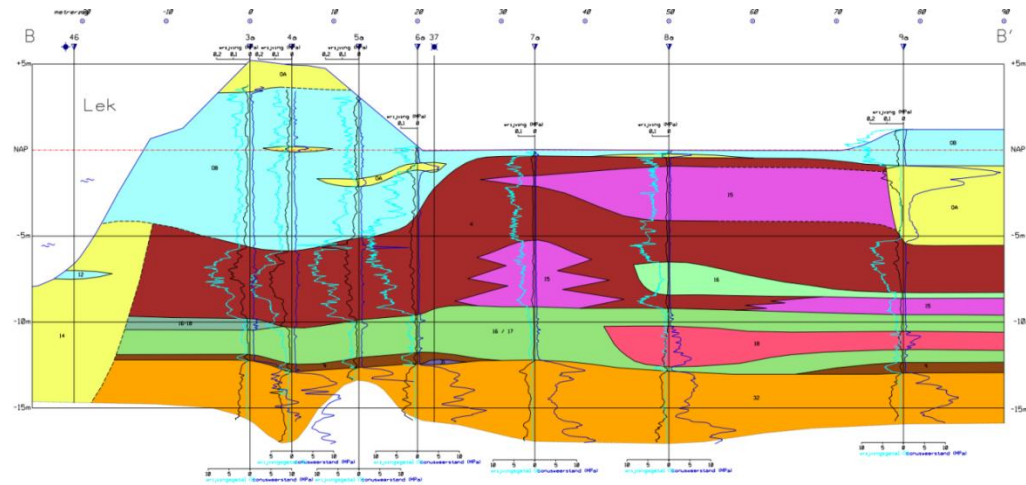
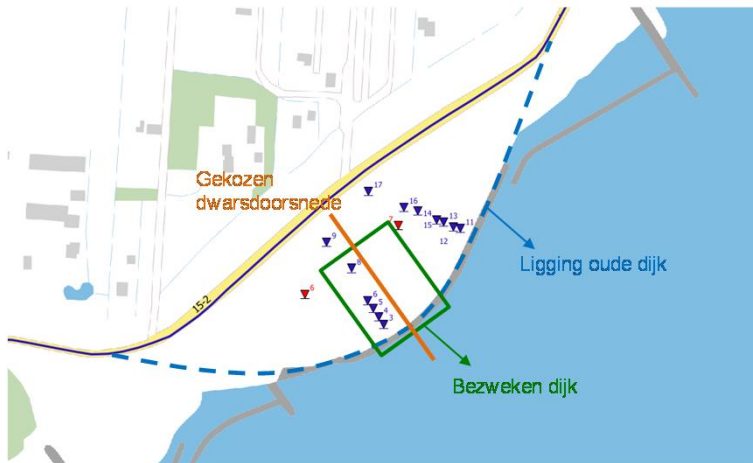
Numerieke aspecten



- (Verplichte) controle op iteratie-nauwkeurigheid (*tolerated error*)
- (Verplichte) controle op fijnheid van het elementennet
- Benodigde instellingen voor automatische belastingtoename of -afname

H4: Uitgangspunten voor de voorbeelden

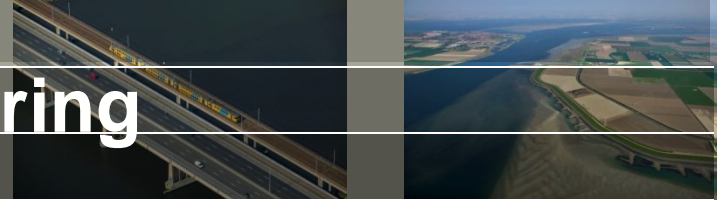
Case: Bergambacht. Groot stabiliteitstekort. Opdrijven. Restprofiel.
Dit tekort is alleen verkleind voor vernageling en onverankerde damwand.



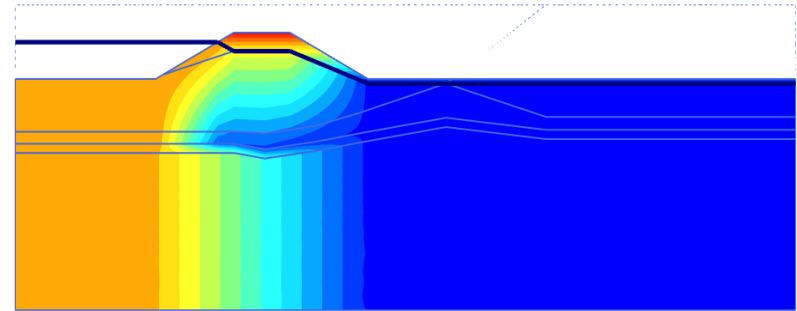
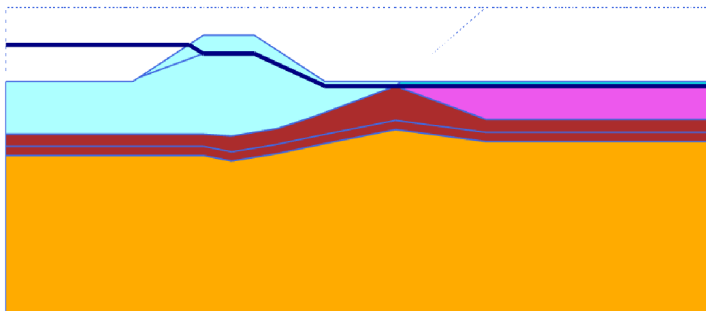
b. Dijkprofiel.

