


POVM Eemdijkproef

DO Pull-Over Test (POT)
Product I6/I7

POV

MACRO
STABILITEIT



Auteur: T. Naves
Datum: mei 2018

Definitief 2.0



Titel




Project
1220518-005

Pagina's
49

Samenvatting

Om het werkelijke gedrag van een met damwandconstructie versterkte waterkering (de 'blauwe dijk') onder extreme condities tot na bezwijken betrouwbaar in kaart te brengen is binnen de POV|Macro stabiliteit voor deze principetechniek een full-scale bezwijkproef (FSP) voorzien. Om de doelstellingen rondom deze hoofdproef te kunnen behalen is geconcludeerd dat een aantal "kleinschalige" fysieke proeven noodzakelijk is waarin verschillende configuraties van damwand-profiel omver worden getrokken. In het vervolg worden deze bezwijkproeven aangeduid als de Pull-Over Tests (afgekort tot POTs).

In dit rapport wordt het definitief ontwerp (DO) van de opbouw- en proeffase van de POTs behandeld (deelproduct I6), inclusief ontwerptekeningen (deelproduct I7).

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	feb 2018	T. Naves		H.J. Lengkeek		L. Voogt	
				M. Post			
02	mei 2018	T.Naves		H.J. Lengkeek		L. Voogt	
				M. Post			

Status
definitief

18 mei 2018, definitief

Inhoud

0 Productoverzicht	1
1 Inleiding	2
1.1 Inleiding	2
1.2 Doelstelling Pull-Over Test	2
1.3 Aanpassingen VO Pull-Over test	3
2 Pull over test opstelling	4
2.1 Proefopstelling	4
2.2 Damwandtypes	4
2.3 Damwandconfiguraties	5
2.3.1 3 dubbel damwandprofiel ('continue wand')	6
2.3.2 1x triple U-profiel	6
2.4 Aanbrengen belasting	7
2.5 Gording	8
2.6 Beïnvloedingszone	8
2.7 Installatie wijze damwanden en buispalen	10
3 Predicties Pull-Over Test	11
3.1 Uitgangspunten Predictie berekeningen	11
3.1.1 Doorsnedeklasse damwandprofiel	11
3.1.2 Damwandprofielen	12
3.1.3 Sterkte damwandprofiel	12
3.1.4 Grondopbouw	13
3.1.5 Geotechnische sterkte parameters	15
3.1.6 Plaxis Model	16
3.1.7 Mesh fijnheid	17
3.2 Predictie: Gu8N (reversed)	18
3.3 Predictie AZ13-700	20
3.4 Predictie AZ26	22
3.5 Vervormingen kop damwand	24
3.6 Vervormingen reactieframe	26
3.7 Rotaties damwand	28
3.7.1 GU8N	29
3.7.2 AZ13-700	30
3.7.3 AZ26	31
4 Monitoring	32
4.1 Doel van de monitoring	32
4.2 Hoe wordt er gemonitord	32
5 Risico's	34
5.1 Damwandplank bezwijkt niet	34
5.2 Damwand bezwijkt te snel / vroegtijdig	34
5.3 Mislukken van installatie damwand	34
5.4 Onveilige situaties tijdens uitvoering van de proef	34



18 mei 2018, definitief

5.5	Uitvallen monitoring	35
6	Conclusie	36
7	Referenties	37

0 Productoverzicht

Als verantwoording voor de invulling van het proefprogramma rondom de POV|M Eemdijkproef zijn de volgende hoofdproducten^[1] in Tabel 0.1 voorzien:

Code	Hoofdproducten
A	Algemene werkzaamheden
B	Externe stuurinformatie
C	Interne stuurinformatie
D	Inkoop installatie monitoring, veld- en laboratoriumonderzoek
E	Vergunningen
F	Geotechnisch basisrapport proeflocatie
G	Voorlopig ontwerp aanleg/opbouw FSP
H	Voorlopig ontwerp proef POT
I	Definitief ontwerp proef/herstel FSP/POT
J	Monitoringsplannen FSP en POT (aanleg, opbouw en proef)
K	Inkoop grondwerk t.b.v. aanleg en opbouw FSP
L	Inkoop grondwerk t.b.v. (tussentijds) herstel proef FSP/POT
M	Inkoop en installatie damwanden en hulpconstructies FSP/POT
N	Inkoop overig materieel t.b.v. uitvoering proef FSP/POT
O	Draaiboeken voor aanleg, opbouw, proef en herstel FSP/POT
P	Factual report en analyse reststerkte & restprofiel proef FSP
Q	Factual report en analyse opbouw en proef POT
R	Factual report aanleg FSP (groene en blauwe dijk)
S	Analyse aanleg FSP (groene en blauwe dijk)
T	Factual report opbouw FSP (groene en blauwe dijk)
U	Factual report proef FSP (groene en blauwe dijk)
V	Analyse proef FSP/POT (groen en blauwe dijk, push-over)
W	Dataverwerking en dataopslag

Tabel 0.1 Overzicht van producten bij proefprogramma POV|M Eemdijkproef

Het voorliggende deelproduct betreft het Definitief Ontwerp (DO) van de pull-over test (POT, product I5/I6/I7), wat tezamen met het DO van de full-scale damwandproef **hoofdproduct I** vormt. Het DO van de full-scale damwandproef is een afzonderlijk deelproduct.

^[1] zie aanbieding met Deltares kenmerk 11200956-001-GEO-0003-ydh van 10 mei 2017

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Als onderdeel van de POV Macro stabiliteit (POV|M) is er een full-scale damwandproef voorzien. Deze proef heeft als doel om sterkte en vervormingsgedrag van een combinatie van constructieve elementen en (on)gedraineerde grond onder extreme (hoogwater)condities betrouwbaarder te kunnen voorspellen. In deze proef zal een stabiliteits-verhogende langsconstructie in een grondrijk tot bezwijken worden gebracht. Op basis van deze en andere voorbereidende proeven kan uiteindelijk antwoord worden gegeven op alle kennisvragen zoals benoemd in bijlage A.

In de definitiefase [ref. 1] is geconcludeerd dat voor het bepalen van de bovenstaande doelstelling een optimale mix van numeriek en fysiek (groot- en kleinschalig) onderzoek noodzakelijk is. Hierbij is als “kleinschalige” fysieke proef een proef voorzien waarin een damwandprofiel omver wordt getrokken. In het vervolg wordt deze bezwijkproef aangeduid als de Pull-Over Test (afgekort tot POT).

Voor dergelijke bezwijkproeven heeft Witteveen+Bos in samenwerking met het Havenbedrijf Rotterdam veel ervaring opgedaan bij bezwijkproeven van afmeerpalen (Dolphins). In Bijlage B is een samenvatting van deze proef opgenomen. Daarnaast is ook in het blad geotechniek een artikel hierover verschenen [ref. 6].

In dit ontwerprapport worden de predicties uit het VO [ref. 6] ge-update op basis van de ge-update grondeigenschappen naar aanleiding van het labonderzoek [ref. 2], de gemeten damwandeigenschappen en geavanceerde 3D berekeningen. Deze predicties zullen dienen als stuurinformatie voor de uitvoering van de proef.

1.2 Doelstelling Pull-Over Test

De POT heeft als doelstelling de invloed van de ondersteuning door grond op het gedrag van een (dis)continue damwand te valideren. Hierin wordt met name gekeken naar de plasticiteit van de damwand en de resulterende grond-constructie interactie. De POT zal antwoord geven op de volgende specifieke kennisvragen in Bijlage A:

1. Hoe goed kunnen de beschikbare rekenmodellen het werkelijk optredend gedrag in de proeven (in dit geval de POT) voorspellen.
2. Welke invloed hebben het (dis)continue karakter van de damwand én mate van inbedding in grond op doorsnedeklasse volgens Eurocode 3 - deel 5?
3. Hoe gedraagt zich een in grond ingebedde plank na het ontstaan van een plastisch scharnier. Is er met volledig ingebedde damwand een hoger moment toelaatbaar dan zonder inbedding?

In aanvulling op het beantwoorden van bovenstaande kennisvragen zal de POT ook dienen om ervaring op te doen voor de Full-Scale damwandproef (afgekort tot FSP). Kennis die wordt opgedaan met het inbrengen van de damwanden, over het gedrag van de damwandprofielen tijdens de installatie en de proef en de mate waarin het functioneren van de hierop aangebrachte monitoringsinstrumenten hierdoor wordt beïnvloed zal gebruikt worden bij de opbouw en analyses van de FSP.

1.3 Aanpassingen VO Pull-Over test

Er is reeds een VO van de POT opgesteld [ref. 7], wat op de volgende belangrijke punten is aangepast:

In het VO was er nog sprake van enkel AZ13-700 en AZ26-700 profielen. Echter is op basis van een proefwalsing door ArcelorMittal gebleken dat het niet mogelijk is om de AZ13-700 damwandprofielen te leveren met een maximale vloeispanning van 300N/mm^2 . Hierdoor kan naar verwachting de FSP niet tot voldoende grote plastische vervormingen worden gebracht. Voor de FSP is dan ook in overleg met ArcelorMittal voor een slapper alternatief gekozen: een triple GU8N profiel. Dit betekent dat ook in de POT een andere damwandconfiguratie toegepast gaat worden om de POT zo goed als mogelijk te laten aansluiten op de FSP, dit is nader uitgewerkt in paragraaf 2.1.

Daarnaast is er in plaats van het AZ26-700 profiel een AZ26 profiel gekozen. Dit profiel heeft een kleinere breedte (0,63m i.p.v. 0,70m). Als gevolg van de gereduceerde breedte kan op basis van de uitgevoerde predicties in dit DO de maximaal te verwachten trekkracht ook iets naar beneden worden bijgesteld tot ca. 950kN t.o.v. 1050kN in het VO.

In het VO is als uitgangspunt een lier gehanteerd omdat hiermee een grote slag behaald kan worden. In overleg met de aannemer is tot de conclusie gekomen dat vijzels toch de voorkeur hebben boven de lier. Om toch de grote slag te maken wordt een daarom een extra lange vijzel toegepast die een slag van 2m kan maken.

Voor het constructief ontwerp van het reactieframe is in het VO voorgesteld om losse HEB-profielen te plaatsen rondom de buispalen. In samenwerking met de aannemer is ervoor gekozen om een prefab frame op de buispalen te plaatsen. Het constructief ontwerp is verder uitgewerkt door de aannemer en is bijgevoegd in bijlage C.

2 Pull over test opstelling

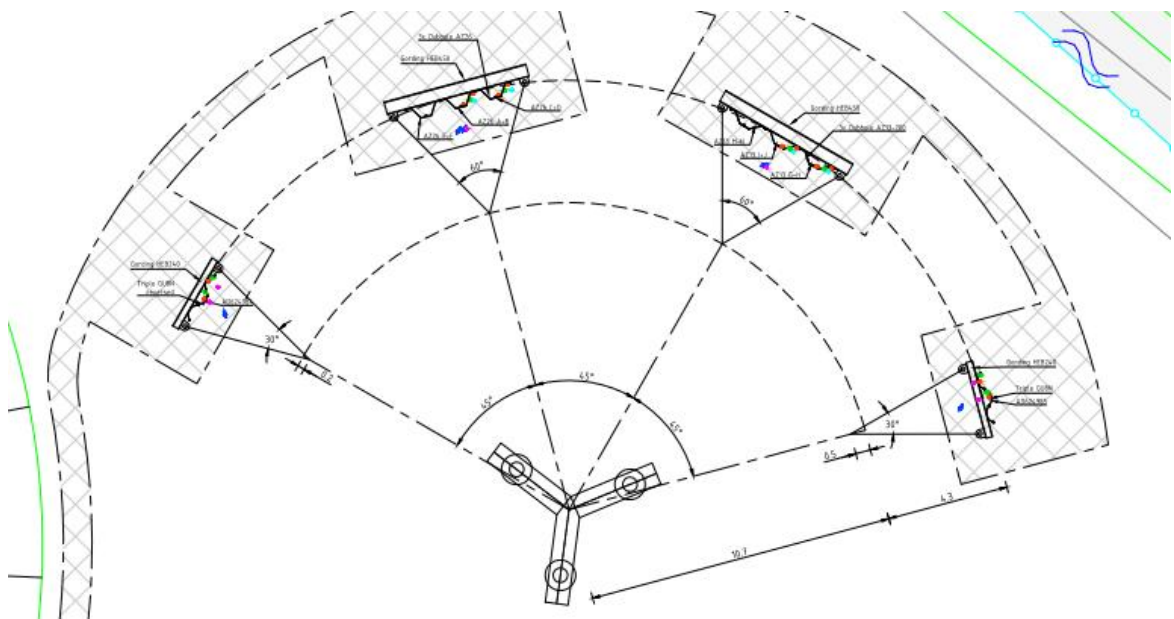
2.1 Proefopstelling

In de POT worden verschillende damwandconfiguraties van één of meerdere meervoudige damwandplanken via een statische trekbelasting op de kop omver getrokken. In Figuur 2.1 is hiervan een bovenaanzicht weergegeven. De te beproeven damwandplanken staan in een waaierformatie, waarbij de configuraties waarvoor de hoogste bezwijkbelasting moet worden gemobiliseerd (3x dubbele AZ26 en 3x dubbele AZ13-700) in het midden staan.

Het omvertrekken van de damwandplanken zal middels een hydraulische vijzel worden uitgevoerd. Deze hydraulische vijzel is gekoppeld aan een reactieframe op 3 buispalen.

Het constructieve detail ontwerp van de trekopstelling is uitgewerkt door de aannemer, dit ontwerp is bijgevoegd in bijlage C.

In bijlage E is een tekening van de opstelling toegevoegd.

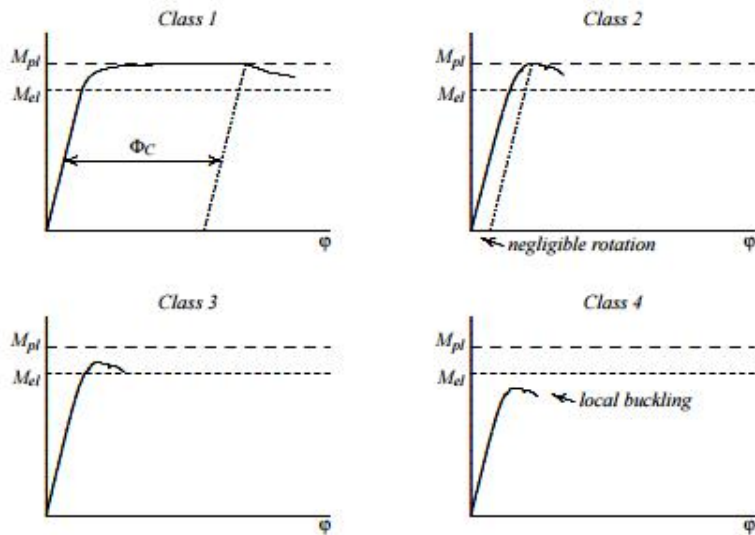


Figuur 2.1 Bovenaanzicht ontwerp proefopstelling pull-over tests

2.2 Damwandtypes

Conform Eurocode EN 1993-5 kunnen damwandprofielen, afhankelijk van hun capaciteit om plastische vervorming te ondergaan, worden ingedeeld in 4 doorsnedeklassen:

- Klasse 1: profiel behaalt de plastische momentcapaciteit en beschikt over rotatiecapaciteit.
- Klasse 2: profiel behaalt de plastische momentcapaciteit en heeft nagenoeg geen rotatiecapaciteit.
- Klasse 3: Profiel behaalt de elastische momentcapaciteit.
- Klasse 4: profiel behaalt niet de elastische momentcapaciteit.



Figuur 2.2 Typisch kracht vervormings diagram per doorsnede klasse

Voor de POT-opstelling zijn de volgende damwandtypes geselecteerd:

- GU8N (doorsnedeklasse 3)
- AZ13-700 (doorsnedeklasse 3)
- AZ26 (doorsnedeklasse 2)

Het GU8N profiel is geselecteerd omdat dit hetzelfde profiel is als dat in de FSP toegepast zal worden.

Het AZ26 profiel is gekozen omdat dit een damwandplank is die ruim in doorsnedeklasse 2¹ valt en daardoor in theorie een grote rotatiecapaciteit heeft.

Om de vergelijking te kunnen maken met een damwand die in theorie in een andere doorsnedeklasse valt, en daarmee een kleinere plastische momentcapaciteit heeft, wordt een AZ13-700 uit doorsnedeklasse 3 beproefd.

