



Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Griffioenlaan 2
3526LA Utrecht
Postbus 2232
3500 GE Utrecht
T 088-7972111
F

www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon
ir. Harris Bouras, M.Sc.
Senior Staalconstructeur

T 0650166109
harris.bouras@rws.nl

Datum
18 mei 2020

nota

Uitgangspuntennota Beoordeling Droogzetkuip
Haringvlietluis
Versie 2.0 - Definitief

Inhoud

1	Algemeen	3
1.1	Beschrijving	3
1.2	Doel	3
2	Referentiedocumenten	4
2.1	Normen en Richtlijnen	4
2.2	Informatieve Documenten	4
3	Uitgangspunten van Beoordeling	5
3.1	Gevolgklasse	5
3.2	Beoordelingsniveau	5
3.3	Overige Uitgangspunten	5
4	Geometrie en Model	7
4.1	Constructie	7
4.2	SCIA Model	8
4.3	Oplegsysteem	8
4.3.1	Berekening van de veerwaarde van de rubbers	9
4.3.2	Dwars op de as van de sluis	10
4.3.3	Langs de as van de sluis	11
4.3.4	Verticaal	12
5	Materialen	14
5.1	Staal	14
5.2	Rubbers	14
6	Belastingen	15
6.1	Overzicht	15
6.2	Permanente Belastingen	15
6.2.1	Eigen Gewicht Staal en Rubbers	15
6.2.2	Ballast	16

6.2.3	Opdrijvende Kracht	16	
6.3	Veranderlijke Belastingen	17	
6.3.1	Hydrostatische Belasting	17	
6.3.2	Golfbelasting	18	
6.3.3	Wind	18	
6.3.4	Belasting op Rooster en Trap	19	
7	Belastingcombinaties	21	
7.1	Combinaties Volgens Richtlijnen Rijkswaterstaat	21	
7.2	Richtlijnen volgens RBK	21	
8	Toetsing	24	

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

1 Algemeen

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

1.1 Beschrijving

De Haringvlietsluizen, onderdeel van de Deltawerken, bestaan uit 17 openingen met in totaal 34 waterkerende stalen schuiven. Deze schuiven zijn te aan volledig nieuwe conservering (2023). Tegelijk met het conserveren van de schuiven, is het gewenst ook om de aanwezige pijlerwandverwarming te verwijderen. Deze was ooit bedoeld om vorstvorming te voorkomen zodat de zijafdichting aan te pijler niet zou vastvriezen. Echter, is de verwarming onderhevig aan corrosie met schade aan de zijafdichtingen als gevolg.

Voor het onderhouden van de pijlerwandverwarming, maar ook dilatatievoegen in de naastgelegen Goereesesluis, is in de jaren '90 een stalen droogzetkuipconstructie gebouwd, zie ook onderstaande figuur, die tegen de zijwand van een pijler/sluiskolk kon worden geplaatst.



Figuur 1 Droogzetkuip – foto's

De droogzetkuip is al 25jaar oud en oorspronkelijk ontworpen volgens oude normen. Het is dus noodzakelijk om te beoordelen of het nog veilig is om te gebruiken.

Om de constructieve veiligheid van de constructie te beoordelen is eerst naar de oorspronkelijke berekeningen gekeken. De conclusie was dat deze berekeningen onvoldoende en onvolledig zijn om de veiligheid te bevestigen. Verder dient aan de huidige Normen en Veiligheidsvoorschriften te worden voldaan. Op basis van de beschikbare berekeningen is dat niet te toetsen of aan te tonen. Een herberekening, op basis van de huidige Normen, van de droogzetkuip is daarom nodig.

1.2 Doel

Het doel van dit document is het vastleggen van de uitgangspunten van de beoordeling van de constructieve veiligheid van de droogzetkuipconstructie. De gebruikte normen, richtlijnen en achtergronddocumenten worden vermeld; de belastingen en belastingcombinaties worden bepaald; de overige aannames worden vastgesteld.

2 Referentiedocumenten

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

2.1 Normen en Richtlijnen

- [1] RTD 1006:2013 – Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken (RBK 1.1) – versie 1.1, 27 mei 2013.
- [2] RTD 1001:2017 – Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK 1.4) – versie 1.4, april 2017.
- [3] Het Keuren van Keermiddelen – versie 1.1, november 2018.
- [4] NEN 8700:2011 - Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen.
- [5] NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019 - Eurocode: Grondslagen voor het constructief ontwerp (+ Nationale Bijlage).
- [6] NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011 - Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting (+ Nationale Bijlage).
- [7] NEN-EN 1993-1-1+C2+A1:2016 - Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen (+ Nationale Bijlage).
- [8] NEN-EN 1993-1-5+C1:2012 - Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-5: Constructieve plaatvelden (+ Nationale Bijlage).
- [9] NEN-EN-ISO 14122-2:2016 – Veiligheid van machines – Permanente toegangsmiddelen tot machines – Deel 2: Werkbordessen en looppaden.
- [10] NEN-EN-ISO 14122-4:2016 – Veiligheid van machines – Permanente toegangsmiddelen tot machines – Deel 4: Vaste ladders.

2.2 Informatieve Documenten

- [11] Einddokumentatie Droogzetkuip Haringvlietsluizen ZHa 5827 – Document No. 02021.745 wijz. A – Oorspronkelijk ontwerprapport.
- [12] Oorspronkelijke ontwerptekeningen.
- [13] Dejo presrooster brochure.
- [14] Droogzetkuip Haringvlietsluis, Plan van Aanpak, v.1.0, 28 februari 2020.
- [15] Ontwerp van Schutsluizen, Rijkswaterstaat.
- [16] Shibata Fender Team Product Catalogue.

