

TNO-rapport**TNO 2019 R11343A****Schuifaanslagen Oosterscheldekering Fase 2****Building, Infrastructures &
Maritime**Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delftwww.tno.nlT +31 88 866 22 00
F +31 88 866 06 30

Datum	13 december 2019
Auteur(s)	H.M.G.M. Steenbergen G. Timmerman (PT-Structural) J. Pruiksmā
Aantal pagina's	44 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	A t/m S
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Projectnaam	Schuifaanslagen Oosterscheldekering Fase 2
Projectnummer	060.32885

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Probleemstelling en doelstelling	5
3	Omschrijving en toepasbaarheid FE model	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Conclusies	7
3.3	Aanbevelingen	7
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	9
4.1	Hydraulische belastingen Oosterscheldekering 2018	9
4.2	Belastingen op schuiven 2018.....	9
4.3	Veerstijfheid schuifaanslagen.....	9
4.4	Spelingsbeelden	9
4.5	Representativiteit schuiftype 8900.....	10
4.6	Invloed vervalbelasting	10
4.7	Invloed toegevoegde watermassa	10
5	Resultaten berekeningen huidige schuifaanslagen	11
5.1	Inleiding	11
5.2	Overzicht uitgevoerde berekeningen.....	11
5.3	Resultaten spelingswaarde 10 mm	11
5.4	Resultaten voor toenemende spelingswaarde	12
5.5	Conclusies	15
6	Afleiden initiële eisen van de speling	16
6.1	Inleiding	16
6.2	Afleiding initiële eis	16
7	Aanpassingen van afmetingen van de blokken	18
7.1	Inleiding	18
7.2	Omschrijving ontwikkelde methode	18
7.3	Resultaten.....	19
7.4	Conclusies en aanbevelingen.....	19
8	Schuifaanslagen met een beperkt aantal hoogten	20
8.1	Inleiding	20
8.2	Doelstelling	20
8.3	Conclusies	20
9	Conclusies en aanbevelingen	21
10	Ondertekening	23
	Bijlage(n)	
	A Review PT Structural Ansys model	
	B Omschrijving 3D FE-model	
	C Hydraulische belastingen Oosterscheldekering 2018	
	D Belastingen op schuifaanslagen	

- E Spelingsbeelden
- F Representativiteit schuiftype 8900-I
- G Veerstijfheid schuifaanslagen
- H Invloed vervalbelasting
- I Invloed toegevoegde watermassa
- J Representatieve spelingsbeelden
- K Resultaten berekeningen
- L Optimalisatie methode draagbeeld schuifaanslagen
- M Effect hoogte toleranties schuifaanslagen
- N Effect stijfheid eindhar
- O Resultaten berekeningen aanpassing schuifaanslagen
- P Beoordeling dynamische belasting hefcilinder
- Q Verbeterd spelingsbeeld
- R Lage veerstijfheid
- S Schuifaanslagen met een beperkt aantal hoogtes

1 Inleiding

Dit project “Schuifaanslagen OSK Fase 2” is een direct vervolg op het project “Schuifaanslagen OSK Fase 1”, waarvan de resultaten zijn gepresenteerd via een TNO briefrapport¹. In dit project “Schuifaanslagen OSK Fase 2” is door PT-Structural en TNO samengewerkt om tot optimale resultaten te komen.

De indeling van het rapport is als volgt. Hoofdstuk 2 geeft de probleemstelling en doelstelling van dit project weer. Vervolgens beschouwt hoofdstuk 3 de geschiktheid van de rekenmodellen. Hoofdstuk 4 en 5 behandelen de uitgangspunten, randvoorwaarden en de feitelijke berekeningen, waarna in hoofdstuk 6 de initiële eisen aan de aanslagen worden afgeleid. Voor de bestaande constructie worden in hoofdstukken 7 en 8² aanpassingen bepaald en tot slot volgen in hoofdstuk 9 de conclusies.

Alle onderliggende berekeningen, resultaten en aanleveringen zijn opgenomen in de diverse bijlagen.

¹ TNO ref. 2018.0100312917/SNH/SNA, rapport TNO 2018 R10243

² Hoofdstuk 8 betreft een meerwerk opdracht naar de mogelijke toepasbaarheid van aanslagen met één of een beperkt aantal hoogtes voor alle individuele aanslagen.

2 Probleemstelling en doelstelling

Bij de bouw van de Oosterscheldekering (OSK) is gebruik gemaakt van relatief zachte blokken als schuifaanslag op de schuif, "ontwerp 1", waarbij de schuiven onder voorspanning in de sponning zaten. Deze blokken bleken na verloop van tijd af te scheuren. Vervolgens is een nieuw ontwerp, "ontwerp 2", gemaakt en zijn de schuifaanslagen vervangen door relatief harde elementen. Deze huidige schuifaanslagen van ontwerp 2 zijn ontworpen met een minimale speling tussen sponning en schuif. Grotere speling zou kunnen leiden tot onaanvaardbare krachten als gevolg van "klapper-ruimte" tussen schuif en sponning. Het klemlopen van de schuiven heeft echter het risico van deze minimale spelingszichten zichtbaar gemaakt.

Dit project "Schuifaanslagen OSK Fase 2" heeft initieel drie doelen: Het eerste doel is om een eerste serie berekeningen uit te voeren om zo de toepasbaarheid van de bestaande eindige elementen methode modellen en methodieken³ te toetsen. Waar nodig en mogelijk zullen de modellen en methodieken worden verbeterd.

Het tweede doel is een advies opstellen over de te stellen eisen in een mogelijke toekomstige aanvraag van RWS aan marktpartijen voor het vervangen van de schuifaanslagen van de OSK⁴. De eisen moeten zodanig zijn dat er geen schade kan ontstaan in maatgevende omstandigheden en tegelijkertijd een redelijke ontwerp vrijheid wordt geboden. De eisen hebben betrekking op de speling tussen aanslag en sponning in combinatie met de stijfheid van de gekozen aanslagblokken. Aspecten als maattoleranties zijn hierin ook beschouwd.

Het derde doel is een methode ontwikkelen om het optimaliseren van afmetingen van de huidige schuifaanslagen (ontwerp 2) tijdens onderhoudswerkzaamheden mogelijk te maken. Bij dit derde doel gaat het om het bepalen en optimaliseren van de belastingen op de aanslagen, zodanig dat het beton en de staalconstructie zo optimaal mogelijk worden belast. **Er wordt hier geen uitspraak gedaan over het uiteindelijke behaalde veiligheidsniveau volgens het Bouwbesluit en de Waterwet.** Uit de vastgestelde huidige spelingsbeelden van alle schuiven van de Oosterscheldekering is geconcludeerd dat de spelingsbeelden te optimaliseren zijn. Deze optimalisatie is per schuifzijde verschillend. De optimalisatie resulteert in een beter spelingsbeeld in gesloten schuifpositie en meer effectieve totale speling voor alle schuifposities. Het optimaliseren kan plaatsvinden door de hoogte van individuele schuifaanslagen aan te passen. Deze optimalisatie is ten opzichte van de gewenste hoogtes die vastgesteld zijn bij het project vervangen schuifaanslagen 2009-2011.