De profielen, waaronder het uit te voeren werk moet worden opgeleverd, moeten zijn overeenkomstig de teekeningen en de nader op het terrein door de Directie te geven aanwijzingen.

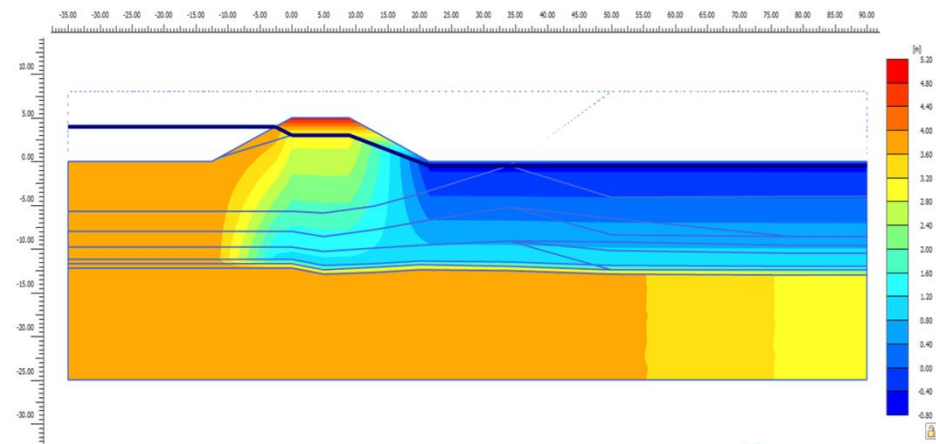
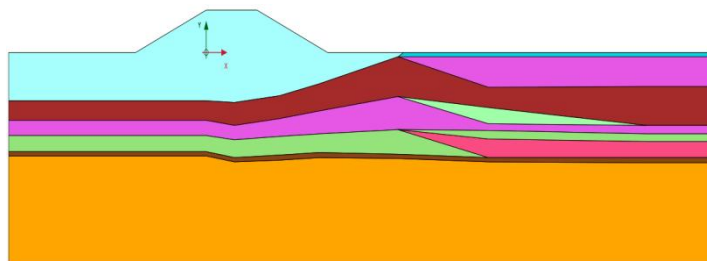
H4: Verschillen in schematisering



Verkleind stabiliteitstekort voor vernageling en onverankerde damwand:
max 5m dik slappe-lagen pakket zonder opdrijven.

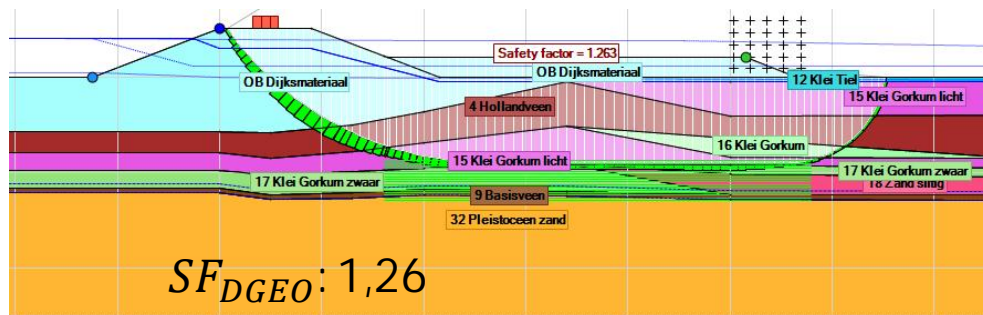
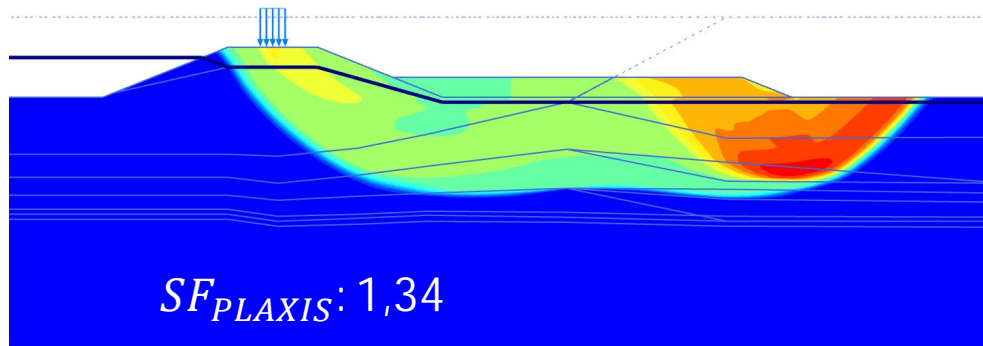