2.3 Damwandconfiguraties

De door de fabrikant opgegeven capaciteit van damwandprofielen heeft betrekking op de situatie waarin deze als continue wand worden uitgevoerd. Bij dijkversterkingen wordt echter steeds vaker op een regelmatige afstand een plank weggelaten, waardoor een discontinue wand ontstaat. Om de invloed van discontinue vs continue wanden te beschouwen (kennisvraag 2 in Paragraaf 1.2) zijn er een 3-tal configuraties van de gekozen profielen vastgesteld:

- 3x dubbel Z-profiel.
- 1x triple U-profiel.
- 1x triple U-profiel (reversed)

¹ Merk op dat dit geldt voor continue wanden conform EN1993-5.

2.3.1 3 dubbel damwandprofiel ('continue wand')

Het 3 dubbele damwandprofiel is gekozen omdat dit ter plaatse van de midden plank het meest op het gedrag van een continue wand lijkt. Daarnaast lijkt dit veel op een panelen wand (wand met openingen) die in de praktijk ook veel wordt toegepast.



Figuur 2.3 3x dubbel damwandprofiel (pijl geeft de belastingsrichting aan)

2.3.2 1x triple U-profiel

Bij een enkel triple U-Profiel heeft de belastingsrichting invloed op het sterkte en stijfheidsgedrag. Daarbij zijn 2 kenmerken te onderscheiden:

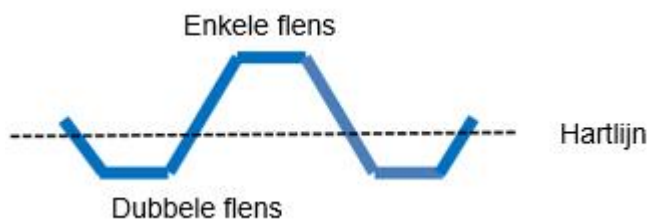
- Initiële sterkte.
- Verandering van sterkte en stijfheid als gevolg van grote vervormingen (2^e orde effect)

Initiële sterkte

De hartlijn van een enkel triple U-Profiel ligt niet meer in het midden van de damwand maar is verschoven in de richting van de dubbele flens. Als gevolg daarvan staat de enkele flens verder van het zwaartepunt af en daardoor eerder zal gaan vloeien dan de dubbele flensen.

Als de enkele flens op druk komt te staan is de verwachting dat deze eerder zal bezwijken als gevolg van knip/plooi dan wanneer de dubbele flens op druk komt te staan.

Op basis van bovenstaande is de verwachting dat het triple U-Profiel met 2 flensen op druk een hogere (initiële) sterkte zal hebben dan een triple U-Profiel met 2 flensen op trek.



Figuur 2.4 Triple U-Profiel (normal)

Verandering eigenschappen damwand als gevolg van rotatie

Naast de invloed van de initiële sterkte speelt de vervorming van het profiel mogelijk een belangrijke rol. Bij een gunstige belastingrichting neemt in theorie de profielhoogte (mede door de steundruk van de achterliggende grond) toe, waardoor ook het weerstandsmoment van het profiel toeneemt. Bij het belasten in de tegenovergestelde richting neemt in theorie de profielhoogte (en daarmee het weerstandsmoment) echter af.

Om dit effect in kaart te brengen zijn geavanceerde DIANA berekeningen gemaakt, zie ook bijlage F².

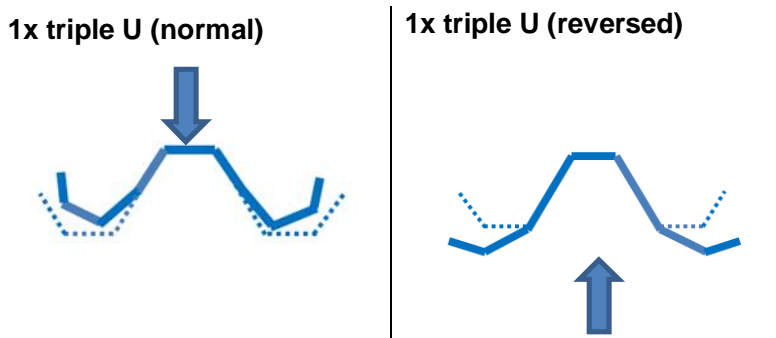
² Merk op dat deze DIANA berekeningen zijn gemaakt als vervolg het VO van de Push over test. Om deze reden wordt hierin nog uitgegaan van een AZ13-700 damwandprofiel en de grondeigenschappen conform het VO.

In deze analyse zijn 3 modellen met elkaar vergeleken:

- Doorgaande wand (continuous wall).
- Niet doorgaande wand in de normal richting belast.
- Niet doorgaande wand in de reversed richting belast.

Het doel van deze berekeningen is het effect van discontinuïteit en belastingrichting aan te tonen. Echter blijkt dat het in de huidige DIANA software niet mogelijk is om zowel grond constructie interactie, plastisch gedrag van staal en geometrische niet lineariteit te modelleren in 1 model. Met name het laatste punt is hierbij van belang, geometrische niet lineariteit zorgt er namelijk voor dat de sterkte en stijfheid eigenschappen van het damwandprofiel worden geüpdate bij vervorming van het damwandprofiel. Uiteindelijk heeft het DIANA model niet kunnen leiden tot een inschatting van het effect van het rotatie effect maar zijn wel de Plaxis berekeningen gekalibreerd en is een inschatting gemaakt van het plastisch gedrag van het staal.

Hoe groot het effect van de veranderde damwandeigenschappen als gevolg van grote vervorming blijft dus nog erg onzeker en zal dus moeten blijken uit de proeven op de GU8N en GU8N reversed.



Figuur 2.5 Verandering eigenschappen damwandprofiel als gevolg van grote vervorming

Om de invloed van het verwachte verschil in de richting van belastingen zichtbaar te maken zullen de triple U-Profielen op twee manieren ten opzichte van de belastingrichting worden geplaatst, om de impact van 2 flensen op druk/trek en het hoger worden vs het lager worden van het profiel in de grond te beschouwen.

2.4 Aanbrengen belasting

Een belangrijk aspect van de Pull-Over Test is het plastisch vervormingsgedrag van de damwand (zie kennisvraag 3 in Paragraaf 1.2). Om dit vervormingsgedrag goed te kunnen onderzoeken is het noodzakelijk dat er een grote vervorming gerealiseerd kan worden.

Op basis van de uitgevoerde Plaxis berekeningen (zie Hoofdstuk 3) is de verwachting dat tot minimaal 1m (AZ26) verplaatsing nodig is om de het volledige plastische traject in kaart te brengen. De verwachting is dat de grond mogelijk een gunstig effect heeft op de rotatiecapaciteit en daarom wordt voor het ontwerp van de trekopstelling rekening gehouden dat een verplaatsing tot 2m noodzakelijk is om dat te bereiken.

De belasting wordt gegenereerd middels vjzels gekoppeld aan een reactieframe, met deze vjzels kan een vervorming van 2m gerealiseerd worden. Het ontwerp van de opstelling is verder toegelicht in paragraaf 2.1.

2.5 Gording

Om de kracht vanuit de vijzel goed over te brengen naar de damwanden zullen er gordingen toegepast worden. Daarbij wordt er een onderscheid gemaakt in de gording voor de GU8N profielen en de gording voor de AZ profielen:

- Voor de GU8N profielen wordt minimaal een HEB240 toegepast.
- Voor de AZ profielen wordt minimaal een HEB450 toegepast.

In bijlage E is de constructieve toets van de gordingen toegevoegd. De gordingen zullen middels een boutverbinding worden gekoppeld aan de damwandprofielen. De bouten dienen ervoor om te zorgen dat de gording niet van de damwand kan afschuiven bij grote vervormingen en tevens dienen deze bouten ervoor om de vorm van de damwand vast te houden aangezien geen zijdelingse verplaatsing kan optreden. De detail uitwerking van deze verbinding is uitgewerkt door de aannemer en bijgevoegd in Bijlage C.

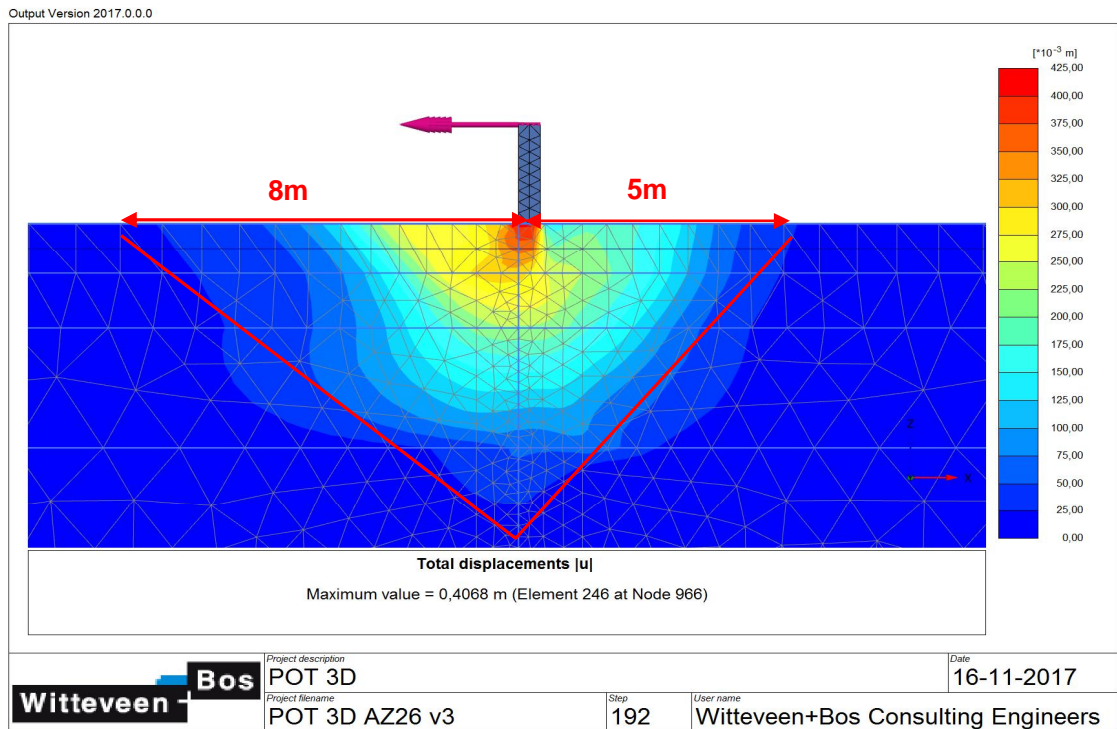
2.6 Beïnvloedingszone

Voor de Pull-Over test is het van belang dat de grond voor en achter de damwandplanken zo minimaal mogelijk beïnvloed wordt door het reactieframe. Daarom is er rondom de planken in de ondergrond een beïnvloedingszone vastgesteld en is er een afstand van 15m aangehouden tussen de buispalen en de damwand.

Als gevolg van het aangepaste ontwerp van het reactieframe ten opzichte van het frame in het VO komen de buizen iets dichterbij de damwanden te staan, de afstand tussen damwand en buispaal is ca. 12m. Op basis van 3D berekeningen zijn de beïnvloedingszones rondom de damwand opnieuw vastgesteld. Maatgevend daarbij zal de AZ26 opstelling zijn aangezien deze het stijfst zal reageren en de meeste grond zal mobiliseren. Hieruit volgt dat in een zone van 8m voor de damwand de grond gemobiliseerd wordt.

De afstand van 12m tussen buispaal en damwand wordt daarmee groot genoeg geacht om beïnvloeding van damwand te voorkomen. Daarbij geldt dat de buispalen met name in de diepere zandlaag zullen mobiliseren en weinig zullen vervormen, zie ook het VO [ref. 7].

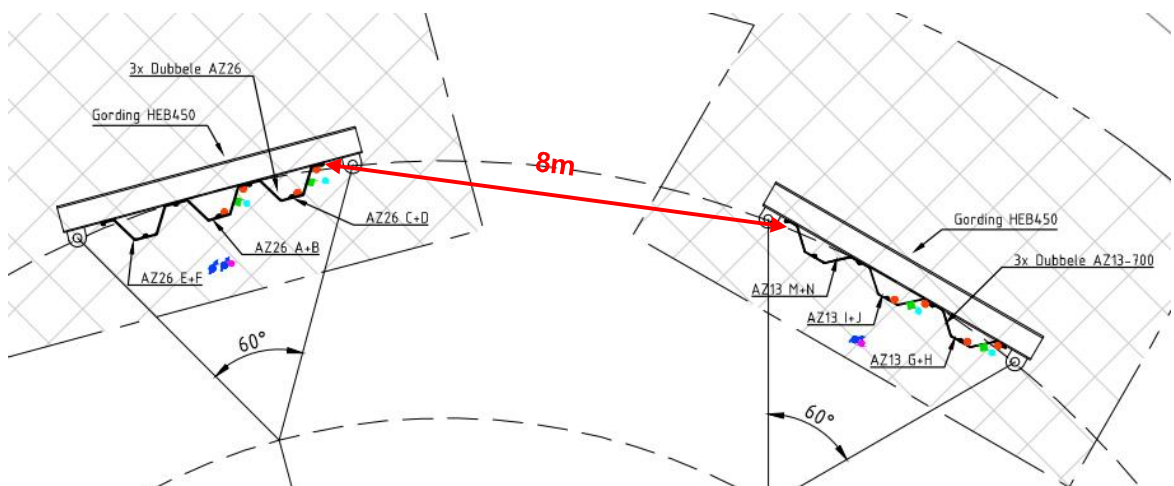
In Figuur 2.6 zijn de te verwachten vervormingen weergegeven.



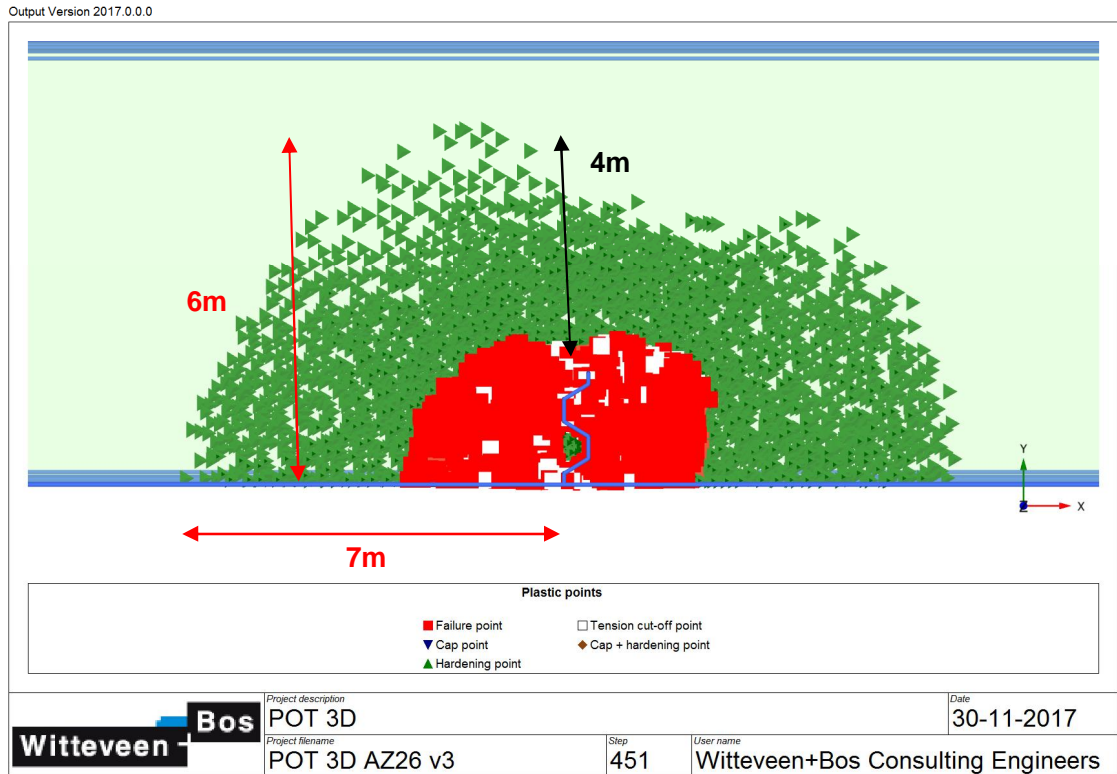
Figuur 2.6 Vervormingen Pull-Over test AZ26, doorsnede

Naast de beïnvloeding met de buispaal is er gekeken naar de afstand tussen de verschillende damwand configuraties. Het is onwenselijk dat het bezwijkvlak van een eerder uitgevoerde test de passieve grondwig van de nog te testen configuratie significant beïnvloed. De aangehouden afstand tussen de damwanden is ca. 8m. Daarbij geldt dat elastisch gedrag van de grond geen probleem is, maar dat plastisch gedrag van de grond ter plaatse van de nog uit te voeren testen ongewenst is.