³ PT model dynamisch gedrag schuifaanslagen, rapport 24019B001-3, d.d. 2-12-2005, bijlage H

⁴ Offerte aanvraag RWS-2017/37978, zaaknummer 31133800/Van den Broek

In een meerwerkopdracht is later een vierde doel toegevoegd. Dit betreft het bepalen aan de hand van de geometrie van de schuifaanslagen en de tegenoverliggende bovenzakken van de stalen fundatiestoelen of één hoogte, of een beperkt aantal hoogtes, voor alle individuele aanslagen toegepast kunnen worden voor toekomstige ontwerpen. Twee aspecten worden hiervoor beschouwd:

- (i) minimale speling, en
- (ii) maximale reactiekracht in representatieve statische belasting situaties

3 Omschrijving en toepasbaarheid FE model

3.1 Inleiding

Het eerste doel van dit project is om een eerste serie berekeningen uit te voeren om zo de toepasbaarheid van de bestaande modellen en methodieken te toetsen. Waar nodig en mogelijk zullen de modellen en methodieken worden verbeterd.

Het bestaande model voor de dynamische berekeningen is beschreven in de bijlage bij bijlage B. Dit betreft een beschrijving van het model uit 2008. Dit model is door TNO gereviewd (zie memo in bijlage A). Hieruit zijn diverse verbeterpunten naar voren gekomen. Het hieruit voortkomende verbeterde model is beschreven in de hoofdttekst van bijlage B. De conclusies en aanbevelingen die volgen uit dit onderzoek zijn hierna samengevat.

3.2 Conclusies

Het Ansys rekenmodel van PT is aan verschillende evaluatiecriteria onderworpen. Na de brainstorm- en overleg sessies met PT Structural zijn, waar TNO vragen had ten aanzien van het model, twijfels over de modellering weggelaten of verwerkt in een verbeterd model. Met het verbeterde model kan zowel de belasting op de sponningen in de pijlers als de belasting op de hefcilinders berekend worden. Door de validatie met de Roompot 28 metingen is het model verbeterd ten opzichte van het 2008 'as built' model.

Geconcludeerd kan worden dat het model robuust is en een optimale balans kent tussen efficiëntie en effectiviteit. Dit verbeterde rekenmodel dient als uitgangspunt bij de verdere berekeningen in deze studie.

3.3 Aanbevelingen

Het verbeterde rekenmodel is conservatief. Door een hogere snelheid van de schuif in de spleet ten opzichte van de Roompot 28 metingen is de klap op de aanslagen groter dan gemeten. In werkelijkheid is er extra demping op de schuif door uitpersen van water in de spleet en een weerstandseffect van de beweging van de schuif als geheel door water. Dit is niet gekwantificeerd in deze voorstudie en niet expliciet gemodelleerd. Als het model verder aangescherpt moet worden omwille van de nieuwe ontwerp golfbelasting of de toetsingseis voor de betonconstructie wordt aanbevolen dit aspect nader te onderzoeken.

Verder wordt aanbevolen een controleberekening te maken met een volledige schuif en een asymmetrische golfbelasting uit de Roompot 28 meetdata. En deze berekening te vergelijken met het symmetrische model en een golfbelasting afgeleid uit de hogere golfbelasting van het asymmetrisch model om te toetsen dat ook in dit geval het symmetrisch model conservatief is.

Opmerking:

Uit de statische en dynamische berekeningen (zie hoofdstuk 5) blijkt dat bij een beperkte speling de statische UGT grenstoestanden maatgevend zijn. In dergelijke

gevallen is een verdere verbetering van het rekenmodel om dit minder conservatief te maken minder van belang.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Dit hoofdstuk behandelt de uitgangspunten en randvoorwaarden die gebruikt zijn bij de diverse berekeningen. Aan de hand van deze berekeningen en deelonderzoeken is het totaal aantal uit te voeren berekeningen verder beperkt.

4.1 Hydraulische belastingen Oosterscheldekering 2018

De hydraulische belastingen op de schuiven van de Oosterscheldekering zijn aangeleverd door RWS Zee en Delta District Noord (K. Saman). Deze aanlevering (zie bijlage C) geeft de waterstanden (incl. verval) en golfcondities voor verschillende herhalingstijden voor een aantal kenmerkende momenten in een storm.

De kenmerkende momenten met een kans van optreden van 1/30.000 per jaar (herhalingstijd van 1 keer in de 30.000 jaar) zijn in de verdere berekeningen gebruikt als rekenwaarden van de belastingen om de statische en dynamische berekeningen uit te voeren.

4.2 Belastingen op schuiven 2018

Uitgaande van de hydraulische belastingen volgens bijlage C, zijn in bijlage D de belastingen op de schuiven bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van:

- de verschillende kenmerkende momenten uit de stormen;
- het golfdrukmodel van Sainflou volgens Deltares;
- de Rayleighverdeling voor de relatie tussen de golfhoogten H_{\max} en H_s ;
- de kortkammigheid van de golven.

De maatgevende belastingen op de schuiven zijn bepaald voor de situaties:

- statisch gesloten positief verval;
- statisch gesloten negatief verval;
- dynamisch begin openen.

4.3 Veerstijfheid schuifaanslagen

Bepalend voor de (gelijkmatige) verdeling van de oplegreacties over de aanslagen en de dynamica zijn onder andere de veerstijfheid van de schuifaanslagen. In bijlage G is deze veerstijfheid afgeleid. Hierbij is gebruik gemaakt van de diverse uitgevoerde proeven op de UHMW-PE aanslagen. Afhankelijk van de belastingduur zijn twee veerstijfheden afgeleid. Deze zijn gebruikt in de statische en dynamische berekeningen (uitgezonderd de berekeningen met lage veerstijfheid, zie bijlage R).

4.4 Spelingsbeelden

Voor de spelings tussen de aanslagen en de geleiding is zoveel mogelijk uitgegaan van gemeten waarden. In bijlage E zijn de gemeten spelings gegeven. In bijlage J zijn de drie hieruit afgeleide representatieve spelings gegeven. Dit zijn de spelings die, op basis van de variatie in de speling tussen individuele aanslag en geleiding, leiden tot de relatief hoogste reactiekrachten.

De drie representatieve spelings en één uniforme speling zijn gebruikt in de statische en dynamische berekeningen.

De uniforme speling dient hierbij als referentie voor hetgeen optimaal te bereiken is indien de aanslagen volledig kunnen worden aangepast aan de geleiding. Uitvoeringstechnisch is dit uniforme spelingsbeeld lastig te realiseren.

4.5 Representativiteit schuiftype 8900

Om het aantal FE modellen te beperken is in bijlage F onderzocht of voor de definitieve berekeningen aan het dynamische gedrag kon worden volstaan met één representatief schuiftype. Dit op basis van beschouwingen van verschillende relevante aspecten, zoals:

- statische reactiekrachten bij UGT belastingen in gesloten toestand;
- reactiekrachten dynamische klappersituatie bij begin openen;
- systeem massa's van de schuiftypen.

Uit de beschouwingen volgt dat voor het bepalen van de spleetgrootte en de stijfheid van de aanslagen de berekeningen met het schuiftype 8900 voldoende representatief zijn. Berekeningen met andere schuiftypen zullen geen afwijkende resultaten geven.

4.6 Invloed vervalbelasting

In bijlage H is onderzocht of een eventueel aanwezige vervalbelasting bij begin openen een invloed heeft op de maatgevende klapper reactiekrachten. Uit deze bijlage volgt dat alleen een positief⁵ verval van belang is. Verder wordt er geconcludeerd:

- bij een positief verval groter of gelijk aan 2 m blijft de schuif continue aanliggen aan de Oosterscheldezijde;
- een gering positief verval kan maatgevend zijn;
- bij de definitieve berekeningen moet rekening worden gehouden met meerdere positieve vervallen (0 m, 0,5 m, 1,0 m en 1,5 m).

4.7 Invloed toegevoegde watermassa

De invloed van de toegevoegde watermassa is onderzocht in bijlage I.