Voor overige: max 12 m dik slappe-lagenpakket + opdrijven



H5: Vergelijking met glijvlakberekening

Ontwerp in grond: berm 35m lang, 2m dik

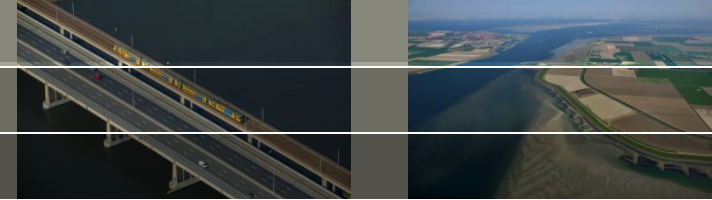


Veiligheidsfactor PLAXIS hoger, maar binnen de eis van 6 %.

Onvermijdelijke oorzaak voor verschil:

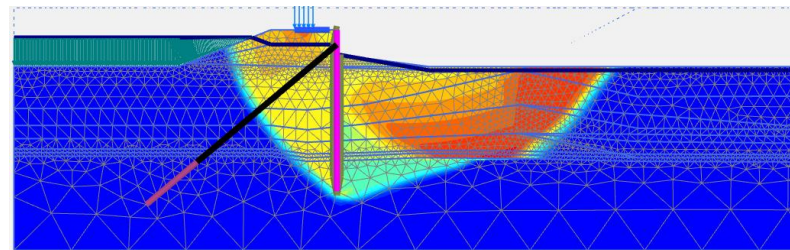
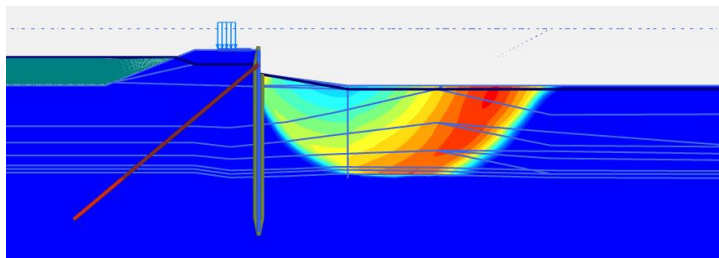
D-GEO baseert grensspanning op verticale spanning. *SHANSEP* *NGI-ADP* baseert grensspanning op grootste hoofdspanning. Onder en naast het talud zijn deze niet gelijk.

H6: Verankerde damwand



+ Bijlage F: Verankerde damwand volgens OSPW bij zelfde norm.

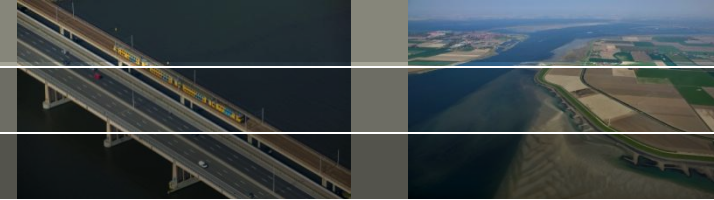
OSPW	PPE
AZ50-700 (panelen)	AZ38-700 (panelen)
25,5 m lang	22,0 m lang
Leeuwanker 76,1x17,5 / h.o.h 1,4m / 33 m	Leeuwanker 101,6x22,2 / h.o.h 2,8m / 35 m
4,9 ton staal/m	3,2 ton staal/m



Oorzaken verschillen:

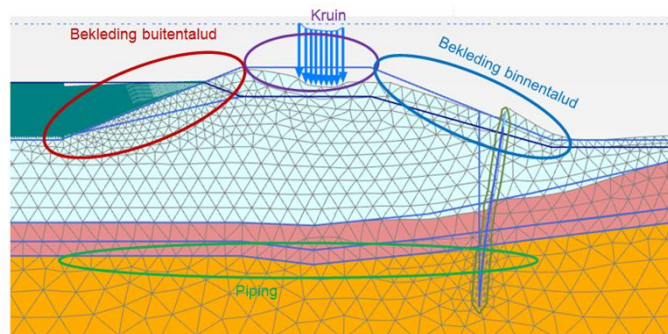
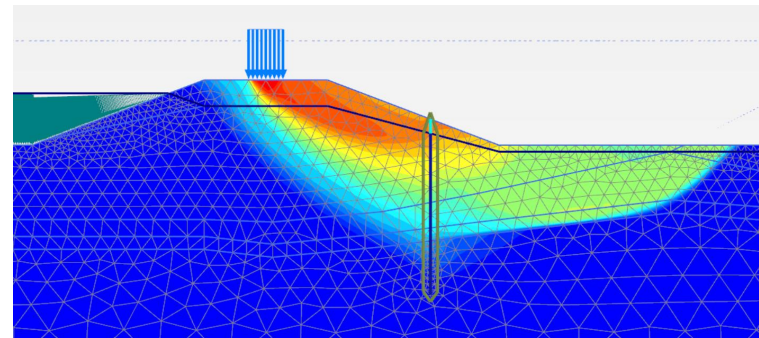
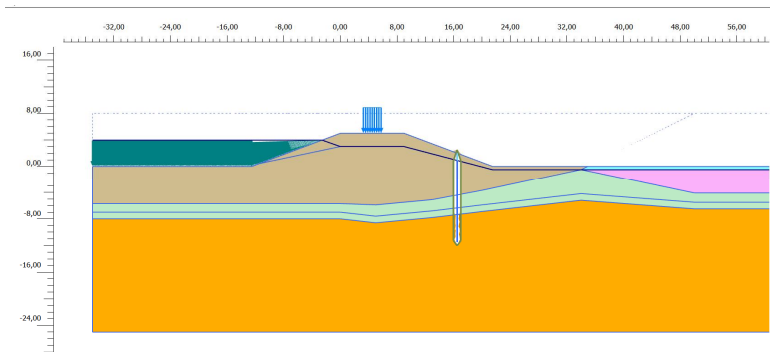
- Kortere damwand door impliciete toets op verticaal evenwicht.
- Ongedraineerd rekenen is gunstiger, wat leidt tot lichtere profielen.

H7: Onverankerde damwand



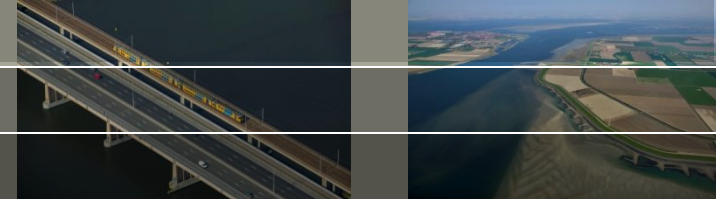
(ontworpen voor kleiner stabiliteitstekort)

AZ36-700N (panelen), 13,5 m lang



Vervormingstoets op maat hier niet nodig, maar ter illustratie toch uitgewerkt (na extra sterktereductie)

H7: Onverankerde damwand

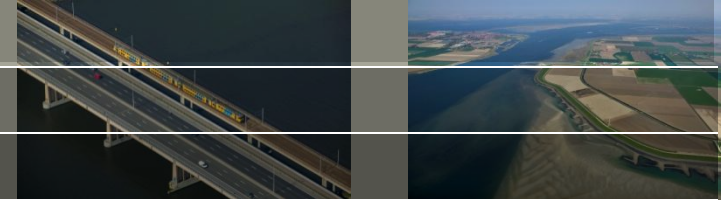


Illustratieve vervormingstoets op maat:

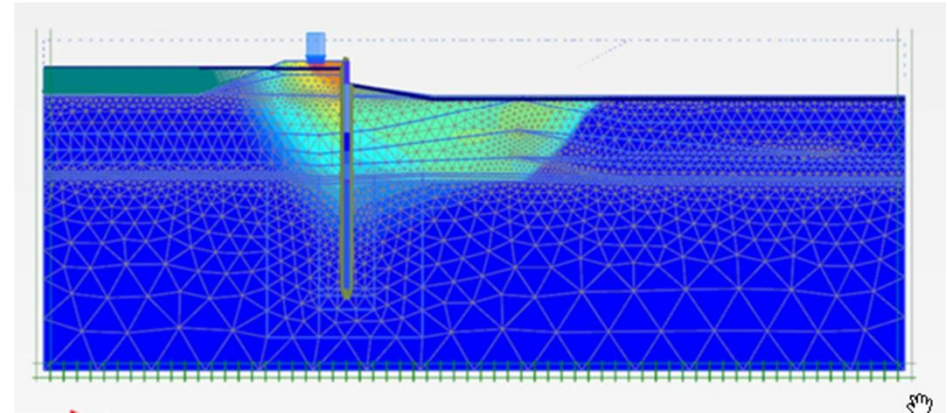
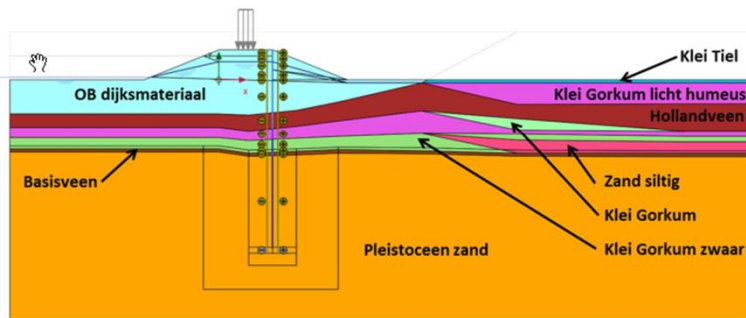
Tabel 7.11 Vervormingstoets op maat