Het plastisch gedrag van de grond is inzichtelijk gemaakt op basis van de plastic point in het Plaxis 3D model (zie Figuur 2.8). Op basis hiervan is vastgesteld dat een zone tot ca. 4m naast de damwand beïnvloed wordt. De afstand van 8m wordt daarmee voldoende geacht.



Figuur 2.7 Bovenaanzicht AZ configuratie



Figuur 2.8 Plastic point AZ26, doorsnede (NAP-1, 1m).

2.7 Installatie wijze damwanden en buispalen

De wijze van installatie van de damwanden en buispalen zal door de aannemer nader uitgewerkt worden als onderdeel van het werkplan opbouw POT, dat onderdeel uitmaakt van het gezamenlijke draaiboek voor de POT.

Bij het uitwerken van de installatie wijze dient er te allen tijde rekening te worden gehouden met het feit dat dit een proef betreft en dat de damwandplanken voorzien worden van monitoringsapparatuur (zie ook hoofdstuk 324). Een gedeelte van deze apparatuur wordt vooraf geïnstalleerd, voor de proef is het van het grootste belang dat deze apparatuur niet beschadigd raakt.

Na het installeren van de eerste geïnstrumenteerde plank zal eerst getest worden of de monitoring nog functioneert alvorens de volgende geïnstrumenteerde plank (eventueel met een aangepaste werkwijze) wordt geïnstalleerd. Ook dit wordt in het gezamenlijke draaiboek voor de POT nader toegelicht.

3 Predicties Pull-Over Test

In dit hoofdstuk zijn de predicties van het (bezwijk)gedrag van de vier POT-configuraties weergegeven. Deze predicties hebben als hoofddoel dat deze als stuurinformatie tijdens de proef gebruikt zullen worden. Er wordt daarom gefocust op:

- Kracht vs verplaatsing van de vijzel.
- Vervorming kop damwand.
- Rotaties damwand.
- Vervormingen reactieframe.

3.1 Uitgangspunten Predictie berekeningen

3.1.1 Doorsnedeklasse damwandprofiel

Zoals in paragraaf 2.1 is beschreven kunnen damwandprofielen conform Eurocode EN 1993-5 worden ingedeeld in 4 doorsnedeklassen.

De klasse-indeling van damwandprofielen is gebaseerd op 4-puntsbuigproeven op damwandprofielen waarbij er geen rekening wordt gehouden met inbedding in de grond of het discontinue karakter van een wand. Een van de kennisvragen van deze proef is om te kijken wat de invloed van de inbedding van de grond en discontinuïteit is op het gedrag van de damwand (doorsnedeklasse).

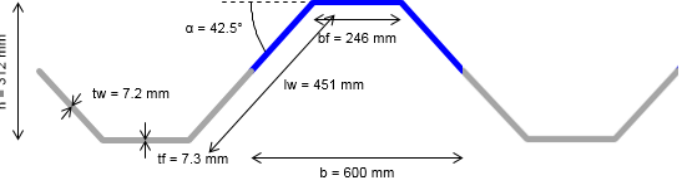
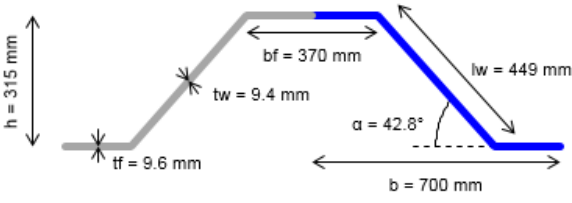
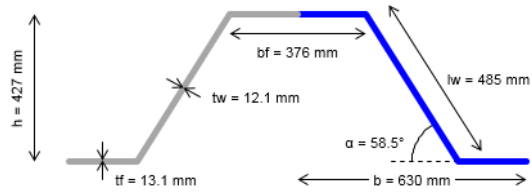
Met andere woorden: is het mogelijk dat een klasse 3 profiel bij een volledige inbedding reageert als een klasse 2 profiel en dus een hogere plastische momentcapaciteit heeft. Of dat een klasse 2 profiel reageert als een klasse 1 profiel en daardoor een grotere rotatiecapaciteit heeft. Of bezwijkt een profiel vroegtijdig als gevolg van discontinuïteit van de damwandplank.

Voor de predicties zijn Plaxis 3D berekeningen gemaakt en daarnaast Plaxis 2D berekeningen ter verificatie. Met deze berekeningen kan het gedrag van de damwand tot aan het ontwikkelen van de vloeispanning goed gemodelleerd worden. Echter een belangrijke beperking is dat lokaal (vroegtijdig) bezwijken van de damwand als gevolg van plooi en/of knik en hardening en softening van het staal niet meegenomen kan worden. Om toch een bruikbare predictie te krijgen van de te verwachten krachten en vervormingen is daarom gebruik gemaakt van de standaard methodiek conform de EN1999-3. Op basis van de slankheid van de flens wordt gecontroleerd in welke doorsnede klasse deze valt. Op basis van de doorsnedeklassen en slankheid is bepaald wat de momentcapaciteit en rotatiecapaciteit is. Merk op dat deze methode empirisch is bepaald op basis van labproeven.

Wat de invloed van de grond is, is daarbij onzeker (doel van de Pull-Over Test om dit te onderzoeken). De verwachting is dat de grond een gunstige bijdrage aan de momentcapaciteit zal leveren. Daarom is als ondergrens een gereduceerd buigend moment conform EN1999-3 aangehouden en als bovengrens de volledig plastische momentcapaciteit.

3.1.2 Damwandprofielen

In de fabriek zijn diktemetingen op de damwandprofielen uitgevoerd. Op basis van deze metingen zijn de gemiddelde diktes van de flens en lijf vastgesteld. Daarnaast zijn er trekproeven uitgevoerd om de sterkte van de profielen vast te stellen. Alle dikte metingen en trekproeven zijn toegevoegd in Bijlage B. Op basis van deze metingen zijn de volgende eigenschappen van de damwandprofielen vastgesteld:

<p>GU8N O.k. damwand: Lengte plank: Aangrijppunt kracht: Vloeispanning: Doorsnedeklasse M_{el} M_{pl}</p>	<p>Nap-11,0m 14,0m NAP+2,0m 380,5N/mm² 3 290kN/m/m 353kN/m/m*</p>	
<p>AZ13-700 O.k. damwand: Lengte plank: Aangrijppunt kracht: Vloeispanning: Doorsnedeklasse M_{el} M_{pl}</p>	<p>NAP-11,0m 14,0m NAP+2,0m 406N/mm² 3 530kN/m/m 626kN/m/m*</p>	 <p>equivalente flensdikte: om het traagheidsmoment van de sloten mee te nemen is een dikkere flens van 13,2mm meegenomen in het plaxis model.</p>
<p>AZ26 O.k. damwand: Lengte plank: Aangrijppunt kracht: Vloeispanning: Doorsnedeklasse M_{el} M_{pl}</p>	<p>NAP-13,0m 16,5m NAP+2,0m 327N/mm² 2 851kN/m/m 1001kN/m/m</p>	 <p>equivalente flensdikte: om het traagheidsmoment van de sloten mee te nemen is een dikkere flens van 16,9mm meegenomen in het plaxis model</p>

*Aangezien het continue uitgevoerde damwandprofiel in klasse 3 valt zal in theorie de plastische momentcapaciteit niet behaald worden en zal de damwand dus eerder bezwijken (zie ook paragraaf 3.1.1).

Figuur 3.1 Overzicht eigenschappen damwandprofielen

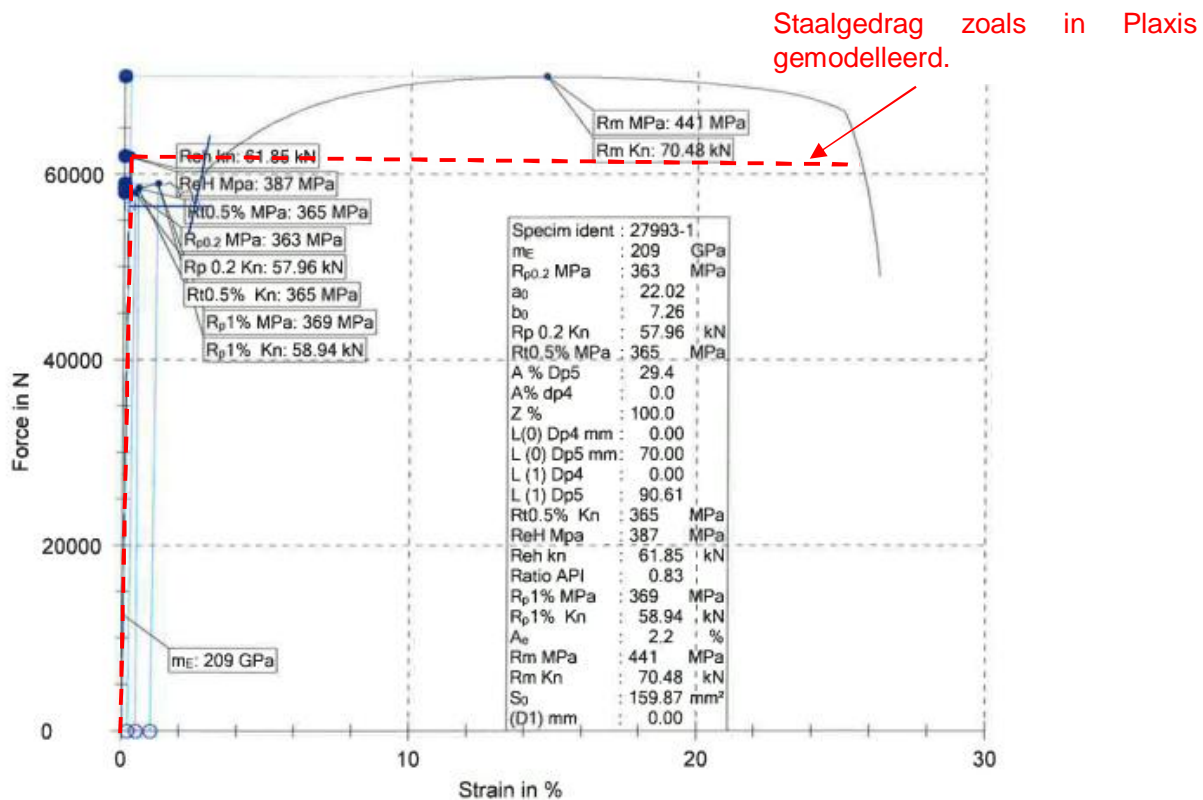
3.1.3 Sterkte damwandprofiel

Het damwandprofiel is gemodelleerd als separate plaelementen met een maximaal toelaatbare vloeispanning.

Een beperking van het constitutieve model voor het modelleren van staalgedrag is dat geen softening en hardening kan worden gemodelleerd. In het model is alleen de pieksterkte als vloeispanning (Reh) gemodelleerd.

In werkelijkheid treedt deze pieksterkte op bij een kleine rek (<1%). Als gevolg van grote rekken tredt na het bereiken van de pieksterkte eerst softening op (1%-3%) waarna de

sterkte weer toeneemt tot de bezwijksterkte (R_m) tot ca 25% rek. Zie in onderstaande afbeelding een typische vervormingslijn bij een trekproef. In de grafiek is in rood aangegeven hoe dit gedrag versimpeld wordt voor het Plaxis model. Voor de POT proef is de verwachting dat de uiteindelijke rekken rond de 2% zullen zijn.

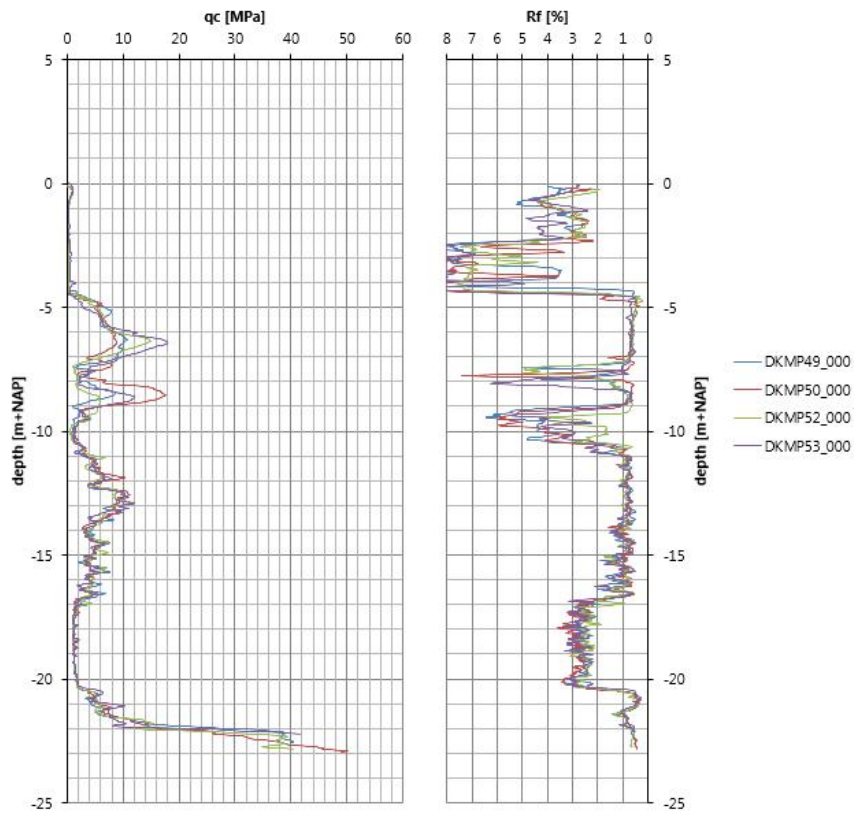


Figuur 3.2 Typisch kracht vervormings diagram (zie ook bijlage B.3 en B.4)

3.1.4 Grondopbouw

Ter plaatse van de te beproeven damwandconfiguraties zijn sonderingen uitgevoerd. In Figuur 3.3 zijn deze weergegeven. Zoals al reeds vastgesteld is op deze locatie een homogene grondopbouw aanwezig.

De grondwaterstand is aangehouden op NAP-1,0m (1m onder maaiveld).



Figuur 3.3 Sonderingen t.p.v. damwanden

Tabel 1: Grondopbouw per damwandprofiel

Grondsoort	GU8N (rev): DKMP53 o.k laag [m+NAP]	AZ13-700: DKMP20 o.k laag [m+NAP]	AZ26: DKMP52 o.k laag [m+NAP]
Mv	0,0	0,0	0,0
Toplaag	-1,0	-1,0	-1,0
Klei	-2,1	-2,3	-2,1
Veen	-4,6	-4,7	-4,5
Zand matig	-7,2	-7,5	-7,2
Klei diep	-8,0	-8,0	-8,0
Zand matig	-9,0	-9,0	-9,2
Klei diep	-11,0	-10,8	-10,5
Zand los	-15,0	-15,0	-15,0

3.1.5 Geotechnische sterkte parameters

Op basis van het uitgevoerde grond en labonderzoek zijn parameters afgeleid [ref. 2]. In onderstaande tabellen zijn de resulterende geotechnische parameters weergegeven. Voor de predicties in dit DO is uitgegaan van de gemiddelde verwachtingswaardes van de grondeigenschappen. Op basis van de variaties die reeds in het VO zijn uitgevoerd is vastgesteld dat de eigenschappen van de grond maar een beperkte invloed hebben en dat de predicties met name worden beïnvloed door de sterkte eigenschappen van het damwandprofiel (zie paragraaf 3.1.3).

Voor de interface is uitgegaan van een interface sterkte (R_i) van 0,8.

Uitgangspunt voor de berekeningen is het Hardening Soil model. Er is een vergelijking gemaakt met het Soft Soil model maar uiteindelijk vallen beide modellen terug op hetzelfde bezwijkcriterium en is er dus geen verschil bij grote vervorming. Bij kleine vervorming is de verwachting dat het HS model een realistischer resultaat geeft.