Uit de berekening voor verschillende toegevoegde watermassa's volgt dat de invloed hiervan op de reactiekrachten in de schuifaanslagen beperkt is. Voor de definitieve berekeningen kan naar verwachting worden volstaan met berekeningen voor slechts één toegevoegde watermassa. In deze berekeningen zal moeten worden gecontroleerd of dit het geval is.

⁵ Een verval is positief indien de waterstand aan de Noordzee zijde hoger is dan in aan de Oosterschelde zijde.

5 Resultaten berekeningen huidige schuifaanslagen

5.1 Inleiding

Om een goed beeld te verkrijgen van de huidige schuifaanslagen (ontwerp 2) zijn door PT Structural een groot aantal berekeningen uitgevoerd. Dit betreffen zowel statische berekeningen als dynamische berekeningen. Doel van deze berekeningen is om te onderzoeken welke speling toelaatbaar is, zodanig dat de dynamische belasting op de aanslagen geringer is dan de maximaal belasting op de aanslagen in de statische "UGT" toestand.

5.2 Overzicht uitgevoerde berekeningen

Er zijn twee series van berekeningen uitgevoerd. De eerste serie betreft een onderzoek naar de invloed van de toegevoegde watermassa en het positief verval op de reactiekrachten van de schuifaanslagen. Uit deze berekeningen volgt bij welke combinaties van toegevoerde watermassa's en positieve vervallen de productieberekeningen moeten worden uitgevoerd.

Vervolgens zijn in een tweede serie berekeningen voor de toegevoegde watermassa van de 8.9 m schuif en twee waarden van het positief verval berekeningen gemaakt met een oplopende speling.

Al deze berekeningen zijn uitgevoerd voor twee tijdreeksen van de dynamische belasting: een harmonische golfbelasting en een tijdreeks volgens RWS. De berekeningen zijn uitgevoerd voor één uniform spelingsbeeld en de drie representatieve spelingsbeelden.

De resultaten van de berekeningen zijn gegeven als een kracht per halve aanslag. Deze representatie is geschikt voor zowel de beton als de staalconstructie en de aluminium brons geleidingsconstructie. Voor de verschillende constructiedelen (zoals betonconsole, eindhar, oplegstoel) geldt wel een verschillende spreiding van de belastingen.

5.3 Resultaten spelingswaarde 10 mm

In de eerste tabel van bijlage K is een samenvatting gegeven van de verschillende berekeningen met een vaste spelingswaarde van 10 mm.

Deze tabel is weer opgedeeld in twee delen. Het eerste deel geeft de reactiekrachten die de uitkomst zijn van de statische UGT berekeningen. Het tweede deel geeft de reactiekrachten die de uitkomst zijn van de dynamische berekeningen. Deze laatste reactiekrachten zijn de maximale reactiekrachten, die ofwel optreden als gevolg van het aanstoten van de schuif tegen de geleiding ofwel optreden bij passeren van een golftop bij het aanliggen van de schuif tegen de geleiding.

Voor spelingsbeeld 0 en 1 zijn berekeningen uitgevoerd voor drie toegevoegde watermassa's. Uit een vergelijking van de berekeningen voor drie toegevoegde massa's wordt bevestigd dat de invloed van de toegevoegde watermassa op de

reactiekrachten van de schuifaanslagen beperkt is. Dit geldt met name voor de zwaarst belaste schuifaanslagen. In de berekeningen met spelingsbeelden 2 en 3 zijn daarom alleen berekeningen gemaakt voor de toegevoegde watermassa van de 8.9 m schuif.

Voor spelingsbeeld 0 en 1 zijn ook berekeningen uitgevoerd voor vier waarden van het positief verval. Uit een beschouwing van de invloed van het positief verval blijkt dat de reactiekracht vrijwel lineair verloopt met het positief verval. Alleen bij de bovenste en onderste aanslag worden soms afwijkingen van dit lineaire verloop gevonden. De oorzaak hiervan is dat de schuif als geheel gaat roteren, waardoor de schuif op de uiterste punten van de schuif landt. In de berekeningen met spelingsbeelden 2 en 3 zijn daarom alleen berekeningen gemaakt voor twee positieve vervallen.

Door de keuze voor één toegevoegde watermassa van de 8.9 m schuif en de keuze voor twee positieve vervallen kan het aantal berekeningen worden beperkt.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de uitgevoerde dynamische berekeningen voor de spelingswaarde van 10 mm, met de verschillende variaties in belasting, toegevoegde watermassa, positief verval en spelingsbeeld, zoals hierboven beschreven.

Tabel 1 Uitgevoerde dynamische berekeningen voor de spelingswaarde van 10 mm

Dynamisch tijdreeks (nr.)	Toegevoegde watermassa (type schuif)	Positief verval (m)	Spelingsbeeld (nr.)
1; 2	8,9	0,0	0
1; 2	8,9	0,5	0
1; 2	8,9	1,0	0
1; 2	8,9	1,5	0
1; 2	5,9	0,0	0
1; 2	5,9	1,0	0
1; 2	11,9	0,0	0
1; 2	11,9	1,0	0
1; 2	8,9	0,0	1
1; 2	8,9	0,5	1
1; 2	8,9	1,0	1
1; 2	8,9	1,5	1
1; 2	5,9	0,0	1
1; 2	5,9	1,0	1
1; 2	11,9	0,0	1
1; 2	11,9	1,0	1
1; 2	8,9	0,0	2
1; 2	8,9	1,0	2
1; 2	8,9	0,0	3
1; 2	8,9	1,0	3

5.4 Resultaten voor toenemende spelingswaarde

In de tweede tabel van bijlage K is een samenvatting gegeven van de berekeningen met een toenemende speling. Deze tabel is eveneens opgedeeld in twee delen. Het eerste deel geeft de reactiekrachten die de uitkomst zijn van de statische UGT berekeningen.

Het tweede deel geeft de reactiekrachten die de uitkomst zijn van de dynamische berekeningen. Voor twee dynamische tijdreeksen (harmonisch en niet harmonisch), twee waarden van het positief verval (0,0 en 1,0 m) en vier spelingsbeelden (uniform en drie representatieve) zijn de resultaten gegeven voor toenemende waarden van de speling (10, 12, 14, 16, 20, 25 en 30 mm). Deze reactiekrachten zijn de maximale reactiekrachten, die ofwel optreden als gevolg van het aanstoten van de schuif tegen de geleiding ofwel optreden bij passeren van een golftop bij het aanliggen van de schuif tegen de geleiding.

In de kolom met maximum (Oosterschelde (OS) zijde) en minimum (Noordzee (NZ) zijde) reactiekrachten zijn de waarden rood gemarkeerd die een hogere waarde geven dan de UGT waarde bij een uniforme speling.

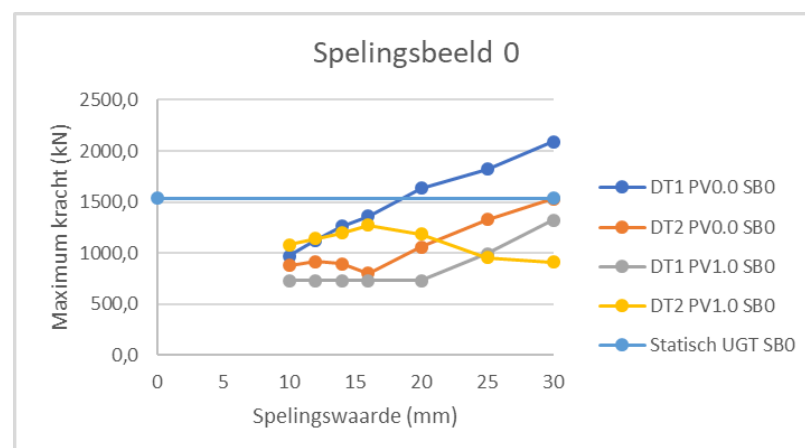
Onderstaande tabel geeft een overzicht van de uitgevoerde dynamische berekeningen voor de toenemende spelingswaarde, met de verschillende variaties in belasting, positief verval, spelingsbeeld zoals hierboven beschreven.