Omschrijving	Vervormingsgedrag	Maatregelen nodig
Buitentalud (grasbekleding)	Absolute vervormingen < 10 cm Rekken < 1% (extensie)	Geen grote vervormingen of rekken op het buitentalud berekend. In combinatie met een grasbekleding is dit toelaatbaar en zijn er dus geen maatregelen nodig op het buitentalud.
Kruin	Verticale kruinvervorming buitenste 3 m < 10 cm. Maximale kruinvervorming 17 cm (ter plaatse van bovenbelasting). Deviatorische rekken ca. 4 a 7 %	Buitenkruin blijft op hoogte, mogelijk wel scheurvorming op de kruin met als gevolg mogelijk extra indringing. Maatregel: Rekening houden met verhoogde freatische lijn in kern (WBN doortrekken tot binnenkruinlijn)
Bekleding binnentalud	Verschilverplaatsingen ter plaatse van de aansluiting met de damwand.	Mogelijk scheurvorming op het binnentalud: overslag beperken tot 0,1 l/s/m;
Piping	Aan de passieve (polder)zijde van de damwand wordt de grond aangedrukt. Aan de buiten-(water)zijde van de damwand ontstaan lokale rekken in de ondergrond maar de damwand blijft aangedrukt worden (er zijn geen trekspanningen).	Aangezien de cohesieve lagen in het achterland aangedrukt worden zal hier geen (nieuw) in- of uittrede punt ontstaan. Achter de damwand is er geen extensie over de volledige hoogte waardoor er geen verticale zandmeevoerende wel kan ontstaan. Daarnaast wordt ruimschoots aan het heave criterium voldaan dus zijn er geen maatregelen wat betreft piping nodig.

H8: Diepwand (gewapend)



Eigenschappen diepwand		
Dikte	1	[m]
EI	1962211	[kNm ² /m]
EA	23546535	[kN/m]

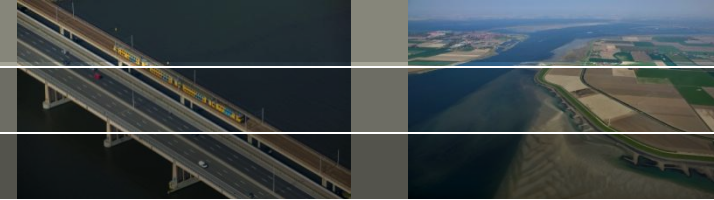


Tabel 8.11 Berekende maximale buigende momenten en uitbuiging bij diverse teendiepten

Teendiepte diepwand [m t.o.v. NAP]	Maximale berekende buigende moment [kNm/m']	Maximale berekende uitbuiging [m]
-28	-3918	0,30
-27	-3868	0,33
-26	-3973	0,33
-25	-3868	0,33
-24	-3809	0,33
-23	-3682	0,33
-22	Berekening breekt voortijdig af	0,35

Kruin op NAP+5: 6m langer dan verankerd damwandontwerp

H8: Diepwand



Vervormingstoets op maat:

- Kruinverlaging en erosie buitentalud is toelaatbaar, zolang wand is ontworpen om dan nog zelfstandig tweezijdig te kunnen keren
- Overslag wel beperken tot 0,1 l/s/m (restprofiel)
- Op Piping controleren met Heave toets

- Overig:
 - K&L verplaatsen
 - Controle op scheefstand van weg die als evacuatie route moet dienen
 - Schade door optreden restprofiel kunnen accepteren* (geldt ook voor verankerde wand)