Tabel 2: Geotechnische parameters MC-model

Grondsoort	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	phi [°]	c' [kPa]	psi [°]	ν_{ur}	E' [kPa]
Toplaag	14,5	14,5	30	5	0	0,3	10000

Tabel 3: sterkte parameters HS-model (gedraineerd)

Grondsoort	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	phi [°]	c' [kPa]	psi [°]	ν_{ur} [-]
3. klei, matig siltig, humeus	12,5	12,5	28	4	0	0,2
4. Veen	10,0	10,0	45	3	0	0,1
5. Zand	18,0	20,0	36	1	12	0,2
6. Klei, leem, humeus	12,5	12,5	25	30	0	0,2

Tabel 4: Geotechnische stijfheidsparameters HS-model

Grondsoort	$E'_{50,ref}$ [kPa]	$E_{oed,ref}$ [kPa]	$E_{ur,ref}$ [kPa]	m [-]	POP [kPa]
3. klei, matig siltig, humeus	4.000	2.000	20.000	0,93	17
4. Veen	2.000	500	10.000	1,0	9
5. Zand	30.000	30.000	90.000	0,5	10
6. Klei, leem, humeus	4.000	2.000	20.000	1,0	139,0

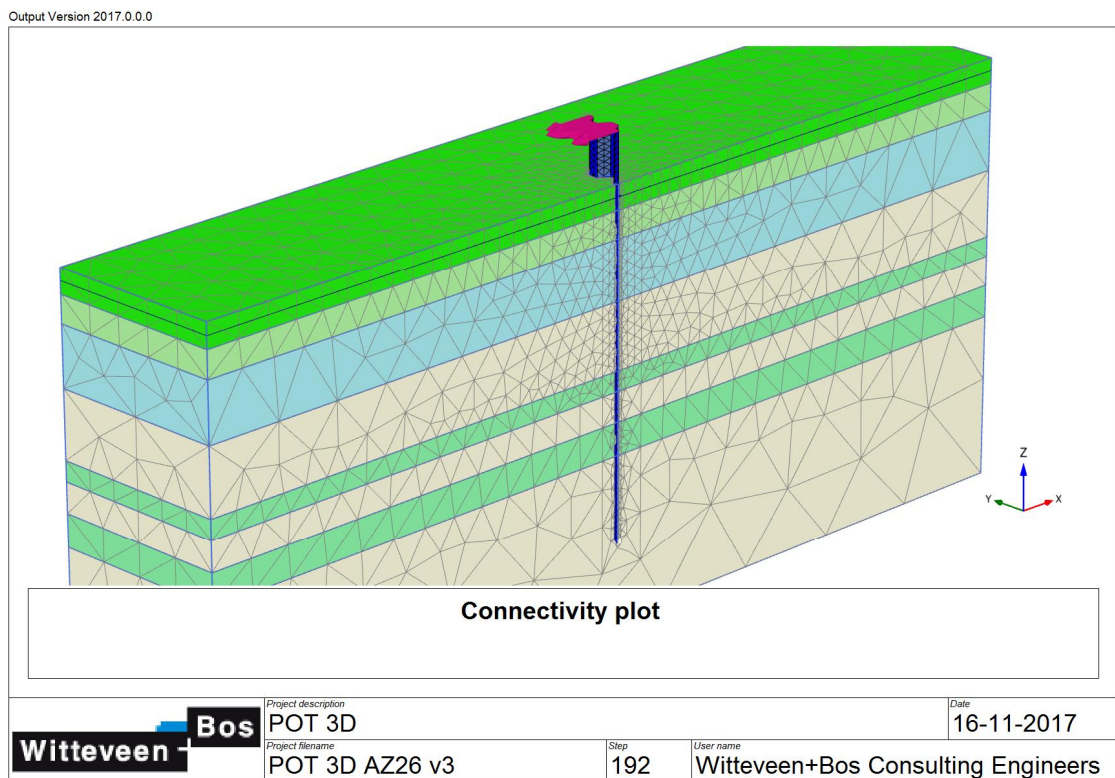
3.1.6 Plaxis Model

In het Plaxis 3D model wordt de damwand met afzonderlijke plaalementen geschematiseerd. Aan de plaalementen is een maximale vloeispanning toegekend om zo plastisch gedrag te modelleren. Merk hierbij op dat in het model alleen vloeien gemodelleerd kan worden, effecten zoals plooi of knik zijn niet meegenomen. Aangezien het GU8N en AZ13-700 profiel in doorsnede klasse 3 vallen is de verwachting dat ze voor het bereiken van het Plastisch weerstandsmoment zullen bezwijken.

Aangezien de opstelling spiegel symmetrisch is wordt de helft van de damwand gemodelleerd. Alle krachten gepresenteerd in dit rapport zijn hiervoor verdubbeld. Voor de totale breedte van het model wordt 4x de breedte van de gemodelleerde wand aangehouden om zo geen beïnvloeding te hebben met de randen van het model.

De belasting wordt opgelegd middels een opgelegde verplaatsing aan de kop van de damwandplanken (op het niveau NAP+2,0m). Merk op dat in werkelijkheid de damwand nog 1m doorloopt tot NAP+3,0m. Om de resultaten van het Plaxis 3D model te controleren zijn er tevens Plaxis 2D berekeningen ter controle uitgevoerd.

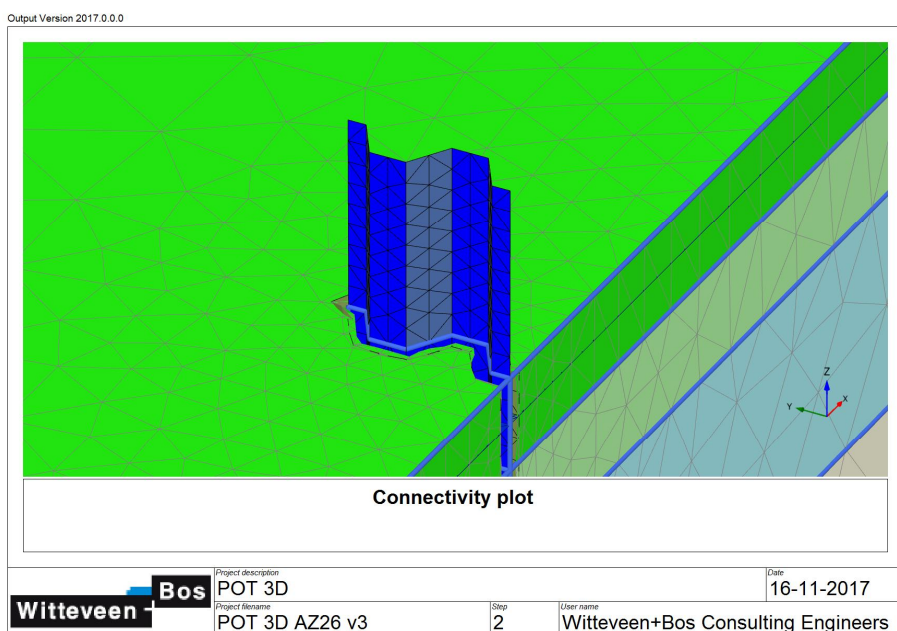
In het model wordt geen suction en trekspanning in de grond meegenomen. Er is gecontroleerd of een Updated Mesh berekening nog wezenlijk andere resultaten gaf maar dit was niet het geval en daarom zijn de berekeningen met een standaard mesh uitgevoerd.



Figuur 3.4 Plaxis 3D model (Triple AZ26)

3.1.7 Mesh fijnheid

Om voldoende nauwkeurige resultaten uit de berekening te krijgen is een relatief fijne mesh toegepast rondom het damwandprofiel. Daarbij is als uitgangspunt aangehouden dat er minimaal 2 elementen over de breedte op de flens en het lijf van de damwand zitten.



Figuur 3.5 Mesh rondom damwandprofiel AZ26

3.2 Predictie: Gu8N (reversed)

Doorsnede klasse 3.

$f_y = 380,5 \text{ N/mm}^2$

Mel: 290kNm/m

Mpl: 353kNm/m*

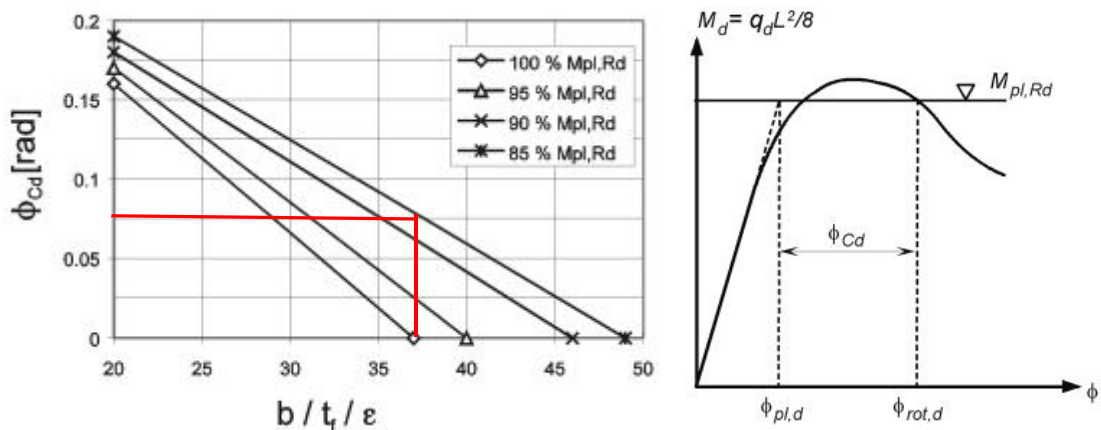
*Conform de doorsnedeklasse (3) is het de verwachting dat de volledige plastische momentcapaciteit niet bereikt wordt. Om toch gevoel te krijgen bij de te verwachten krachten en vervormingen is er een extra berekening uitgevoerd met een gereduceerde vloeigrens. Bij een vloeigrens van 283 N/mm² valt de damwand net in doorsnedeklasse 2.

$f_{y,red} = 283 \text{ N/mm}^2$

Slankheid flens: 37

Mpl;red= 263 kNm/m

Op basis van de EN1993-5 is afgeleid dat bij 100% van Mpl er geen rotatiecapaciteit is. Tot een rotatie van 0,075rad (4,3°) is 85% van de momentcapaciteit toelaatbaar.

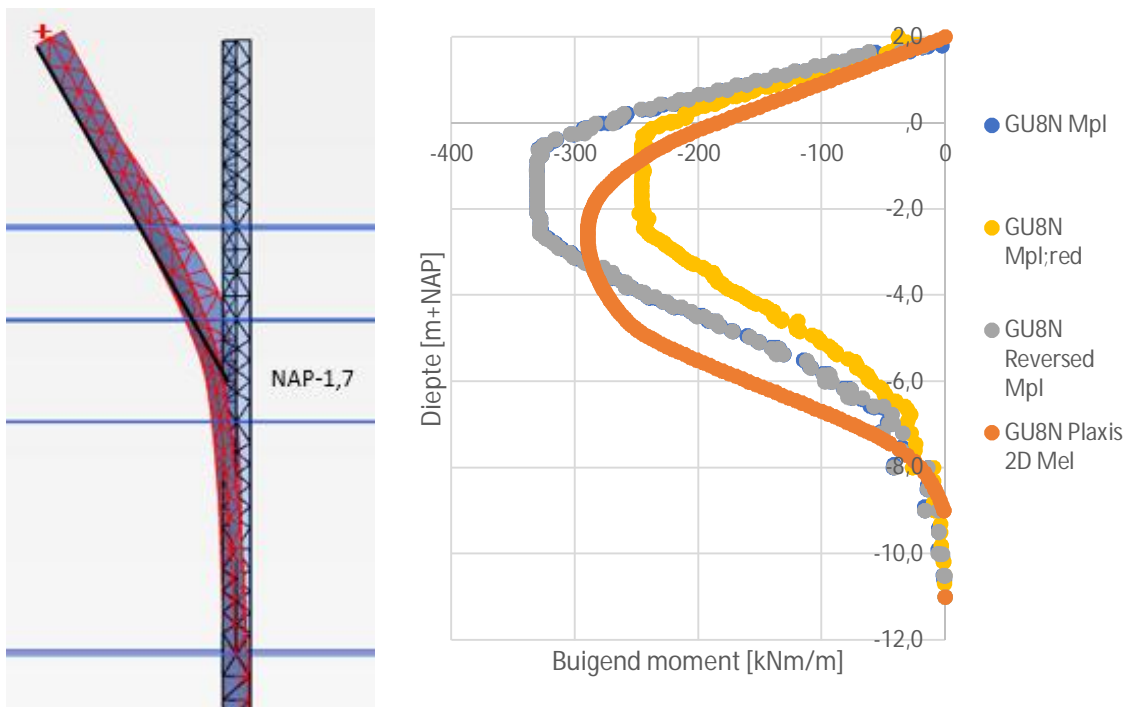


Figuur 3.6 Plastic rotation angle U-profile GU8N [EN 1993-5]

Rotatiepunt

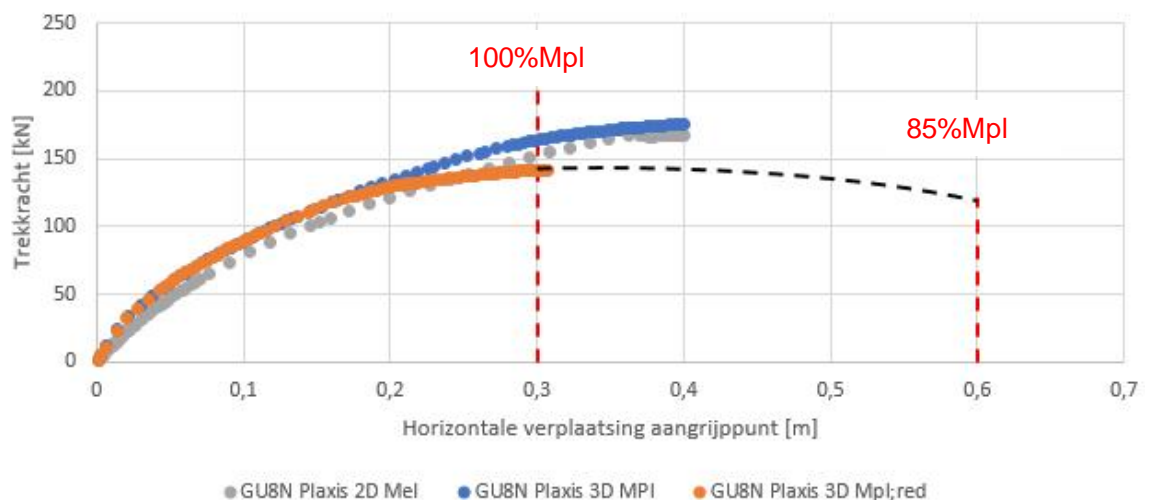
Op basis van de Plaxis 3D berekening is het rotatiepunt vastgesteld van het GU8N profiel. Deze bevindt zich op een diepte van NAP-1,7m. In onderstaand figuur is een afbeelding van de vervorming van de damwand weergegeven. Daarnaast zijn de berekende buigende momenten weergegeven, daarbij is een vergelijking gemaakt tussen het buigend moment gebaseerd op de plastische momentcapaciteit (3D, bovengrens, zowel normaal als reversed), de gereduceerde momentcapaciteit (3D) en de Plaxis 2D (Mel) berekening. Het verschil tussen de 2D en 3D berekening is met name een gevolg van de belastingspreiding in de ondergrond.

In de Plaxis berekening geeft de reversed situatie exact dezelfde resultaten als de normaal belasting richting. Dit is een gevolg van het feit dat lokaal falen van de plaat niet meegenomen wordt in het model. Daarnaast wordt een 2^e orde effect als gevolg van de grote vervorming van de damwand ook niet meegenomen.



Figuur 3.7 Rotatie punt en buigende momenten GU8N

In onderstaande grafiek is de verwachte horizontale verplaatsing uitgezet tegen de totale trekkracht. Als bovengrens geldt daarbij de berekening uitgaande van het maximale plastisch weerstandsmoment. De verwachtingswaarde ligt echter lager uitgaande van het GU8N profiel met een gereduceerde vloeigrens om in doorsnede klasse 2 te vallen. Bij 0,3m is daarbij het maximale moment bereikt. Conform Figuur 3.6 is er dan nog 0,075 rad (4,3°) aan rotatie met behoud van 85% van de momentcapaciteit mogelijk. Uitgaande van het rotatiepunt op NAP-1,7m en 4,3° rotatie is de extra verplaatsing van het aangrijppunt dan 0,3m (totaal 0,6m verplaatsing).



Figuur 3.8 Horizontale verplaatsing vs trekkracht GU8N (reversed)

3.3 Predictie AZ13-700

Slankheid flens: $b/t_f/\epsilon$: 50,7

Doorsnede klasse 3.