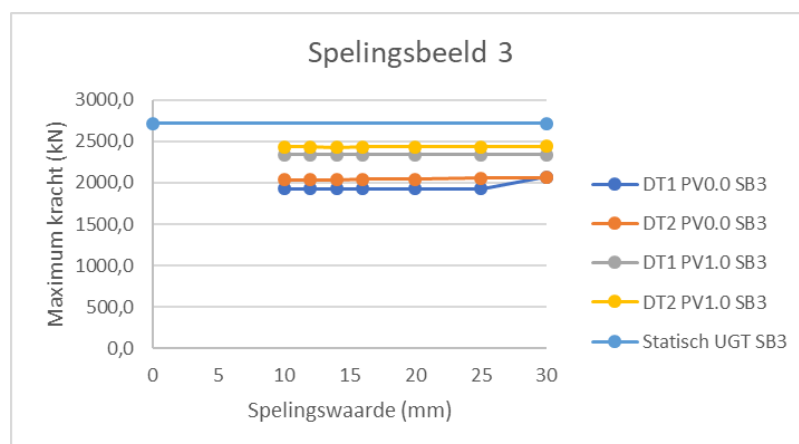
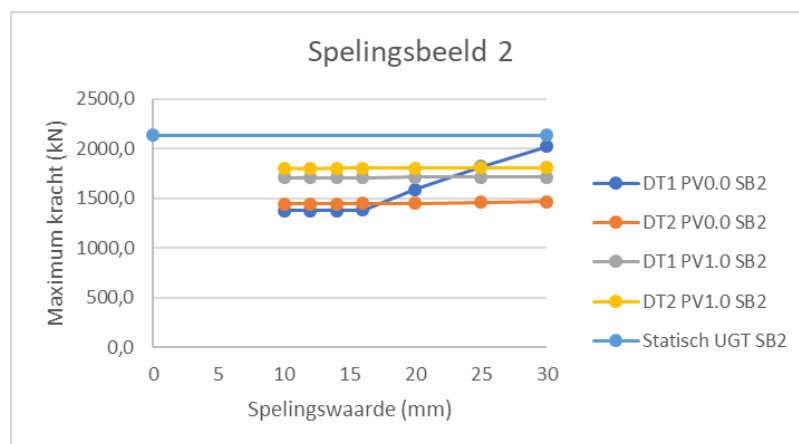
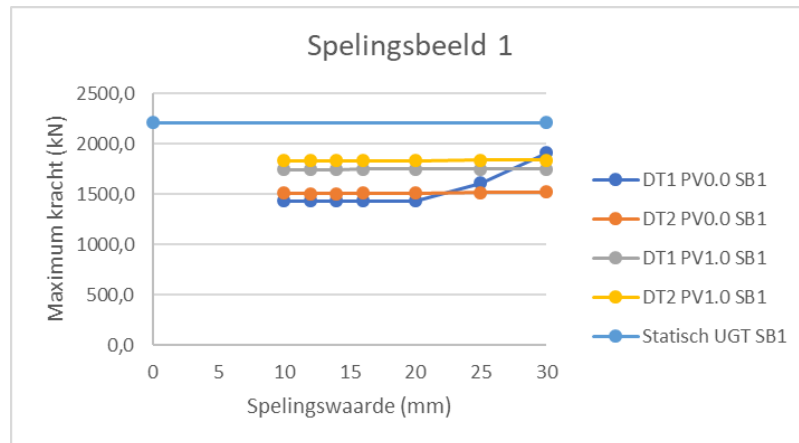
Tabel 2 Uitgevoerde dynamische berekeningen voor toenemende spelingswaarde

Dynamisch tijdreeks (nr.)	Positief Verval (m)	Spelingsbeeld (nr.)	Speling (mm)
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	10
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	12
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	14
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	16
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	20
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	25
1; 2	0.0; 1.0	0; 1; 2; 3	30

De onderstaande figuren geven de resultaten weer van de uitgevoerde berekeningen voor de OS zijde.

Figuur 1: Maximale reactiekrachten van de uitgevoerde dynamische berekeningen voor de OS zijde. DT: dynamische tijdreeks nr; PV: positief verval (m); SB: spelingsbeeld nr





In de figuren is de maximale reactiekracht in de halve aanslag uitgezet als functie van de spelingswaarde voor de verschillende spelingsbeelden. Per figuur zijn de maximale reactiekracht in de UGT grenstoestand en de dynamische situatie bij twee tijdsreeksen en twee positieve vervallen gegeven.

Uit deze figuren volgt dat voor spelingswaarden kleiner dan 18 mm de statische UGT toestand maatgevend is ten opzichte van de dynamische toestand.

Bij het ontwerp van de kering is uitgegaan van een krachtsverdeling over de aanslagen die overeenkomt met spelingsbeeld 0. Bij een ongunstig spelingsbeeld

(SB1 t/m SB3) zijn de maatgevende maximale krachten op de aanslagen voor alle spelingswaarden groter dan de bij het ontwerp aangehouden kracht voor de statische UGT toestand. Dit betekent dat het belangrijker is om het spelingsbeeld aan te passen zodanig dat spelingsbeeld 0 wordt verkregen, dan om de speling te beperken.

5.5 Conclusies

Uit de resultaten van de berekeningen, die in Bijlage K getoond worden, zijn de volgende conclusies te trekken:

- In vrijwel alle gevallen aan de Oosterschelde zijde is de dynamische reactiekracht door klapperen lager dan de statische reactiekracht in de UGT situatie.
- Alleen aan de Noordzee zijde is de dynamische reactiekracht groter dan de statische UGT reactiekracht, echter de reactiekrachten aan de Noordzee zijde zijn aanzienlijk lager dan aan de Oosterschelde zijde.
- Bij toenemende spelingswaarde nemen de dynamische reactiekrachten toe. Bij sterk variërende spelingsbeelden treedt dit echter pas op bij een grotere spelingswaarde.
- De krachtsverdeling over de aanslagen wordt sterk beïnvloed door het spelingsbeeld. De invloed van het spelingsbeeld is belangrijker dan de grootte van de speling.
- Bij sterk variërende spelingsbeelden is er een groot verschil in reactiekracht tussen de boven en onderzijde van één schuifaanslag. Bij de toetsing van de direct bij de aanslag gelegen constructiedelen moet men rekening houden met dit verloop. Voor de toetsing van de betonconstructie als geheel kan men uitgaan van de reactiekracht in de onder- of bovenzijde van de aanslag.
- Uit een vergelijking van de UGT krachtsverdeling tussen het model met een niet oneindig stijve eindhar en een model met een oneindig stijve eindhar blijkt dat de stijfheid van de eindhar in rekening moet worden gebracht bij de toetsing. Dit kan met een toeslag volgens bijlage N.

6 Afleiden initiële eisen van de speling

6.1 Inleiding

Het tweede doel van het project is een advies opstellen over de te stellen eisen in een mogelijke toekomstige uitvraag van RWS aan marktpartijen voor het vervangen van de schuifaanslagen van de OSK. De eisen moeten zodanig zijn dat er geen schade kan ontstaan in maatgevende omstandigheden en tegelijkertijd een redelijke ontwerpvrijheid wordt geboden. De eisen hebben betrekking op de speling tussen aanslag en sponning in combinatie met de stijfheid van de gekozen aanslagblokken. Aspecten als maattoleranties zijn hierin ook beschouwd.