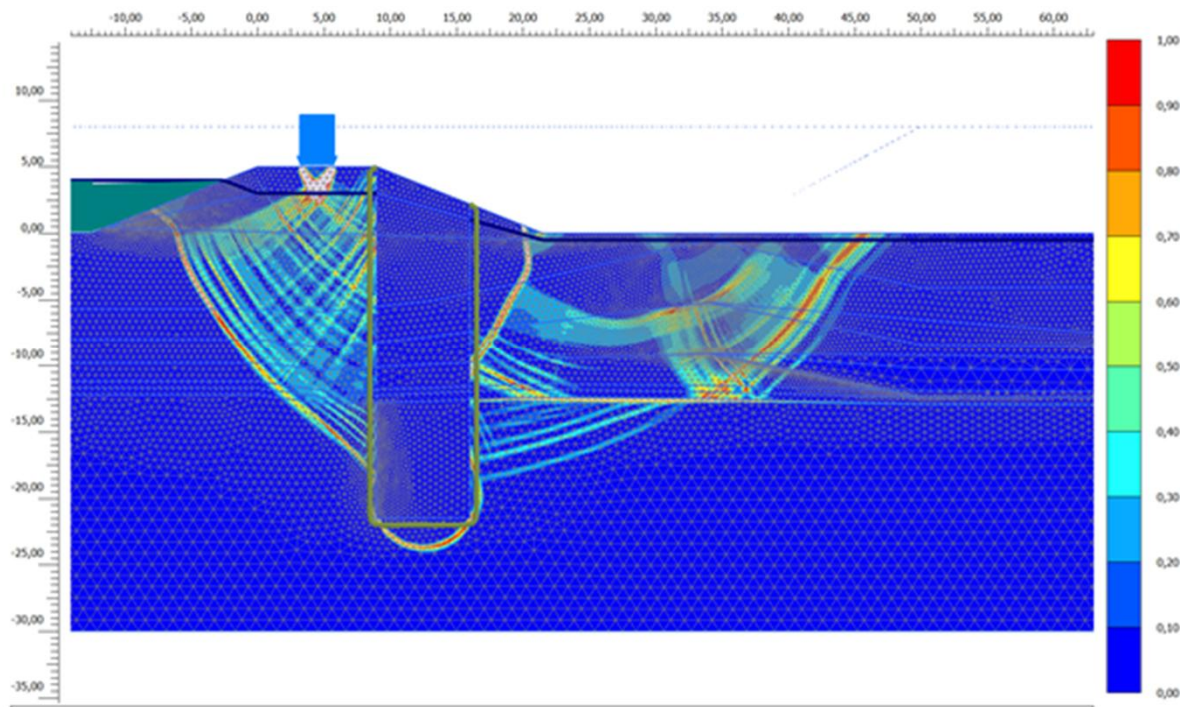
* of in het ontwerp aan binnenzijde al een verlaagd talud opnemen?

H9: Soilmix blokken (ongewapend)

In dijkrichting: 4,55m breed, met tussenruimte van 1,95m

In dwarsrichting: 7m breed

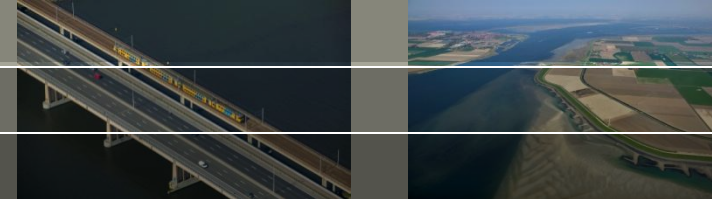
In diepterichting: max 26,5m lang (tpv binnenkruin). Teen op NAP-21,5m



Soilmix materiaal:
Concrete model,
(met scheurvorming)

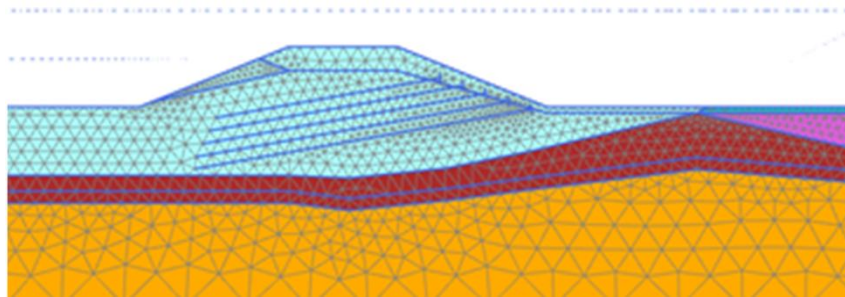
Geen restprofiel. Geen vervormingscontrole op maat nodig.
Dus ook geen beperking overslagdebiet nodig.

H10: Dijkvernageling



(ontworpen voor kleiner stabiliteitstekort)

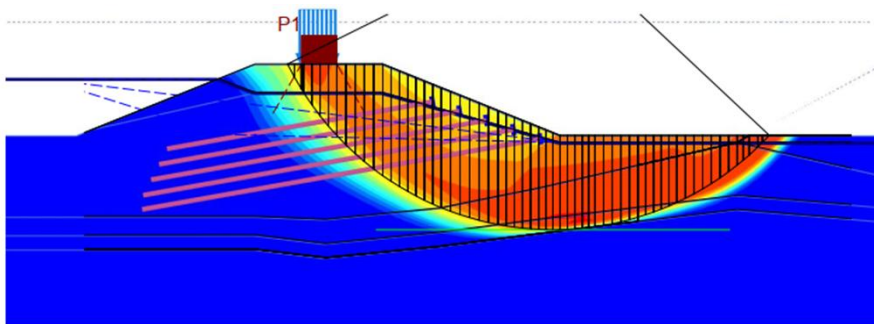
5 rijen nagels, h.o.h. 1m, Lengte tussen 19m (boven) en 28,5m (onder)