$f_y = 406 \text{ N/mm}^2$

Mel: 530kNm/m

Mpl: 626kNm/m*

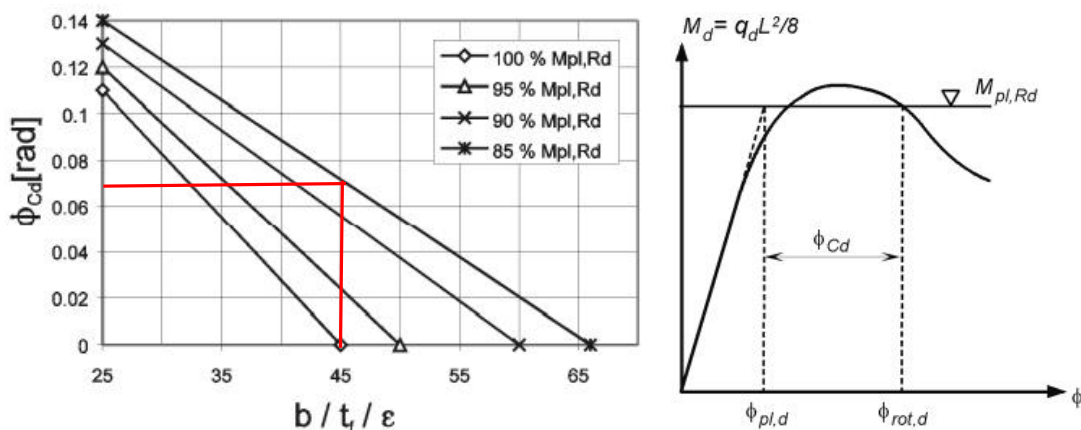
*Conform de doorsnedeklasse (3) is het de verwachting dat de volledige plastische momentcapaciteit niet bereikt wordt. Om toch gevoel te krijgen bij de te verwachten krachten en vervormingen is er een extra berekening uitgevoerd met een gereduceerde vloeigrens. Bij een vloeigrens van 320 N/mm² valt de damwand net in doorsnedeklasse 2.

$f_{y,red} = 320 \text{ N/mm}^2$

Slankheid flens: 45

Mpl;red= 493 kNm/m

Op basis van de EN1993-5 kan worden afgeleid dat bij 100% van Mpl er geen rotatiecapaciteit is. Tot een rotatie van 0,07rad (4°) is 85% van de momentcapaciteit toelaatbaar.



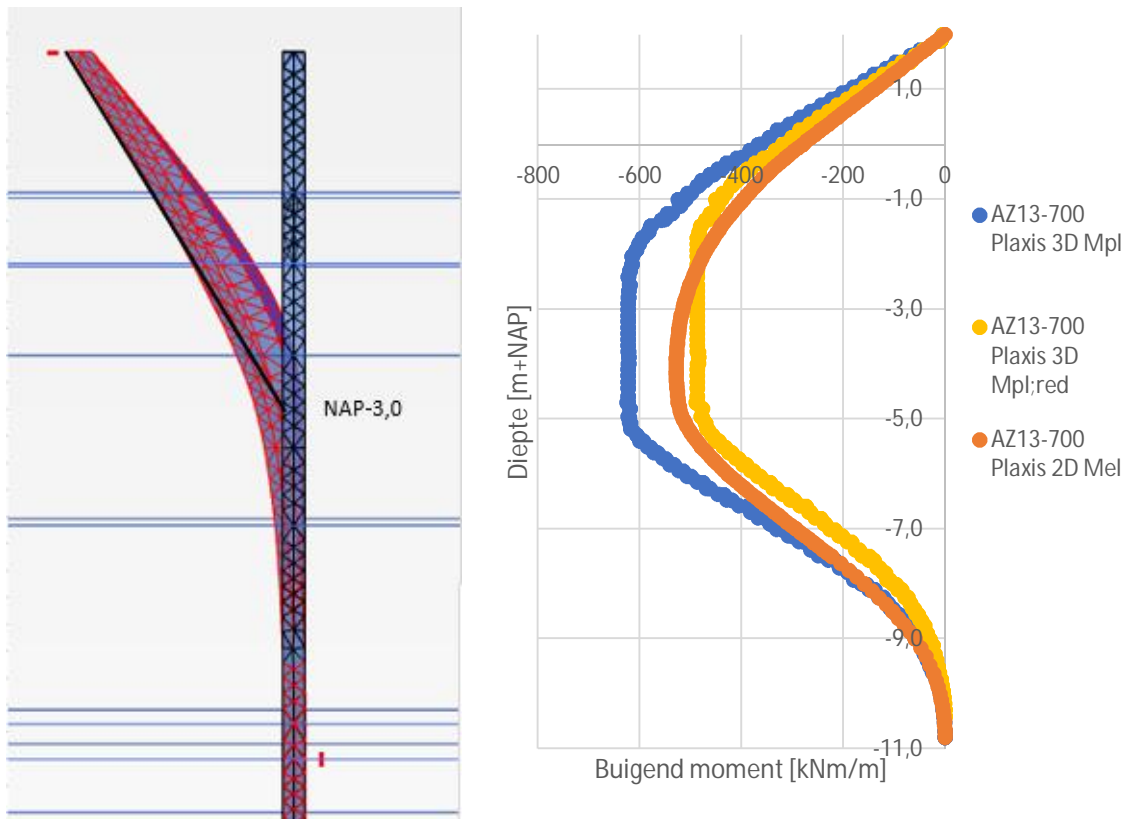
Figuur 3.9 Plastic rotation angle Z-profile AZ13-700 [EN 1993-5]

Rotatiepunt

Op basis van de Plaxis 3D berekening is het rotatiepunt vastgesteld van het AZ13-700 profiel. Deze bevindt zich op een diepte van NAP-3,0m. In onderstaand figuur is een afbeelding van de vervorming van de damwand weergegeven. Daarnaast zijn de berekende buigende momenten weergegeven. Daarbij is een vergelijking gemaakt tussen het buigend moment gebaseerd op de plastische moment capaciteit (3D, bovengrens), de gereduceerde momentcapaciteit (3D) en de Plaxis 2D (Mel) berekening.

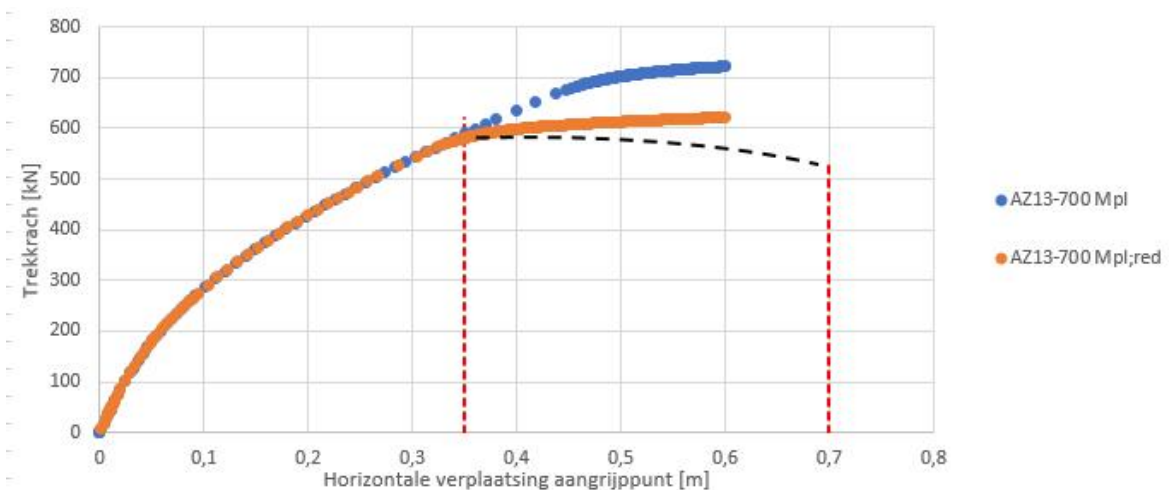
Ter kalibratie zijn deze berekening vergeleken met de resultaten uit de DIANA analyse (zie Bijlage F). Ondanks kleine verschillen in grondopbouw en grondeigenschappen (het DIANA model is nog op basis van het VO) zijn de resultaten vergelijkbaar (zie paragraaf 5.1 uit Bijlage F):

- Het rotatiepunt ligt voor beide modellen op NAP-3,0.
- De plastische zone ligt tussen NAP-1,0m en NAP-5,0m.
- Het Maximaal buigend moment in DIANA is 470kNm/m ($f_y=300\text{N/mm}^2$), in Plaxis 3D 485kNm/m ($f_{y,red}=320\text{N/mm}^2$).



Figuur 3.10 Rotatie punt en buigende momenten AZ13-700

In onderstaande grafiek is de verwachte horizontale verplaatsing uitgezet tegen de totale trekkracht. Als bovengrens geldt daarbij de berekening uitgaande van het maximale Plastisch weerstand moment. De verwachtingswaarde ligt echter wat lager uitgaande van het AZ13-700 profiel met een gereduceerde vloeigrens om in doorsnede klasse 2 te vallen. Bij 0,35m is daarbij het maximale moment bereikt. Conform Figuur 3.9 is er dan nog 0,07 rad ($4,0^\circ$) aan rotatie met behoud van 85% van de momentcapaciteit mogelijk. Uitgaande van het rotatiepunt op NAP-3,0m en $4,0^\circ$ rotatie is de extra verplaatsing van het aangrijppunt dan 0,35m (totaal 0,7m verplaatsing).



Figuur 3.11 Horizontale verplaatsing vs trekkracht AZ13-700

3.4 Predictie AZ26

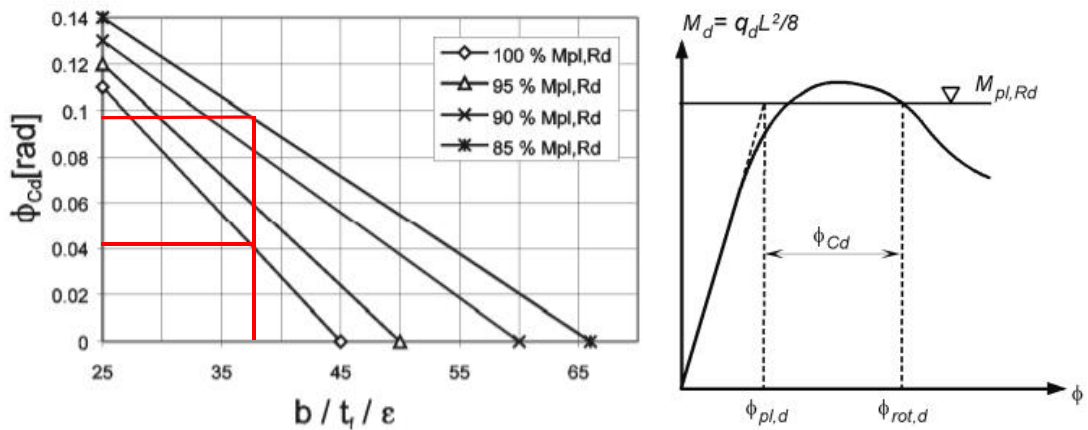
Slankheid flens: $b/t_f/\epsilon$: 37,8

Doorsnede klasse 2.

$f_y = 327 \text{ N/mm}^2$

$M_{pl} = 1001 \text{ kNm/m}$

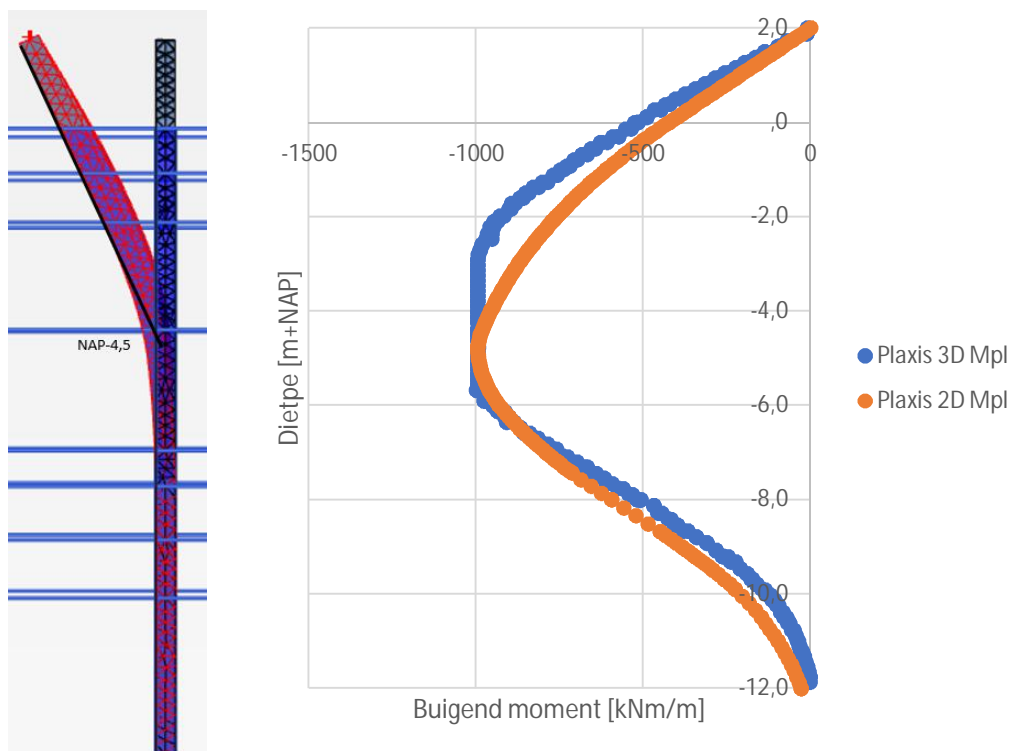
Op basis van de Eurocode EN1993-5 is een rotatie van 0,04 rad ($2,3^\circ$) toegestaan bij 100% M_{pl} . 85% van M_{pl} is toegestaan tot een rotatie van 0,095rad ($5,4^\circ$).



Figuur 3.12 Plastic rotation angle Z-profiel AZ26 [EN 1993-5]

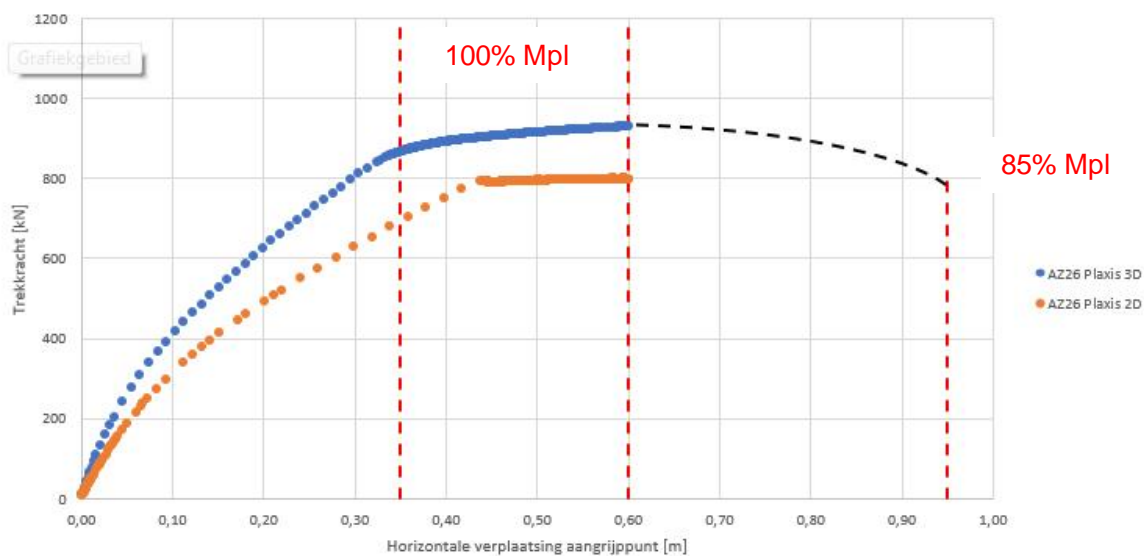
Rotatiepunt

Op basis van de Plaxis 3D berekening is het rotatiepunt vastgesteld van het AZ26 profiel. Deze bevindt zich op een diepte van NAP-4,5m. In onderstaand figuur is een afbeelding van de vervorming van de damwand weergegeven. Daarnaast zijn de berekende buigende momenten weergegeven. Daarbij is een vergelijking gemaakt tussen de 2D en 3D berekening.