6.2 Afleiding initiële eis

De eisen te stellen aan de speling worden bepaald door een drietal eisen. Dit betreffen:

- De reactiekrachten ten gevolge van klapperen. Deze mogen niet te groot worden.
- De reactiekracht in de UGT toestand en tijdens klapperen mag niet groter zijn dan de capaciteit van de aansluitende constructie (beton en staalconstructie).
- De versnellingen op de hefcilinder mogen niet te groot worden.

Deze eisen zijn een functie van de veerstijfheid van de aanslagen.

6.2.1 UHMW-PE aanslagen

Voor de bestaande UHMW-PE aanslagen (ontwerp 2) geldt dat de reactiekrachten ten gevolge van klapperen tot en met een speling van 16 mm lager zijn dan de statische reactiekrachten bij de UGT belastingen.

Voor de capaciteit van de betonconstructie zijn op dit moment nog geen definitieve capaciteiten beschikbaar. Dit komt onder andere doordat de te hanteren partiële factoren voor beton nog moeten worden vastgesteld aan de hand van een probabilistische berekening. Voorlopig wordt uitgegaan van een capaciteit van 1800 - 2700 kN per halve aanslag. Op basis van de berekeningen in bijlage K volgt dat de harde UHMW-PE aanslagen erg gevoelig zijn voor de verschillende spelingsbeelden. Alleen door een aanpassing van de hoogte (uniform per aanslagblok) kunnen geschikte reactiekrachten worden behaald (zie bijlage Q).

In bijlage P is een beoordeling gegeven van de dynamische belasting op de hefcilinder. Uit deze beoordeling volgt dat de totale spelingswaarde beperkt moet blijven. Indien we uitgaan van de grenswaarden van de toegestane versnelling van het cilinderroog (volgens de ontwerpberekeningen uit 2004) volgt voor de grenswaarde van de speling een waarde van 10 mm.

6.2.2 Zachte aanslagen

In bijlage R zijn berekeningen uitgevoerd voor zogenaamde zachte aanslagen, die vergelijkbaar zijn met de harde aanslagen uit het oorspronkelijke ontwerp (ontwerp 1). Voor de dynamische en statische berekeningen is uitgegaan van gelijke veereigenschappen. Het materiaal waarmee dergelijke aanslagen kan worden geconstrueerd is nog niet bekend, zodat hiervoor geen redelijke aannamen te

maken zijn. Deze berekeningen zijn alleen uitgevoerd voor het meest ongunstige spelingsbeeld 3. Uit deze berekening volgt dat de krachtsverdeling in de constructie vrijwel ongevoelig is voor het spelingsbeeld en de waarde van de speling. Bij een speling van 30 mm zijn de berekende waarden van de dynamische reactiekrachten nog altijd lager dan de statische waarden.

Maatgevend voor de zachte aanslagen kunnen ook de versnellingen op het cilinderroog worden. Uit de berekeningen volgt dat deze versnellingen van de cilinder bij zachte aanslagen vergelijkbaar zijn met de versnellingen bij harde aanslagen. Hieruit volgt voor de grenswaarde van de speling een waarde van 10 mm.

7 Aanpassingen van afmetingen van de blokken

7.1 Inleiding

Het derde doel van dit project is een methode ontwikkelen om het optimaliseren van afmetingen van de huidige schuifaanslagen (ontwerp 2) tijdens onderhoudswerkzaamheden mogelijk te maken. Uit de vastgestelde huidige spelingsbeelden van alle schuiven van de Oosterscheldekering is geconcludeerd dat de spelingsbeelden te optimaliseren zijn. Deze optimalisatie is per schuifzijde verschillend.

De optimalisatie resulteert in een beter spelingsbeeld in gesloten schuifpositie en een meer effectieve totale speling voor alle schuifposities of geringere reactiekrachten op de betonconstructie. Het optimaliseren kan plaatsvinden door de hoogte van individuele schuifaanslagen aan te passen, ten opzichte van de gewenste hoogtes die vastgesteld zijn bij het project "vervangen schuifaanslagen 2009-2011". De hoogtes kunnen worden verkleind door middel van bewerking met een vandiktebank.

7.2 Omschrijving ontwikkelde methode

In bijlage L is de optimalisatie-methode voor de aanpassing van het draagbeeld van de schuifaanslagen gegeven. Het toepassen van deze methode geeft een geoptimaliseerde krachtsverdeling over de schuifaanslagen. Omdat de krachtsverdeling is bepaald met een model met een oneindig stijve eindhar en een ingemeten spelingsbeeld zijn hierin de flexibiliteit van de eindhar en de bouwtoeranties niet meegenomen.

In bijlage N is een toeslag voor de stijfheid van de eindhar bepaald en in bijlage M voor de bouwtoeranties. Deze beide toeslagen zijn in de berekeningen meegenomen.

Opmerking 1:

Bij de optimalisatie is getracht om voldoende voorspanning in het verend element te behouden. Uitgangspunt is dat als de hoogte van de schuifaanslagen OS0 of OS1 niet wordt verkleind, het verend element op voorspanning blijft staan. Het verkleinen van de hoogte van de genoemde schuifaanslagen leidt tot een afname van de voorspanning in het verend element met 178 kN/mm. De afname van voorspanning moet zoveel mogelijk worden beperkt om klapperen in geopende toestand van de schuif te voorkomen.

Opmerking 2:

Bij toenemende speling ontstaan er hogere versnellingen in het bewegingswerk. Er is op dit moment geen heldere eis ten aanzien van de maximale versnelling. Indien we uitgaan van de grenswaarden van de toegestane versnelling van het cilinderroog volgens de ontwerpberekeningen uit 2004 volgt voor de grenswaarde van de speling een waarde van 10 mm.

7.3 Resultaten

Voor de in begin 2019 aan te passen schuifaanslagen H4 Noord, H4 Zuid, R10 Noord en R10 Zuid zijn in bijlage O de resultaten gegeven voor een zo optimaal mogelijke aanpassing van de hoogte van de schuifaanslagen.

Per set van schuifaanslagen zijn gegeven: (i) de benodigde aanpassingen, (ii) de resultaten van de verschillende berekeningen en ten slotte (iii) een overzicht van de reactiekrachten van de schuifaanslagen voor een herhalingstijd van de hydraulische belasting van 1 maal per 30000 jaar.

Met toeslagen zijn de stijfheid van de eindhar en de bouwtolerantie meegenomen. De feitelijke toetsing aan de betoncapaciteit van de reactiekrachten is niet uitgewerkt, omdat de benodigde waarden voor de betoncapaciteit niet beschikbaar zijn.

Opmerking:

De partiële factoren bij het gegeven vereiste veiligheidsniveau zijn nog niet bepaald. Dit betekent dat de toetsing van de betoncapaciteit moet worden uitgevoerd met een volledig probabilistische berekening.

7.4 Conclusies en aanbevelingen

Met de gebruikte optimalisatie methode is het mogelijk een hoogte aanpassing van de schuifaanslagen te bepalen. De aanpassingen resulteren in een gunstigere verdeling van de reactiekrachten over de schuifaanslagen.

Geadviseerd wordt om alle in de onderhoudswerkzaamheden van 2019 aan te passen schuifaanslagen (17 schuiven) volgens deze optimalisatiemethode aan te passen.