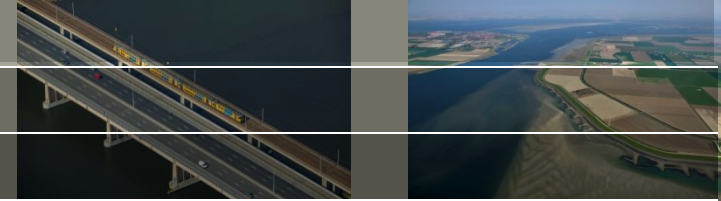
Dijknagels
Embedded Beam Row
met slippen en snijden via interface

Kopplaat: *Plate element*

2D Ontwerp (deels) ook mogelijk met D-GEO of TALREN

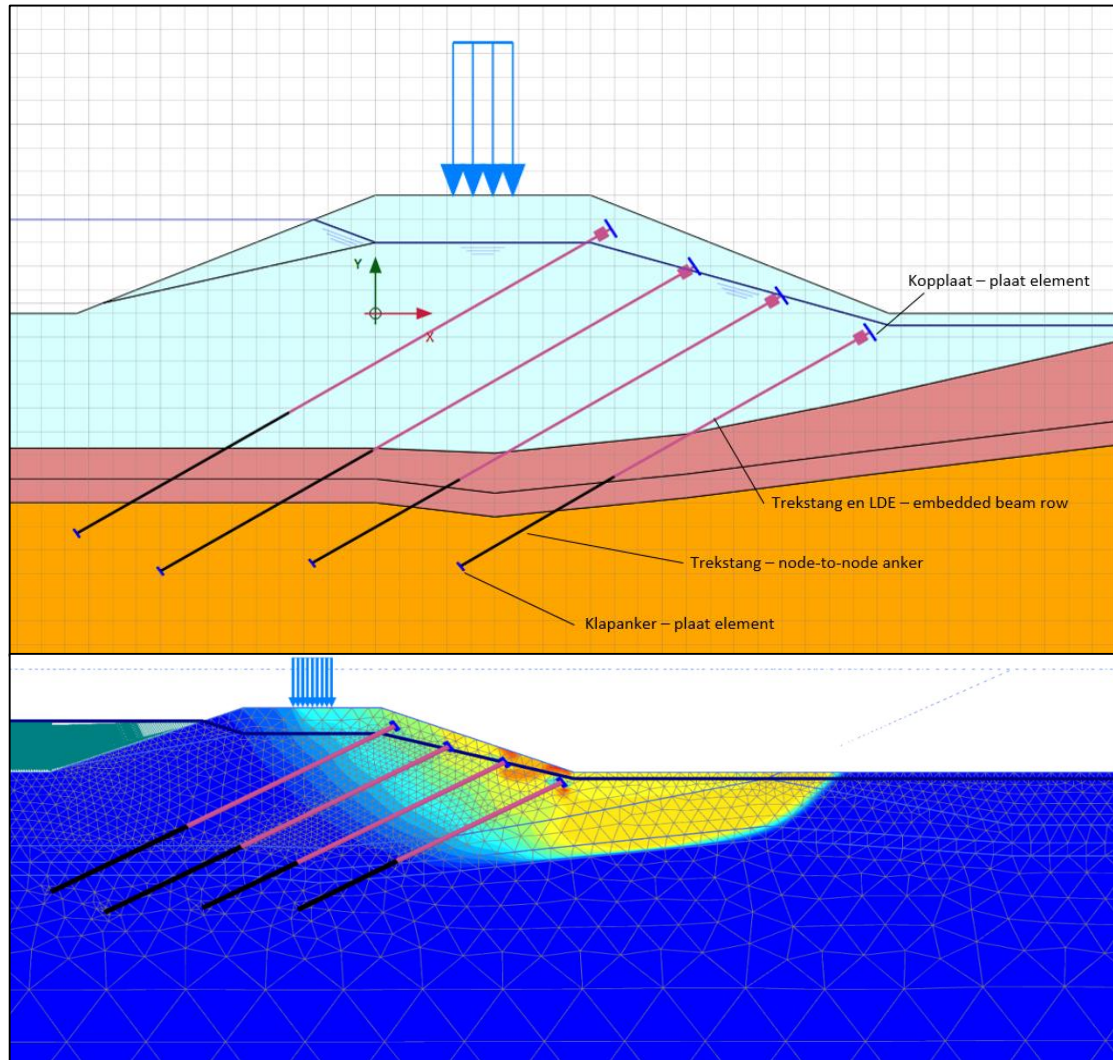


H11: JLD Dijkstabilisator



(ontworpen voor kleiner stabiliteitstekort)