Figuur 3.13 Rotatie punt AZ26

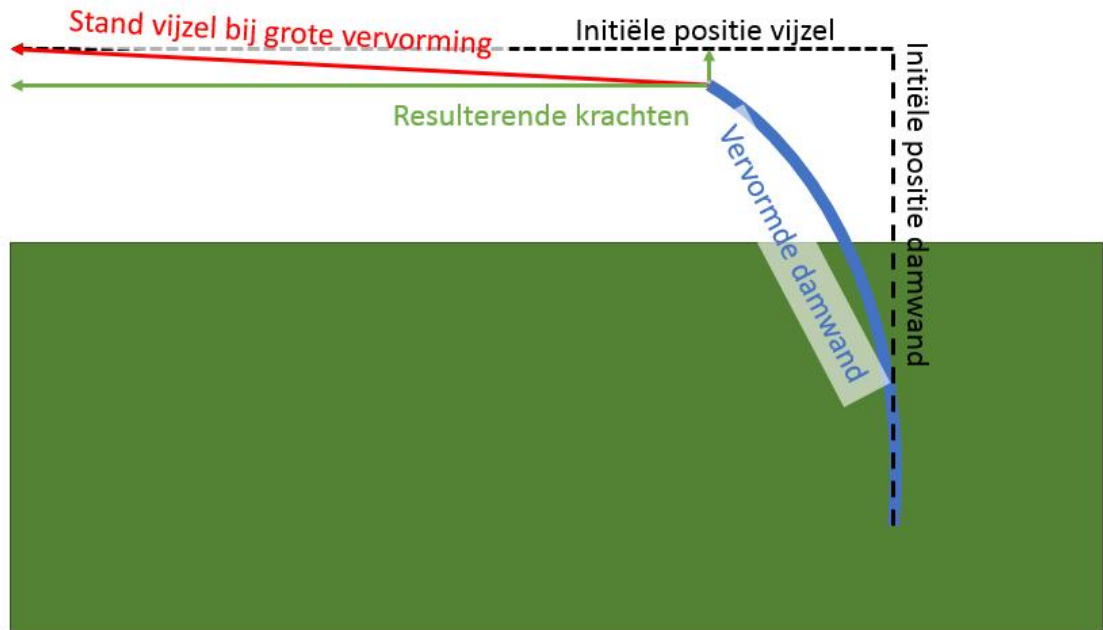
In onderstaande grafiek is de trekkracht op de damwand uitgezet tegen de horizontale verplaatsing van het aangrijppunt. Op basis van elastisch gedrag is een verplaatsing van 0,35m verwacht. Op basis van het rotatiepunt op NAP-4,5m en de toegestane rotatie van 2,3° (100%Mpl) is bepaald dat tot 35cm extra verplaatsing het maximaal plastisch moment is te verwachten. Daarna is 85% van het buigend moment te verwachten tot een rotatie van 5,4 °, totaal 95cm verplaatsing.



Figuur 3.14 Horizontale verplaatsing vs trekkracht AZ26

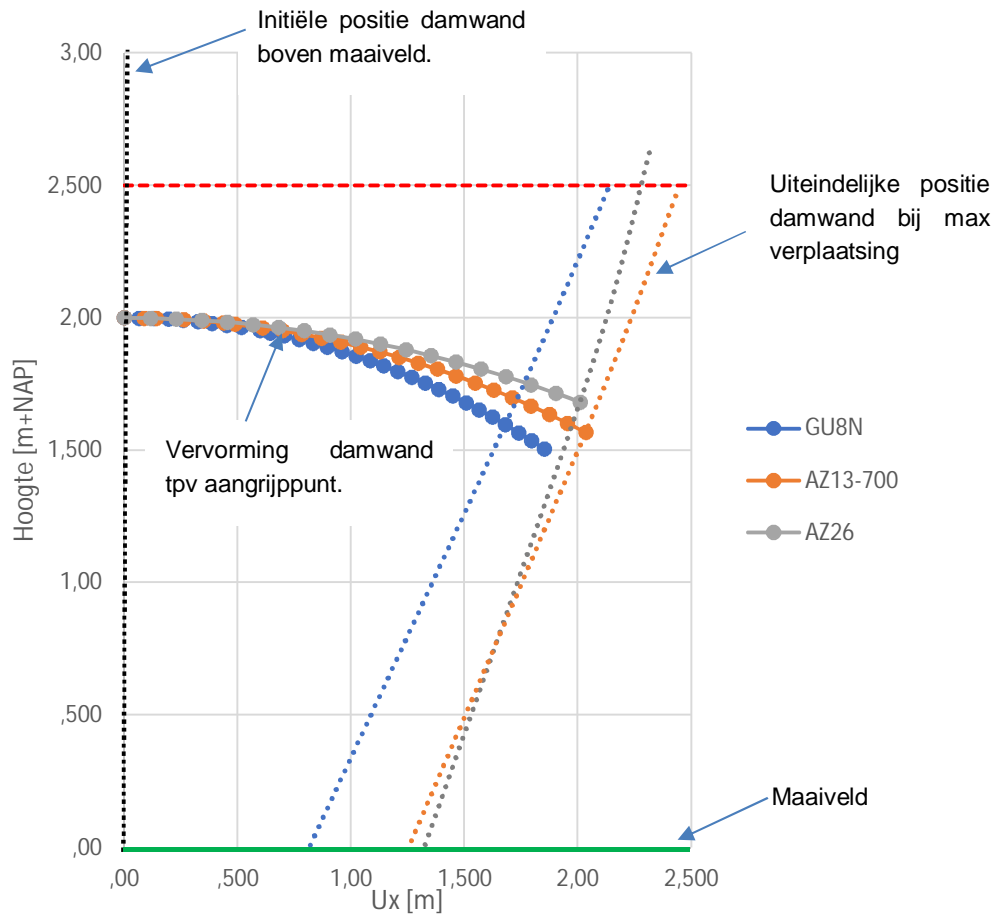
3.5 Vervormingen kop damwand

Als gevolg van het naar voren trekken van het damwandprofiel zal de kop van de damwand ook verticaal vervormingen, zie ook onderstaande schets. In het geval van kleine horizontale vervormingen is dit effect verwaarloosbaar. Echter is voor de POT het voornemen om het damwandprofiel ver voorbij bezwijken te beproeven. Als gevolg daarvan kan de verticale vervorming aanzienlijk zijn.



Figuur 3.15 Resulterende vervorming damwandprofiel

Om de te verwachten verticale vervorming in te schatten is eerst voor de verschillende damwanden het rotatie punt bepaald, zie ook de predicties in de voorgaande paragrafen. Aan de hand van dit rotatiepunt zijn de te verwachten verticale vervormingen tegen de horizontale vervormingen uitgezet (tot maximaal 2m horizontaal). Dit is grafisch weergegeven in onderstaand figuur.



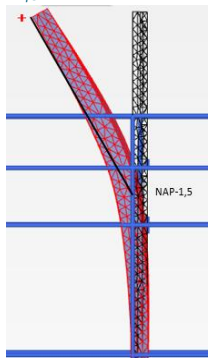
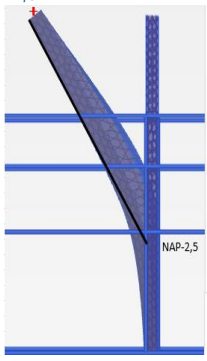
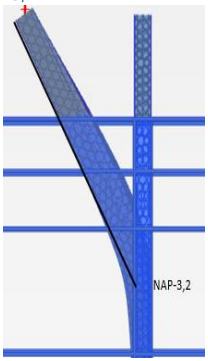
Figuur 3.16 Verticale vervormingen damwand (t.p.v. aangrijppunt op NAP+2,0m)

Tijdens de uitvoering van de proef zal de (verticale) kopverplaatsing (op NAP+3,0m) gemeten worden. Daarbij zal als grenswaarde een maximale verticale kopverplaatsing van 0,5m worden gehanteerd (vergelijkbaar met 0,4m t.p.v. de gording). Bij grotere vervormingen zullen de rotaties en trekkracht aanzienlijk gaan toenemen wat niet wenselijk is voor de proefresultaten en de verbinding van de gording. Op basis van de verwachte vervormingen betekend dit voor de AZ profielen een totale horizontale vervorming van ca. 2m. Voor de GU8N profielen zal dit ca. 1,5m zijn.

Merk op dat het aangrijppunt van de vijzel op de damwand gelijk is aangenomen aan hart van de damwand. Dit aangrijppunt dient niet verder naar voren geplaatst te worden aangezien dan de rotaties en verticale krachten alleen maar groter worden.

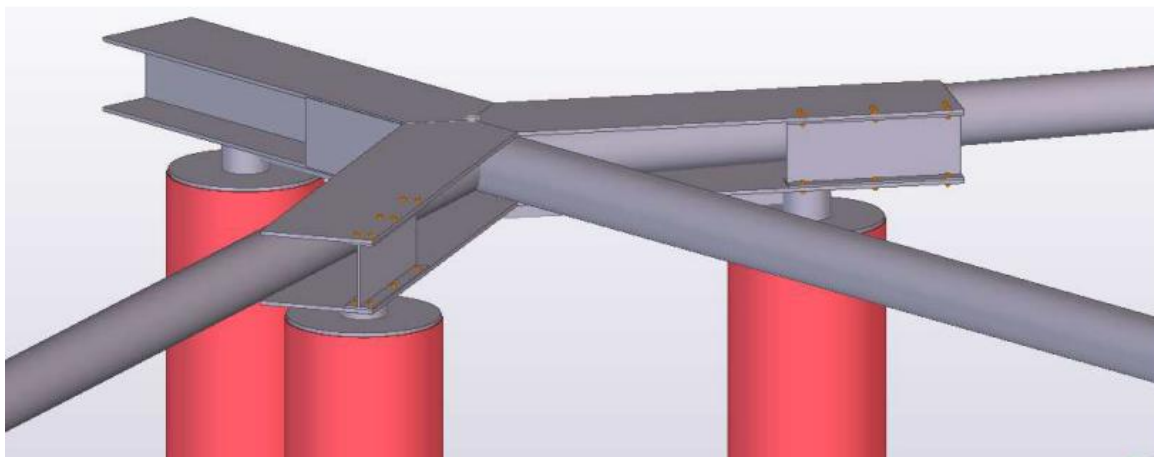
Op basis van de hoek van de vijzel en de totale horizontale trekkracht is de verticale krachts component vanuit de vijzel afgeleid, zie Tabel 5. Daarbij is als bovengrens voor de trekkracht 400kN voor de GU8N en 1200kN voor de AZ profielen aangehouden. Hieruit volgt voor de GU8N ca 15kN en voor de AZ ca. 40kN aan verticale kracht.

Tabel 5: Afleiding verticale kracht in damwand

Damwandtype	GU8N	AZ13-700	AZ26	Eenheid
Rotatiepunt	-1,5 	-2,5 	-3,2 	[m+NAP]
Rotatie in rotatiepunt	30	24	18	[°]
ux (t.p v. aangrijppunt)	1,85	2,03	2,01	[m]
uy (t.p v. aangrijppunt)	0,50	0,43	0,32	[m]
Niveau aangrijppunt	1,50	1,57	1,68	[m+NAP]
Lengte vijzel	13,15	12,97	13,0	[m]
Hoek vijzel	2,2	1,9	1,4	[°]
Maximale trekkracht	400	1200	1200	[kN]
Verticale kracht in damwand	15,1	40,0	29,4	[kN]

3.6 Vervormingen reactieframe

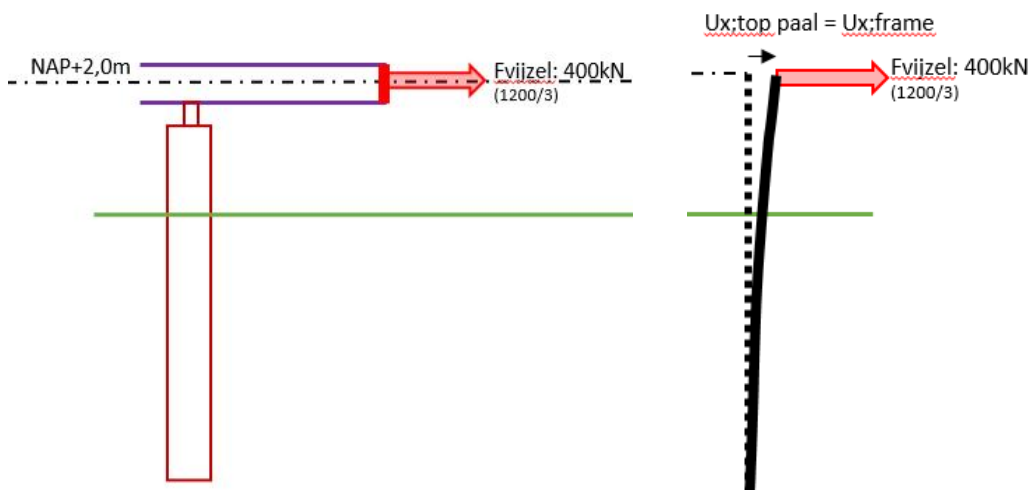
Tijdens de uitvoering van de proef zullen de vervormingen van het reactieframe worden gemeten. Als gevolg van de trekkracht van de vijzel zal niet alleen de damwand maar ook het reactieframe (met buispalen) gaan vervormen. De koppeling tussen het reactieframe en de buispalen is nader uitgewerkt in het constructief ontwerp reactieframe, zie bijlage C. Het reactieframe wordt bovenop de buispalen gelast, de verbinding tussen het frame en de kop van de buispalen wordt niet volledig momentvast uitgevoerd.



Figuur 3.17 Tekening reactieframe op buispalen [Constructief ontwerp, Bijlage C]

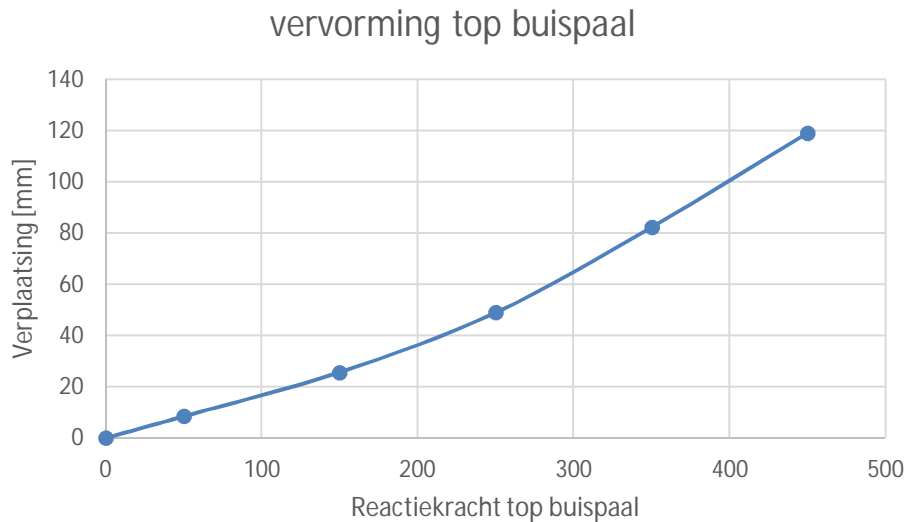
Het ontwerp van de buispalen is uitgewerkt in het VO van de POT [ref. 7]. Voor het ontwerp van de buispalen is als uitgangspunt gehanteerd dat bij de maximale trekkracht de vervorming van het reactieframe 10cm is (BGT).

Om tijdens de proeven te kunnen bepalen in hoeverre de gemeten vervormingen overeen komen met de verwachte vervormingen zijn de te verwachten vervorming als gevolg van de vijzelkracht nader uitgewerkt. Aangezien het frame niet momentvast is gekoppeld aan de buispalen zal de vervorming van het frame voornamelijk volgen uit de vervorming van de kop van de buispaal, daarom is onderstaande versimpelde schematisatie aangehouden voor bepaling van de vervormingen van het frame.



Figuur 3.18 Schematisatie frame t.b.v. bepaling vervormingen reactieframe

In onderstaande grafiek is de zijn de resulterende vervormingen van de kop van de buispaal (vervorming frame) uitgezet tegen de reactiekracht op de kop van de buispaal (NAP+2,0m).