Voor de overige 45 schuiven zijn onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd voor 2019. Voor deze schuiven dient reken technisch gecontroleerd te worden hoe de oplegreactieverdeling over de schuifaanslagen is. Dit kan mogelijk leiden tot aanvullende werkzaamheden voor een beperkt aantal schuifaanslagen.

In een latere beoordeling door het OSK-OBT team moet op basis van de waterwet nog worden bekeken of de aangepaste schuifaanslagen voldoen aan de eisen van WBI 2017. Uit deze studie zal moeten blijken welke belastingen en partiele factoren moeten worden gebruikt bij ontwerpberoeeningen.

8 Schuifaanslagen met een beperkt aantal hoogten

8.1 Inleiding

De initiële scope van het onderzoek had tot doel het bepalen van de toelaatbare speling, onder de dynamische klappersituatie, welke toelaatbaar is voor een 2-tal veerstijfheden van de schuifaanslagen. Gedurende het uitvoeren van de opdracht is de focus, ook komen te liggen op het draagbeeld van de schuifaanslagen in de statische belasting situaties en op de optimalisatie daarvan. Uit dit onderzoek bleek dat het draagbeeld bij een relatief lage veerstijfheid gunstig is, uitgaande van de huidige geometrie van schuifaanslagen en schuifgeleidingen. De maximale reactiekrachten die bij een relatief lage veerstijfheid optreden zijn gelijkmatiger verdeeld en relatief laag.

Naar aanleiding hiervan wil RWS weten of schuifaanslagen met één hoogte, of een beperkt aantal verschillende hoogtes, voor alle individuele aanslagen toegepast kunnen worden voor toekomstige ontwerpen. Uitgangspunt is de veerstijfheid van de relatief harde schuifaanslagen van het oorspronkelijke ontwerp (ontwerp 1). Dit is een aanvullende vraag die ontstaan is gedurende het projectverloop.

8.2 Doelstelling

De doelstelling van dit additionele werk is: bepaal aan de hand van de geometrie van de schuifaanslagen en de tegenoverliggende bovenzijden van de stalen fundatiestoelen of één hoogte, of een beperkt aantal hoogtes, voor alle individuele aanslagen toegepast kunnen worden voor toekomstige ontwerpen. Twee aspecten worden hiervoor beschouwd:

- (i) minimale speling, en
- (ii) maximale reactiekracht in representatieve statische belasting situaties

8.3 Conclusies

De studie naar de haalbaarheid van schuifaanslagen met een beperkt aantal verschillende hoogtes is gerapporteerd in bijlage S. Uitgangspunten bij deze studie zijn:

- Schuifaanslagen met een uniforme dikte worden op de bovenzijde van de bestaande fundatiestoelen gemonteerd.
- Alleen de Oosterschelde zijde wordt beschouwd. De uitkomst is geldend voor OS en NZ-zijde.
- Alleen de situatie "Gesloten positief verval" wordt beoordeeld.
- Uitgegaan wordt van de veerstijfheid van de harde (type 230) rubberen schuifaanslagen van het oorspronkelijke ontwerp (ontwerp 1).
- Speling minimaal 5 mm en maximaal 10 mm.

Uit de studie volgt dat het toepassen van een beperkt aantal verschillende hoogtes bij de toepassing van aanslagen met de veerstijfheid van de relatief harde (type 230) schuifaanslagen van het oorspronkelijke ontwerp haalbaar is. Uit de evaluatie van de gemeten spelingsbeelden van alle schuifaanslagen met uitzondering van R27 en R28 volgt dat kan worden volstaan met twee a drie verschillende hoogtes van de schuifaanslagen.

9 Conclusies en aanbevelingen

Het project Schuifaanslagen Oosterschedekering Fase 2 omvat vier doelen.

Doel 1:

Het uitvoeren van berekeningen om zo de toepasbaarheid van de bestaande modellen en methodieken te toetsen.

Uit de berekeningen is gebleken dat met een verbeterd model zowel de belasting op de sponningen in de pijlers als de belasting op de hefcilinders kan worden berekend. Geconcludeerd kan worden dat het model robuust is en een optimale balans kent tussen efficiëntie en effectiviteit. Dit verbeterde rekenmodel dient als uitgangspunt bij de verdere berekeningen in deze studie.

Doel 2:

Het opstellen van een advies over de te stellen eisen in een mogelijke toekomstige uitvraag ter vervanging van de schuifaanslagen

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de beantwoording van deze vraag.

Samenvattend geldt dat harde aanslagen mogelijk zijn indien deze voldoende nauwkeurig de geleiding volgt. Dus de hoogte van de aanslagen aanpassen aan de vorm van de geleiding. In deze situatie is een speling van 10 mm toelaatbaar. Deze begrenzing van de speling wordt bepaald door de versnelling van de cilinder. Indien zachte aanslagen worden toegepast hoeft men de aanslagen minder nauwkeurig aan te passen aan de vorm van de geleiding. De maximale toelaatbare speling van 10 mm wordt hier ook bepaald door de versnelling van de cilinder.

Doel 3:

Het ontwikkelen van een methode om de afmetingen van de huidige schuifaanslagen te optimaliseren.

In bijlage L is een optimalisatie methode gegeven voor het aanpassen van de huidige aanslagen. Voor een viertal concrete schuifaanslagen heeft deze methode geresulteerd in een voorstel tot aanpassing van de aanslagen (bijlage O).

Doel 4:

Bepalen of één hoogte, of een beperkt aantal hoogtes, voor alle individuele aanslagen toegepast kunnen worden voor toekomstige ontwerpen.

Uit de studie volgt dat het toepassen van een beperkt aantal verschillende hoogtes bij de toepassing van aanslagen met de veerstijfheid van de relatief harde (type 230) schuifaanslagen van het oorspronkelijke ontwerp haalbaar is. Uit de evaluatie van de gemeten spelingsbeelden van alle schuifaanslagen met uitzondering van R27 en R28 volgt dat kan worden volstaan met twee a drie verschillende hoogtes van de schuifaanslagen.

Voor de in de onderhoudswerkzaamheden van 2019 aan te passen schuifaanslagen (17 schuiven) zal de optimalisatiemethode uit doel 3 door PT Structural worden uitgevoerd. Voor de overige 45 schuiven, waaraan al onderhoudswerkzaamheden zijn uitgevoerd voor 2019 wordt geadviseerd om rekentechnisch te controleren ze voldoen zonder aanpassing. Indien ze niet voldoen zijn aanvullende onderhoudswerkzaamheden voor een beperkt aantal schuifaanslagen vereist.

In een latere beoordeling door het OSK-OBT team moet op basis van de waterwet nog worden bekeken of de aangepaste schuifaanslagen voldoen aan de eisen van WBI 2017. Uit deze studie zal moeten blijken welke belastingen en partiele factoren moeten worden gebruikt bij ontwerpberekeningen.

10 Ondertekening

Delft, 13 december 2019

TNO



T.G.H. Basten
Research Manager



H.M.G.M. Steenbergen
Auteur



S. van der Putten
Projectleider

A Review PT Structural Ansys model

In WP1 is door TNO een review uitgevoerd op het door PT Structural gebruikte Ansys model voor de berekening van het dynamisch gedrag van de schuif en schuifaanslagen van de Oosterschelde kering (OSK). Deze werkzaamheden zijn gerapporteerd in de memo van deze bijlage.

Auteur: TNO

B Omschrijving 3D FE-model

Beschrijving van het FE-model van de schuif zoals gebruikt in de statische en dynamische berekeningen van de schuifaanslagen. In dit model is de stijfheid van de eindhar meegenomen.