4 rijen,
h.o.h. 1m,
Lengte trekstang tussen
26m (boven) en 20m
(onder)



Nog benodigde aanpassing/uitbreiding

Voorafgaand aan formele eerste publicatie, maart 2019

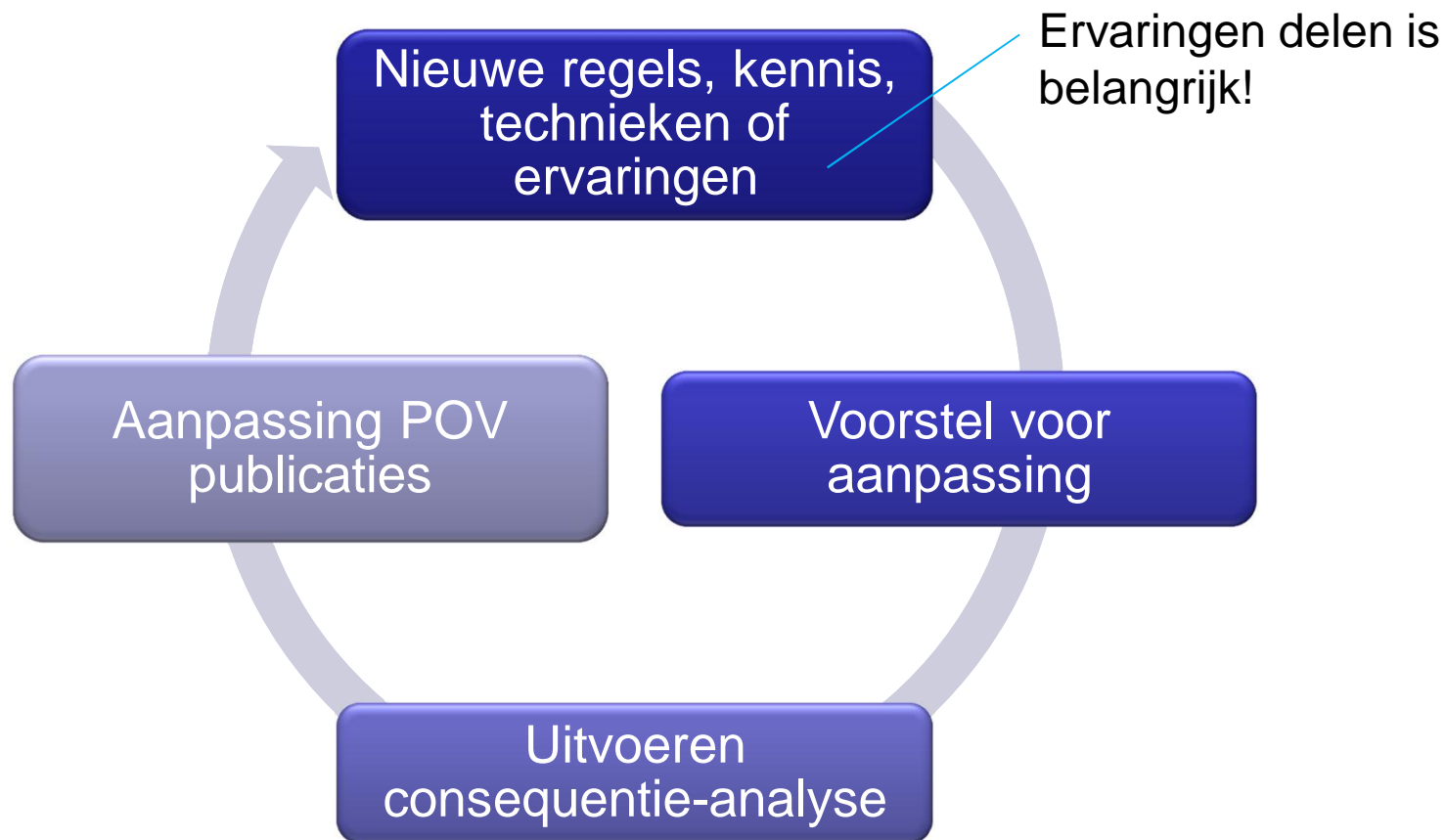
- Uitlijnen met PPL en PPV teksten

Eerstvolgende update:

- Update Soilmix voorbeeld
- Afleiden schematiseringsfactoren voor alle voorbeelden
- 3D analyses voor vernagelingstechnieken
- Verwerken nieuwe kennis
- Verwerken ervaringen.....

Na oplevering is regelmatig actualisatie nodig

Via POV 2.0



Vragen?