Figuur 3.19 Verwachte vervormingen kop buispaal

3.7 Rotaties damwand

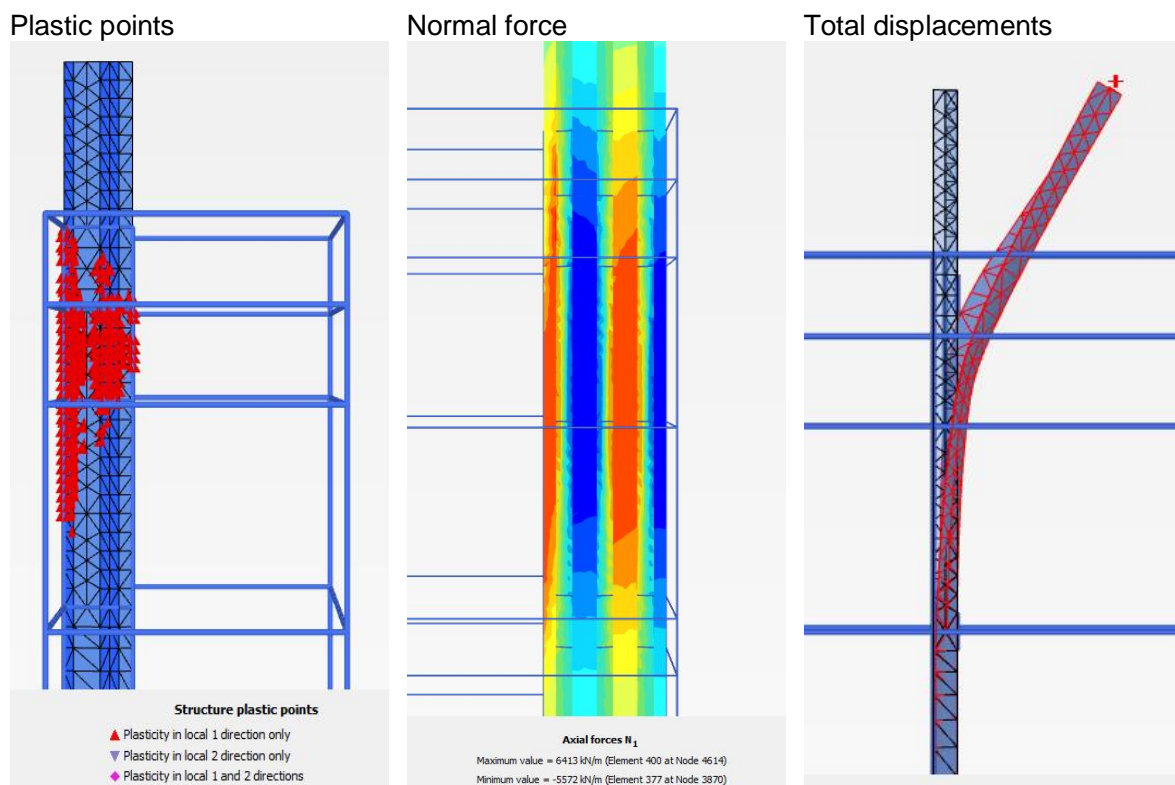
Voor de monitoring van de damwandplanken zijn SAAF's voorzien op de damwandplank. Deze zijn opgebouwd uit meerdere SAAF-elementen met een lengte van 50 cm, die ten opzichte van elkaar kunnen roteren. De SAAF-elementen zelf hebben maar een kleine toelaatbare rotatie.

Op basis van de te verwachten rotaties is zoals gepresenteerd in deze paragraaf is vastgesteld dat het risico op beschadiging van SAAF op damwand erg groot is als de SAAF op de damwand zit als deze tot bezwijken wordt belast.

Om het risico op beschadiging van de SAAF op de damwand te minimaliseren zal de SAAF op de damwand vroegtijdig (voor bezwijken damwand) worden verwijderd. Zo wordt voorkomen dat de SAAF's kapot kunnen gaan. De reksensoren en SAAF's in de grond zullen wel gedurende de gehele proef aanwezig blijven. Dit wordt nader uitgewerkt in het draaiboek.

3.7.1 GU8N

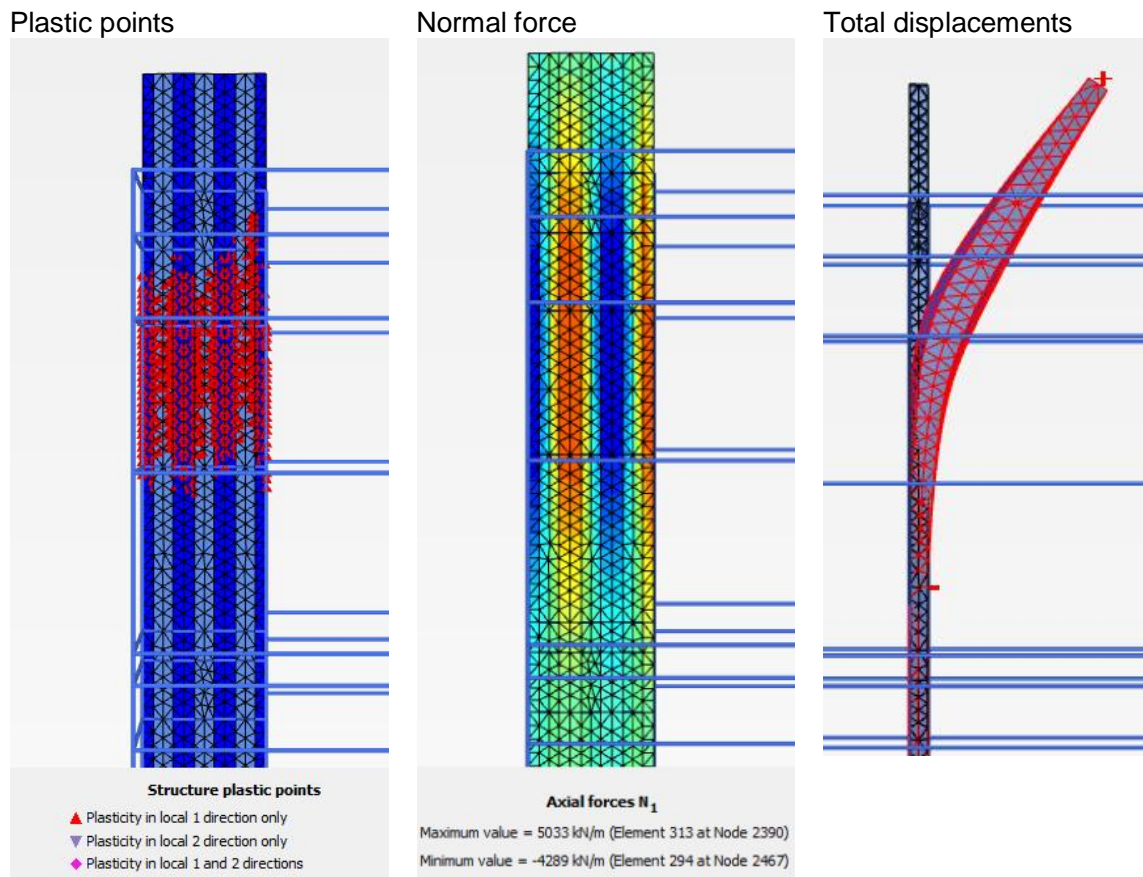
Op basis van de maximale verplaatsing is vastgesteld dat de maximale totale rotatie kan oplopen tot 30° (GU8N, zie Tabel 5). Uitgaande van vloeï van de wand zal deze rotatie optreden over een bepaalde zone, voor het GU8N profiel is deze zone ongeveer 1m hoog (zie ook Figuur 3.20.) maar kan mogelijk kleiner zijn als gevolg van local buckling.



Figuur 3.20 Rotatie GU8N

3.7.2 AZ13-700

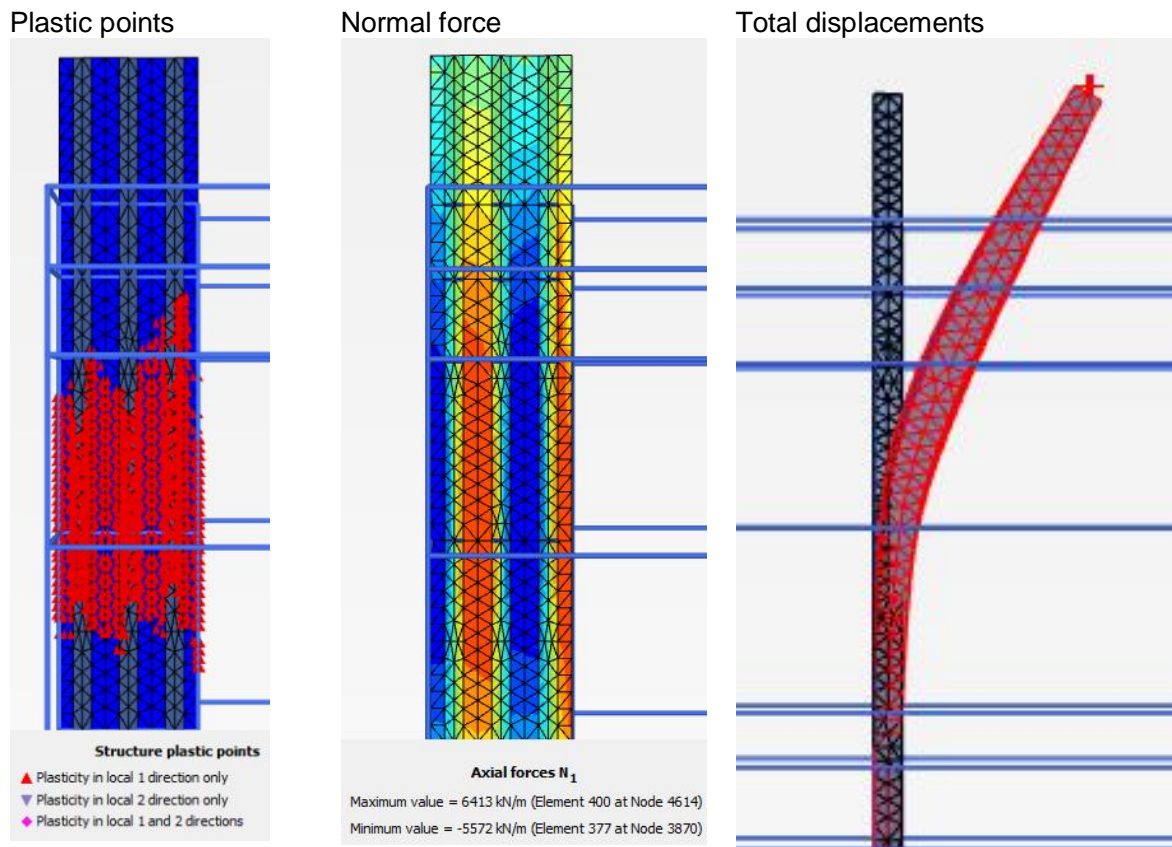
Op basis van de maximale verplaatsing is vastgesteld dat de maximale totale verplaatsing kan oplopen tot 24° (AZ13-700, zie Tabel 5). Uitgaande van vloeï van de wand zal deze rotatie optreden over een bepaalde zone, voor het AZ13-700 profiel is ongeveer 2,5m hoog (zie ook Figuur 3.20.) maar kan mogelijk kleiner zijn als gevolg van local buckling.



Figuur 3.21 Rotatie AZ13-700

3.7.3 AZ26

Op basis van de maximale verplaatsing is vastgesteld dat de maximale totale verplaatsing kan oplopen tot 18° (AZ26, zie Tabel 5). Uitgaande van vloeï van de wand zal deze rotatie optreden over een bepaalde zone, voor het AZ26 profiel is ongeveer 2,5m hoog (zie ook Figuur 3.20.) maar is dieper gelegen dan het AZ13-700 profiel. Daarnaast is het bij het AZ26 profiel niet de verwachting dat local buckling op zal treden.



Figuur 3.22 Rotatie AZ26

4 Monitoring

De constructieve monitoring voor de POT is uitgewerkt in de memo “constructieve monitoring FSP en POT” [ref. 3]. In samenspraak met Fugro zijn enkele zaken geoptimaliseerd om zo tot een optimale monitoring te komen. In dit hoofdstuk wordt op hoofdlijnen de monitoring zoals voorgesteld beschreven. Voor meer detail wordt verwezen naar [ref. 3].

4.1 Doel van de monitoring

De monitoring heeft als doel om:

- Last verplaatsingsdiagrammen vast te stellen (stuur informatie)
- Optredende staalspanningen vast stellen (op basis van rekmetingen)
- Buigend moment vast stellen.
- Vervorming van het damwandprofiel vast stellen (stuurinformatie)
- Vervormingen reactieframe (stuurinformatie)
- Grondvervormingen en waterspanningen (met name passieve zone)

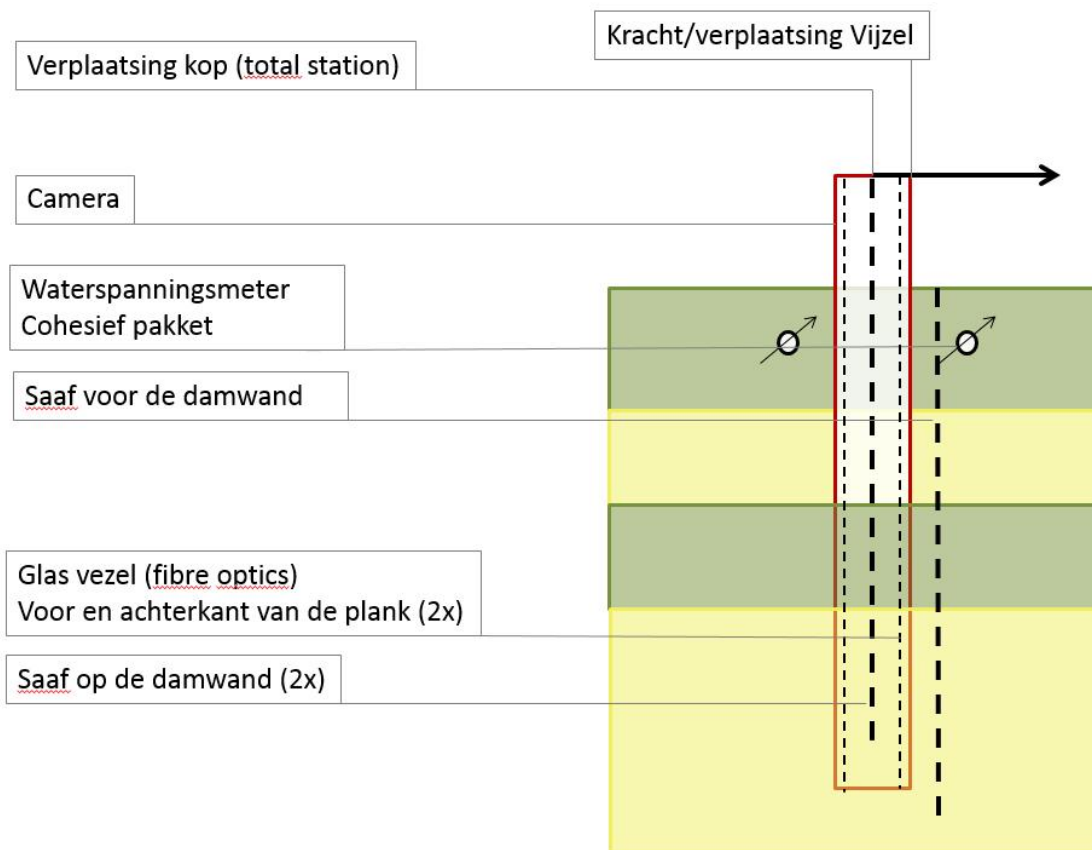
Bovenstaande data zal worden gebruikt in de analyse van de proef. Een deel van deze monitoring zal echter ook als stuurinformatie dienen tijdens de proef.

4.2 Hoe wordt er gemonitord

In Figuur 4.1 en Tabel 6 is een overzicht gegeven van alle monitoringsequipment. Er wordt direct gemeten aan de damwand. Het reactieframe zal met de total station op de hoekpunten worden ingemeten om het gedrag van het reactieframe tijdens de proef vast te stellen. Mochten de vervormingen meer zijn dan verwacht dan kan er vroegtijdig bijgestuurd worden.

Tabel 6: Overzicht monitoring

Apparatuur	Doel
SAAF voor de damwand, 14m lang (2x)	Metten grondvervorming
SAAF op de damwand, 10m lang (2x)	Metten damwandvervorming
Waterspanningsmeters voor de damwand	Metten waterspanningen in de passieve zone In totaal 5 waterspanningsmeters. 1x een waterspannings meter in het zand (t.p.v AZ26)
Total station	Metten verplaatsing damwand (x,y,z), zowel op de top als op een lager niveau Metten verplaatsing reactieframe op de hoekpunten van het frame (x,y,z)
Glasvezel (vooraf geplaatst)	Rekmeting in lengterichting
Trekkrachtmeter vijzel	Trekkrachtmeter tussen vijzel en damwand.
Verplaatsingsmeter vijzel	Metten slag vijzel
Camera kop damwand	Vervormingen kop damwand in beeld brengen. (zijaanzicht)



Figuur 4.1 Monitoring (principe schets)

Op tekening DT476-2-3101 (zie bijlage E) is het detail ontwerp van de POT en de monitoring weergegeven. Om het risico op beschadiging van de SAAF's op de damwand tot een minimum te beperken is de intentie om de SAAF's op de damwand vroegtijdig (voor bezwijken) damwand te verwijderen zodat deze niet kapot gaan. Door de SAAF's wel te gebruiken voor het begin van de proef (elastische deel) kan over dit traject de rekmeting gekalibreerd worden aan de SAAF.

5 Risico's

In onderstaande paragrafen zijn de risico's en bijbehorende maatregelen beschreven die in het DO geïdentificeerd zijn.