Auteur: PT-Structural

C Hydraulische belastingen Oosterscheldekering 2018

De hydraulische belastingen op de schuiven van de Oosterscheldekering zoals door RWS Zee en Delta District Noord aangeleverd.

Opmerking:

De hoofdstukken 2, 3 en 5 zijn als invoer gebruikt van de berekeningen in bijlage D. In hoofdstuk 4 van dit document "Hydraulische belastingen Oosterscheldekering 2018" zijn ook resultaten opgenomen van de berekeningen die in bijlage D zijn uitgevoerd.

Auteur: RWS Zee en Delta District Noord

D Belastingen op schuifaanslagen

Op basis van de hydraulische belastingen met een herhalingstijd van 1/30000 per jaar worden de maatgevende statische en dynamische belastingen op de schuiven voor de berekening van de schuifaanslagen bepaald.

Opmerking:

De statistische spreiding van de sterkte is in deze berekening niet meegenomen.

Auteur: PT-Structural

E Spelingsbeelden

Vastgestelde spelingsbeelden (Noord- en Zuidzijde) van de schuifaanslagen in gesloten toestand (schuif op de bodem; maximale displaystand) voor alle schuiven (minus R28; daar zijn geen resultaten van metingen voor beschikbaar).

De spelingsbeelden laten de vorm van de aluminiumbronzen schuifgeleiding (zoals gemeten tijdens de bouw) zien t.o.v. van de vorm van de stalen fundatiestoelen (zoals vastgesteld met vlakheidsmetingen, uitgevoerd voor het aanbrengen van de huidige UHMW-PE schuifaanslagen), gecorrigeerd met de individuele hoogte van de schuifaanslagen (toestand 2018). De stijve stalen vassing van de huidige schuifaanslagen zal de vorm van de bovenzijde van de fundatiestoelen wel enigszins uitvlakken in de praktijk, maar dat is niet meegenomen.

Per schuifaanslag wordt de maximale en minimale waarde van de speling en het verschil daarvan weergegeven.

In bijlage J zijn op basis van deze spelingsbeelden de representatieve spelingsbeelden bepaald, waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd.

De figuren tonen voor de betreffende schuif in gesloten stand:

- In blauw het verloop van de aluminium-bronzen schuifgeleiding ten opzichte van de theoretische maat (2440 mm uit het hart van pijlersponning). De diepte van de S-bocht aan de Noordzeezijde is voor de verhoudingen in de figuur beperkt op 5 mm, terwijl die in werkelijkheid ca. 30 mm bedraagt.
- In oranje het verloop van de bovenzijde van de individuele standaard schuifaanslagen, gebaseerd op de meting van de bovenzijde van de fundatiestoelen (6 hoogteposities per stoel) vermeerderd met de hoogte van de betreffende schuifaanslag.

Dit is gedaan ten opzichte van de hoogte in m +NAP op de verticale as, en voor de Oosterschelde zijde (linker figuur) en Noordzeezijde (rechter figuur).

De standaard schuifaanslagen zijn genummerd vanaf nummer 1 onderin oplopend naar boven toe. In de kaders naast de grafiek zijn de minimale en maximale speling tussen schuifgeleiding en schuifaanslag (voor de verschillende hoogteposities) weergegeven en het verschil daartussen.

Auteur: PT-Structural

F Representativiteit schuiftype 8900-I

In deze bijlage zijn berekeningen uitgevoerd voor de beoordeling van de representativiteit van schuiftype 8900-I voor de beoordeling van alle schuiftypen.

Auteur: PT-Structural

G Veerstijfheid schuifaanslagen

In deze bijlage zijn de veerstijfheden van de schuifaanslagen afgeleid voor de statische en dynamische berekeningen.

Auteur: PT-Structural

H Invloed vervalbelasting

In deze bijlage is de invloed van de vervalbelasting op de klappersituatie bij begin openen onderzocht.

Auteur: PT-Structural

I Invloed toegevoegde watermassa

In deze bijlage wordt de invloed van de toegevoegde watermassa tijdens de klappersituatie "Begin openen" onderzocht.

Auteur: PT-Structural

J Representatieve spelingsbeelden

In deze bijlage zijn een 3-tal representatieve spelingsbeelden gegeven zoals deze zijn samengesteld uit gemeten spelingsbeelden (zie bijlage E).

Voor de grotere schuiven met meer dan 5 schuifaanslagen zijn een aantal schuifaanslagen vervallen, zodat in totaal weer 5 standaard schuifaanslagen verkregen worden en weer passen in het model van schuiftype 8900. Hierbij is zoveel mogelijk de aard van het betreffende spelingsbeeld in stand gehouden.

Ook voor deze figuren geldt weer dat de figuren de schuif in gesloten stand tonen met daarbij:

- In blauw het verloop van de aluminium-bronzen schuifgeleiding ten opzichte van de theoretische maat (2440 mm uit het hart van pijlersponning). De diepte van de S-bocht aan de Noordzeezijde is voor de verhoudingen in de figuur beperkt op 5 mm, terwijl die in werkelijkheid ca. 30 mm bedraagt.
- In oranje het verloop van de bovenzijden van de individuele standaard schuifaanslagen, gebaseerd op de meting van de bovenzijden van de fundatiestoelen (6 hoogteposities per stoel) vermeerderd met de hoogte van de betreffende schuifaanslag.

Dit is gedaan ten opzichte van de hoogte in m +NAP op de verticale as, en voor de Oosterschelde zijde (linker figuur) en Noordzeezijde (rechter figuur).

De standaard schuifaanslagen zijn genummerd vanaf nummer 1 onderin oplopend naar boven toe. In de kaders naast de grafiek zijn de minimale en maximale speling tussen schuifgeleiding en schuifaanslag (voor de verschillende hoogteposities) weergegeven en het verschil daartussen.

Auteur: PT-Structural

K Resultaten berekeningen

Deze bijlage bevat twee samenvattende tabellen en vervolgens de verzameling grafieken van de berekeningsresultaten voor de huidige (anno 2018) schuifaanslagen. De twee tabellen presenteren de uitkomsten van de twee series van berekeningen die zijn uitgevoerd. Een legenda voor de naamgeving van de resultaten en de codering van de grafieken is als volgt:

Resultaten in grafieken:

Plot no 1:	
uxmidond	Verplaatsing (ux) schuifmidden onder
uxmidbov	Verplaatsing (ux) schuifmidden boven
Plot no 2:	
uxharond	Verplaatsing (ux) eindhar onder
uxharbov	Verplaatsing (ux) eindhar boven
Plot no 3:	
vxharond	Snelheid (vx) eindhar onder
vxharbov	Snelheid (vx) eindhar boven
Plot no 4:	
OS0	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 0
OS1ond	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 1 onder
OS1bov	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 1 boven
OS2ond	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 2 onder
OS2bov	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 2 boven
Plot no 5:	
OS3ond	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 3 onder
OS3bov	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 3 boven
OS4ond	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 4 onder
OS4bov	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 4 boven
OS5ond	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 5 onder
OS5bov	Reactiekracht Oosterscheldezijde halve aanslag 5 boven
Plot no 6:	
OS0	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 0
OSblok1	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 1
OSblok2	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 2
OSblok3	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 3
OSblok4	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 4
OSblok5	Reactiekracht Oosterscheldezijde aanslag 5