5.1 Damwandplank bezwijkt niet

Het risico bestaat dat een configuratie van één of meer dubbele damwandplanken en/of de grond toch sterker blijkt te zijn dan verwacht en dat de kracht die de proefopstelling kan leveren niet voldoende is om de damwand te laten bezwijken.

Om dit risico te minimaliseren zijn berekeningen uitgevoerd op basis van met een bovengrens van de sterkte van de damwand en verwachtingswaardes van de grondsterkte.

Daarnaast heeft de vijzel nog enige restcapaciteit. De verwachte bovengrens van de benodigde trekkracht is 950kN. De proefopstelling kan in een trekkracht voorzien van 1200kN. Het frame en de buispalen zijn tevens ontworpen op de capaciteit van de vijzel.

5.2 Damwand bezwijkt te snel / vroegtijdig

Voor de slappe GU8N profielen bestaat er het risico dat de planken te snel/vroegtijdig bezwijken. Om dit risico te minimaliseren wordt er een zo licht mogelijke gording toegepast. Daarnaast zal hiermee rekening worden gehouden in de volgordelijkheid van de proef uitvoering. Om ervaring met de installatie op te doen zal gestart kunnen worden met de AZ13-700 configuratie. Dit zal nader uitgewerkt in het draaiboek van de POT.

5.3 Mislukken van installatie damwand

Voor de proef zijn relatief slappe GU8N profielen geselecteerd. Het risico bestaat dat de profielen niet op diepte komen of dat deze beschadigd raken tijdens installatie. Daarom dient samen met de aannemer vooraf een goede predictie uitgevoerd te worden en mogelijke benodigde maatregelen voor het vergemakkelijken van de installatie vast gesteld te worden. Bij de predictie dient er rekening te worden gehouden met kleefbrekers op de onderkant van de damwand ter bescherming van de monitorings apparatuur. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende maatregelen:

- Voorpoten met een damwandprofiel die niet voorzien is van monitoringsapparatuur.
- Voorboren.

5.4 Onveilige situaties tijdens uitvoering van de proef

Tijdens de proef zullen er grote krachten uitgeoefend worden op alle verschillende onderdelen. Alle elementen zijn ontworpen conform de huidige richtlijnen en bovendien voldoende robuust uitgevoerd. De kans op bezwijken wordt daarom zeer onwaarschijnlijk geacht.

In afwijken van de lier die in het VO is voorgesteld is nu in het DO gekozen voor een zware vijzel. Bij het toepassen van de vijzel zijn er veel minder bewegende delen en is het risico op losschieten van elementen vele malen kleiner wat leidt tot een grotere veiligheid tijdens de uitvoering van de proef.

Om de veiligheid nog verder te waarborgen is het niet toegestaan voor mensen om tijdens de proef in de buurt te komen van de proefopstelling. Alle monitoring wordt daarom automatisch uitgevoerd en behoeft dus geen toegang van mensen tot de locatie.

Daarnaast dient de vijzel ook van een afstand bedient te kunnen worden, zodat er geen mensen op locatie hoeven te zijn.

Als onderdeel van het draaiboek van de proefuitvoering POT zal de veiligheid tijdens de proefuitvoering verder in detail worden uitgewerkt.

5.5 Uitvallen monitoring

Tijdens het beproeven zullen de damwanden uitvoerig gemonitord worden (zie ook hoofdstuk 4). De glasvezels zullen vooraf op de damwand worden aangebracht. Het uitvallen of niet werken van de monitoring is desastreus voor het proefresultaat en dient dus ook voorkomen te worden.

Het is daarom voor het slagen van de proef van het grootste belang dat de damwanden met zorg gehanteerd worden, zowel tijdens het installeren als tijdens het transport maar ook tijdens het plaatsen van de gordingen en installatie van de vijzel.

Na het inbrengen van de damwand zullen de SAAF's geïnstalleerd worden. Tijdens het uitvoeren van de proef bestaat het risico dat als gevolg van te grote rotaties de SAAF defect raakt.

Om het risico op beschadiging van de SAAF's op de damwand tot een minimum te beperken is de intentie om de SAAF's op de damwand vroegtijdig (voor bezwijken) damwand te verwijderen zodat deze niet kapot gaan. Door de SAAF's wel te gebruiken voor het begin van de proef (elastische deel) kan in ieder geval over dit traject de rekmeting gekalibreerd worden aan de SAAF.

Vanaf de apparatuur zullen een groot aantal kabels en leidingen naar de keet lopen. Om beschadiging van de kabels en leidingen te voorkomen zullen Kabel en Leidingen zones worden gemaakt waarbinnen alleen de minimaal noodzakelijke werkzaamheden mogen worden uitgevoerd.

6 Conclusie

In dit ontwerprapport is het Definitief ontwerp van de Pull-Over Testopstelling beschreven. In de POT worden de volgende 4 damwandconfiguraties beproefd:

- 1x triple GU8N.
- 1x triple GU8N reversed.
- 3x dubbel AZ13-700.
- 3x dubbel AZ26.

De damwandprofielen zullen voorzien worden van een uitgebreide monitoring, die zowel voorafgaand aan de installatie als naderhand wordt aangebracht.

De testopstelling is ontworpen op een maximale trekkracht van 1200kN leveren. De testopstelling bestaat uit een 3-tal buispalen ($D=1067\text{mm}$, $t=18\text{mm}$ $L=15\text{m}$) met daarop een reactieframe. Het constructief detailontwerp is uitgewerkt door de Aannemer en is bijgevoegd in bijlage C. Tussen het reactieframe en de te beproeven damwand wordt een vijzel geplaatst. De damwanden staan opgesteld in een waaiervorming op een afstand van 15m uit het midden reactieframe.

Voor bovenstaande configuraties zijn predicties uitgevoerd om een verwachtingswaarde en een bovengrenswaarde van de vervormingen en krachten te krijgen. Deze predicties zullen worden opgenomen in het draaiboek van de proefuitvoering en zullen dienen als stuurinformatie tijdens de proef, daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- Kracht verplaatsings diagram, zie paragraaf 3.2 t/m 3.4.
- Toelaatbare verticale vervorming gording, max 0,4m, zie paragraaf 3.5.
- Toelaatbare verticale vervorming kop damwand max 0,5m zie paragraaf 3.5.
- Toelaatbare vervormingen reactie frame, interventiewaarde 0,1m, zie paragraaf 3.6.
- Maximaal toelaatbare rotatie SAAF op damwand. zie paragraaf 3.7. Verwijderen SAAF voor bezwijken damwand / te grote vervorming op basis van predicties, zie paragraaf 3.2 t/m 3.4.
- Maximale trekkracht, AZ profielen 1200kN, GU8N profielen 400kN, op basis van gordingontwerp en maximale kracht vijzel, zie paragraaf 2.5.
- Maximale slag vijzel, 2,0m.

De verwachte bovengrens van de trekkracht op basis van de predicties in dit DO is vastgesteld op 950 KN en is iets lager dan de verwachte trekkracht in het VO.

Er zijn in dit DO een aantal risico's gesignaleerd, zie hoofdstuk 5. Om de risico's tot een minimum te beperken zijn maatregelen vastgesteld en meegenomen in het ontwerp van de Push over Test.

7 Referenties

- [ref. 1] POV|M full-scale test, Activiteit 2 - Definitiefase, v1,0 definitief, februari 2017.
- [ref. 2] POV|M full-scale test, Grondinterpretatie rapport, 2017.
- [ref. 3] POV|M Constructieve monitoring FSP en POT, v1.0 15 juni 2017.
- [ref. 4] NEN9997-1. Geotechnisch ontwerp van constructies - deel 1: algemene regels.
- [ref. 5] CUR228, Ontwerprichtlijn door grond horizontaal belaste palen.
- [ref. 6] Geotechniek - December 2015, Innovatie "flexible Dolpins" - Aangescherpt paalontwerp op basis van grootschalige proeven.]
- [ref. 7] POV|M Full-scale damwand proef, VO Pull-Over Test (POT), v2.0 definitief, juli 2017.

A Kennisvragen proevenprogramma

De push-over tests en full-scale proeven op een groene en blauwe dijk moeten uiteindelijk leiden tot een complete en betrouwbare dataset, op basis waarvan in de analysefase antwoord kan worden gegeven op de volgende kennisvragen³:

	4BPB simulaties z�nder grond	4BPB simulaties m�t grond	POT (dis)continue wand	FSP restprofiel en -sterkte binnentalud	FSP groene dijk	FSP blauwe dijk
Hoe goed kunnen de beschikbare rekenmodellen het werkelijk optredende gedrag in de proeven voorspellen?	X	X	X	X	X	X
Welke invloed hebben het (dis)continue karakter van de damwand �n mate van inbedding in grond op doorsnede-klasse volgens Eurocode 3 - deel 5?	X	X	X			
Hoe gedraagt zich een in grond ingebedde plank na het ontstaan van een plastisch scharnier. Is er met inbedding een hoger moment toelaatbaar dan zonder inbedding?	X	X	X			
Wat is de meest werkelijkheidsgetrouwe benaderingsmethode voor het restprofiel en de reststerkte?				X		
Wat is het waterkerende vermogen van de blauwe dijk uitgaande van de elastische capaciteit van de damwand? En wat is deze na bereiken van een plastisch scharnier?					X	X
Hoe werkt de krachtsverdeling in de onverankerde damwand onder extreme condities?						X
In welke verhouding worden de sterkte van grond en damwand gemobiliseerd, gaande van nul belasting naar doorgaand bezwijken?						X
Hoeveel vervorming van het systeem is nodig in het traject van elastisch naar plastisch gedrag van de damwand (voor het ontstaan van een plastisch scharnier)?						X
Hoe ziet het vervormingsproces tot na bezwijken eruit, inclusief het ontstaan van restprofiel? Welke volgorde van deelmechanismen treedt er daarbij op?						X
Wat zijn de vervormingen tot aan bezwijken: <ul style="list-style-type: none"> ...bij een waterkering zonder SVLC (groene dijk)? ...bij een waterkering met SVLC (blauwe dijk)? ...ter plaatse van 'aansluiting' (oftewel de verschilvervorming tussen de groene en blauwe dijk, berekend op basis van de resultaten van de groene en blauwe dijk)? 					X	X
Tot welke (relatieve) vervormingen in de omgeving leidt het					X	X

³ ontleend aan Deltares aanbieding met kenmerk 11200956-0001-GEO-0001-jvm van 6 april 2017;

	4PBP simulaties zón der grond	4PBP simulaties mét grond	POT (dis)continue wand	FSP restprofiel en -sterkte binnentalud	FSP groene dijk	FSP blauwe dijk
vervormingsproces van de waterkering met SVLC?						



B Dikte en sterkte metingen damwandprofielen

B.1 Dikte metingen GU8N profielen



B.2 Dikte metingen AZ profielen



B.3 Trekproeven GU8N profielen



B.4 Trekproeven AZ profielen

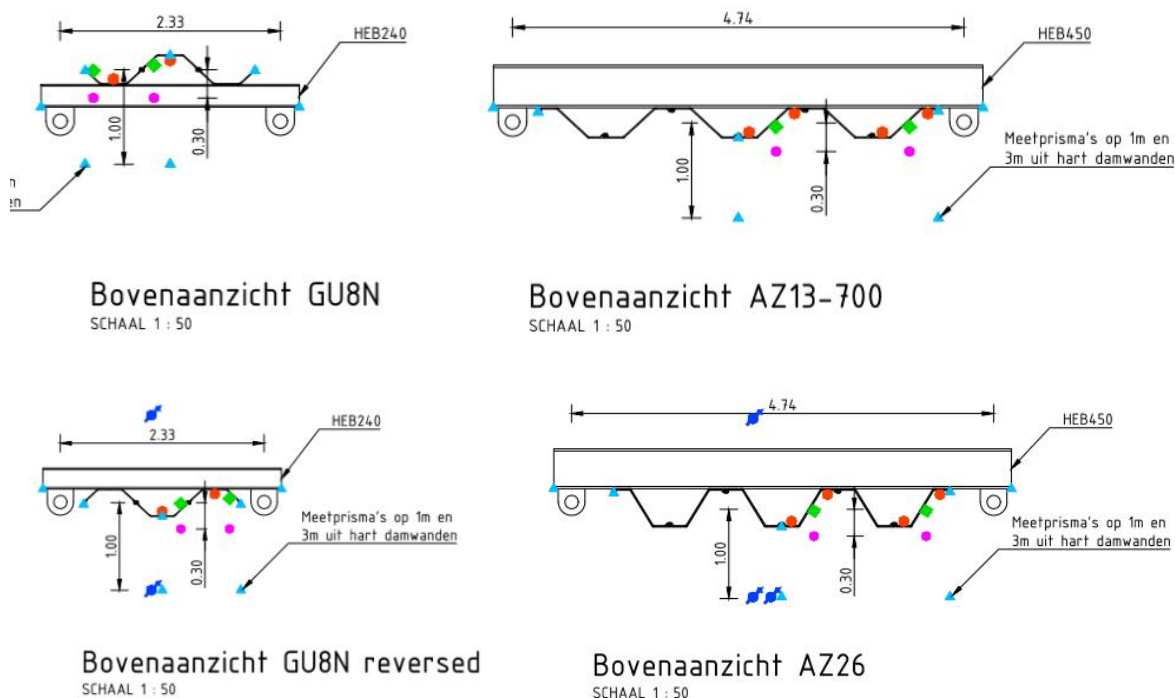


C Constructief ontwerp Reactie frame en trekopstelling

D Constructieve toets gording

D.1 Geometrie

In de volgende afbeeldingen wordt de geometrie getoond van de proefopstelling van GU8N-planken en AZ26-planken.



Figuur 1: Geometrie proefopstellingen

D.2 Berekening gording bij proef planken GU8N

Uitgangspunten:

- Maximale proeflast loodrecht op gording: 400 kN;
- Gording wordt symmetrisch op de planken aangebracht;
- Bij (trek)boutverbinding twee damwandflenzen tegen de gording h.o.h. 1200 mm;
- Gording wordt rotatie- en translatievast met de planken verbonden waardoor stabiliteit (kippen en knik) niet relevant is;
- Systeemmaat plank GU8N: 1200 mm;
- Maximale horizontale doorbuiging gording: 10 mm;
- Tophoek ketting: 30°;
- Hoek tussen gording en ketting: 75°;
- Resultante in ketting: $(200 / \sin(75)) = 207$ kN;

- Maximale overspanning tussen hijsogen: 2330 mm;
- Afstand hijs oog tot aansluiting op flens: 150 mm;
- Vloeigrens staal 355 N/mm² (S355).
- Enkel de gording wordt berekend. De hijsplaten aan de gordingen waar de ketting aan bevestigd wordt en de koppeling met de damwand dient door de aannemer te worden uitgewerkt.

De berekening en toetsing is uitgevoerd met een rekenmodel in SCIA-engineer, zie bijlage **Error! Reference source not found.**

Resultaat:

- Profiel HEB240 ;
- Max. vervorming: 4,1 mm;
- Max. unity check sterkte: 0,52.

D.3 Berekening gording bij planken AZ

Uitgangspunten:

- Maximale proeflast loodrecht op gording: 1200 kN;
- Gording wordt symmetrisch op de planken aangebracht;
- Gording wordt rotatie- en translatie vast met de planken verbonden waardoor stabiliteit (kippen en knik) niet relevant is;
- Systeemmaat AZ13: 1400 mm en AZ26: 1260 mm;
- Tophoek ketting 60°;
- Hoek tussen gording en ketting: 60°;
- Resultante in ketting: $(600 / \sin(60)) = 693$ kN
- Maximale overspanning tussen hijsogen: 4740 mm;
- Afstand hijs oog tot aansluiting op flens: 150 mm;
- Vloeigrens staal 355 N/mm² (S355)
- Enkel de gording wordt berekend. De hijsplaten aan de gordingen waar de ketting aan bevestigd wordt en de koppeling met de damwand dient door de aannemer te worden uitgewerkt.
- Gataftrek in de flenzen is niet in rekening gebracht. Bij detaillering van de verbinding tussen damwand en gording is eventueel gataftrek een aandachtspunt voor de capaciteit van de gording.

De berekening en toetsing is uitgevoerd met een rekenmodel in SCIA-engineer, zie bijlage D.4. De kracht vanuit de cilinder zal gelijk over de 3 dubbele damwandplanken worden verdeeld. Om dit te bereiken zijn de damwandplanken geschematiseerd als verende steunpunten met een stijfheid van 1 MN/m per steunpunt. De karakteristieke reactiekracht in de steunpunten van één plank nadert de 400 kN per plank.

Resultaat:

- Profiel HEB450
- Max. verschil vervorming: 14,3 mm
- Max. unity check sterkte: 0,99



D.4 SCIA-Rapport



E Tekening DO POT DT476-2-3101



F Modelling of push over test in DIANA