Plot no 7:	
Verelem	Reactiekracht verend element Noordzezijde
NZ1ond	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 1 onder
NZ1bov	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 1 boven
NZ2ond	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 2 onder
NZ2bov	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 2 boven
Plot no 8:	
NZ3ond	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 3 onder
NZ3bov	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 3 boven
NZ4ond	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 4 onder
NZ4bov	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 4 boven
NZ5ond	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 5 onder
NZ5bov	Reactiekracht Noordzezijde halve aanslag 5 boven
Plot no 9:	
Verelem	Reactiekracht verend element Noordzezijde
NZblok1	Reactiekracht Noordzezijde aanslag 1
NZblok2	Reactiekracht Noordzezijde aanslag 2
NZblok3	Reactiekracht Noordzezijde aanslag 3
NZblok4	Reactiekracht Noordzezijde aanslag 4
NZblok5	Reactiekracht Noordzezijde aanslag 5
Plot no 10:	
OStotaal	Totale reactiekracht Oosterscheldezijde
NZtotaal	Totale reactiekracht Noordzezijde

Codering namen figuren:

Spelingsbeeld:

SB0 Uniform spelingsbeeld
SB1, SB2, SB3 Representatief spelingsbeeld 1, 2 of 3 volgens bijlage J

Statische berekeningen

SPOS Statisch positief verval
SNEG Statisch negatief verval

Dynamische berekeningen/tijdreeks:

DTR1 Harmonische golfbelasting
DTR2 Tijdreeks volgens opgave RWS

Spelingswaarde:

SWxx Spelingswaarde met xx speling in mm

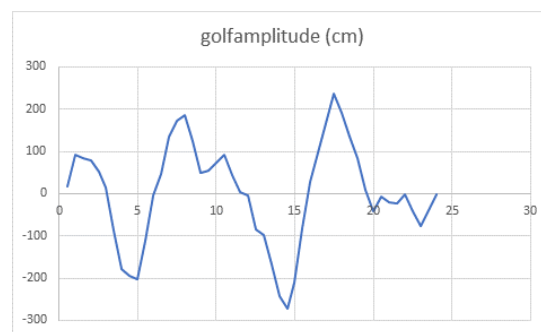
Toegevoegde watermassa:

TW59 Toegevoegde watermassa 5.9 m schuif
TW89 Toegevoegde watermassa 8.9 m schuif
TW119 Toegevoegde watermassa 11.9 m schuif

Positief verval:

PVxx Positief verval met xx belasting t.g.v. positief verval in kN/m²

De tijdreeks volgens opgave RWS is de door Krijn Saman geconstrueerde tijdreeks zoals hieronder weergegeven.



L Optimalisatie methode draagbeeld schuifaanslagen

In deze bijlage is de optimalisatie methode uiteengezet voor het aanpassen van de schuifaanslagen in 2019. Bij deze optimalisatie is uitgegaan van een aanpassing van de bestaande blokken, zodanig dat de schuifaanslagen een zo gunstig mogelijke draagbeeld geven rekening houdend met de verwachte draagkracht van de betonconstructie.

Auteur: PT-Structural

M Effect hoogte toleranties schuifaanslagen

In deze bijlage is het effect van hoogte toleranties van de schuifaanslagen onderzocht. Uitgaande van een uniform spelingsbeeld (spelingsbeeld 0) is telkens de hoogte van één complete schuifaanslag vergroot met 0,5 of 1,0 mm (gekleurde velden in de tabel). De toename van de kracht per halve schuifaanslag of de complete onderste aanslag 0 is bepaald voor de statische UGT reactiekrachten.

Uit de berekening volgt dat ten gevolge van de tolerantie van 1 mm de reactiekracht toeneemt met een waarde van 233 - 583 kN. Doordat de aanslagen nooit over de volledige lengte 1 mm uitsteken ten opzichte van de aansluitende aanslagen lijkt een toeslag van 500 kN voorlopig reëel. Deze toeslag op de reactiekracht geldt per halve schuifaanslag en voor de onderste aanslag 0 voor de gehele aanslag.

Auteur: PT-Structural

N Effect stijfheid eindhar

Bij de bepaling van de aanpassingen aan de schuifaanslagen (zie bijlage L) wordt gebruik gemaakt van een "eenvoudig" model met een oneindig stijve eindhar. Uit de berekeningen met het model met een elastisch model van de schuif incl. eindhar is gebleken dat de verdeling van de reactiekrachten echter wordt beïnvloed door de stijfheid van de eindhar.

In deze bijlage is het effect van de stijfheid van de eindhar op de verdeling van de reactiekrachten van de schuifaanslagen onderzocht. Daartoe zijn twee berekening uitgevoerd bij gelijke belastingen. Een maal met een oneindig stijve eindhar en een maal met een elastisch model voor de schuif incl. eindhar.

Uit een vergelijking van de resultaten blijkt dat aan de Oosterschelde zijde de reactiekrachten volgens het elastisch model maximaal ongeveer 10% hoger zijn dan deze volgens het oneindig stijve model. Deze verhoging treedt op ter plaatse van de vakwerken in de kerende wand.

Omdat het een herverdeling van de krachten betreft is besloten de reactiekrachten van de halve schuifaanslag uit het oneindig stijve model bij de toetsing te verhogen met een kracht gelijk aan 5% van de onderliggende halve schuifaanslag en 5% van de bovenliggende halve schuifaanslag.

Auteur: PT-Structural

O Resultaten berekeningen aanpassing schuifaanslagen

In deze bijlage zijn de resultaten gegeven van de optimalisatie van het draagbeeld voor de schuiven H4 en R10. Ten behoeve van de toetsing van de betonconstructie en ter controle van de optimalisatie zijn ook de reactiekrachten gegeven die volgen uit de optimalisatieprocedure.

Of de constructie voldoet aan de waterwet is met deze berekening nog niet bewezen. Dit moet nog worden aangetoond met een volledig probabilistische berekening, waarbij ook nog de onzekerheden aan de sterkte kant en het aantal schuiven moet worden meegenomen.

Auteur: PT-Structural

P Beoordeling dynamische belasting hefcilinder

In deze bijlage is een memo opgenomen over de beoordeling van de dynamische belasting op de hefcilinder.

Auteur: PT-Structural

Q Verbeterd spelingsbeeld

Deze bijlage bevat de grafieken van de berekeningsresultaten voor het verbeterd spelingsbeeld van de drie representatieve spelingsbeelden. Voor de legenda zie bijlage K.

R Lage veerstijfheid

Deze bijlage bevat de grafieken van de berekeningsresultaten voor aanslagen met een lage veerstijfheid (representatief spelingsbeeld 3). Voor de legenda zie bijlage K.

Voor de lage veerstijfheid is uitgegaan van de oude “harde” schuifaanslagen aan de Oosterscheldezijde van het oorspronkelijke ontwerp (ontwerp 1).

De effectieve veerstijfheid van de schuifaanslagen van het oorspronkelijk ontwerp lag op ca. $3200 / 10 = 320$ kN/mm en was onafhankelijk van de belastingsnelheid.

Voor de huidige schuifaanslagen (ontwerp 2) hebben we gerekend met een effectieve veerstijfheid van:

- Statisch: 1882 kN/mm
- Dynamisch: 4116 kN/mm

De stijfheidsverhouding tussen de huidige en de oorspronkelijke schuifaanslagen bedraagt daarmee:

- Statisch: $1882 / 320 = 5.9$
- Dynamisch: $4116 / 320 = 12.9$

S Schuifaanslagen met een beperkt aantal hoogtes

Deze bijlage bevat de resultaten van de haalbaarheidsstudie naar de toepassing van schuifaanslagen met een beperkt aantal verschillende uniforme hoogtes.

Voor de veerstijfheid van de schuifaanslagen is uitgegaan van de oude “harde” schuifaanslagen aan de Oosterscheldezijde van het oorspronkelijke ontwerp (ontwerp 1).

Auteur: PT-Structural