3 Uitgangspunten van Beoordeling

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

3.1 Gevolgklasse

Voor de classificatie van de constructie tot een gevolgklasse wordt er gekeken naar NEN-EN 1990+NB (Ref.[5]), NEN 8700 (Ref.[4]), ROK (Ref.[2]) en RBK (Ref.[1]).

Referenties [5] (Tabel NB.23) en [4] (Tabel NB.20 en NB.21) geven algemene informatie over de indeling van constructies; volgens deze Normen, behoort de droogzetconstructie tot Gevolgklasse CC2 (Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens).

Referentie [1] (RBK), in paragraaf 2.7.1, geeft dat "het hoofddraagstelsel altijd voor CC3 moet worden beoordeeld". Echter, is het toepassingsgebied van de huidige versie van de RBK beperkt tot betonnen en stalen bruggen.

Volgens Ref. [2] (ROK), paragraaf 4.3 en 5.10, dienen natte kunstwerken te voldoen aan gevolgklasse CC3. Verder, in paragraaf 5.6, als aanvulling op NEN-EN 1991-1-6 – Belastingen tijdens Uitvoering, "Bij de berekening van hulpconstructies moet worden uitgegaan van CC3 voor constructies in en boven een in gebruik zijnde hoofd(vaar)weg".

Het is gekozen om de droogzetkuip tot gevolgklasse CC3 te classificeren, omdat dit een hulpconstructie in een in gebruik zijnde hoofdvaarweg betreft.

Afhankelijk van de resultaten van de analyse, kan in een later stadium gekeken worden naar de mogelijkheid de gevolgklasse naar CC2 te verlagen, met bijbehorende maatregelen.

3.2 Beoordelingsniveau

Het gekozen beoordelingsniveau is "gebruikniveau" volgens Ref. [1], paragraaf 1.5. De bijbehorende betrouwbaarheidsindex bedraagt $\beta=3,3$.

Behalve de beoordeling volgens RBK, Gebruikniveau, CC3 en CC2, wordt er gekeken naar de beoordelingsniveau beschreven in "Het Keuren van Keermiddelen", Richtlijnen Rijkswaterstaat, Ref.[3].

3.3 Overige Uitgangspunten

Voor de beoordeling van de droogzetkuip gelden, verder, de onderstaande uitgangspunten en aannames:

- Eerst wordt naar de hoofddraagconstructie gekeken. Afhankelijk van de resultaten, wordt het besloten of naar details gekeken wordt.
- De berekening betreft de beoordeling van de hoofddraagconstructie en een aantal details.
- Voor de werkzaamheden binnen- en buiten de scope wordt verwezen naar Ref.[14].
- Er is geen uitgebreide inspectie uitgevoerd; middels visuele inspectie zijn er geen indicaties van materiaalafname geconstateerd. Echter, is de binnenruimte van de pijpen niet toegankelijk. Afhankelijk van de resultaten van de analyse, wordt in een latere stadium besloten of een uitgebreide inspectie noodzakelijk is.
- Het is aangenomen dat de thermische belastingen verwaarloosbaar invloed op de constructie hebben.
- Er wordt geen rekening gehouden met het geval van aanvaring op de constructie; de beheerder dient, echter, gepaste maatregelen te nemen (waarschuwingsborden, verlichting, stremming van vaarverkeer, ea).

- De z-kwaliteit van de staal van de constructie is niet bekend; door de beperkte periode van belasting is, echter, delaminatie niet verwacht.
- De huidige beoordeling van de constructie betreft alleen de statische sterkte en plaatstabiliteit in de situatie waar de constructie tegen de muur van de sluis ligt en in gebruik is; transport, drijven, globale stabiliteit zijn geen onderdeel van de berekening.
- De wrijving tussen rubbers (afdichtingen) en betonnen wanden wordt genegeerd.

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

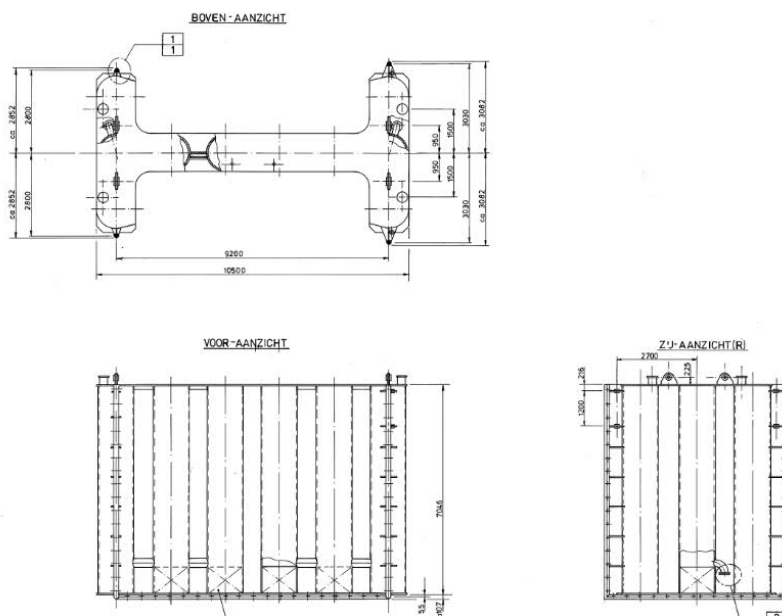
4 Geometrie en Model

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

4.1 Constructie

De H-vormige constructie bestaat uit een combinatie van waterkerende staalplaten en buizen (vergelijkbaar met een combi damwand), zie ook de onderstaande figuur.

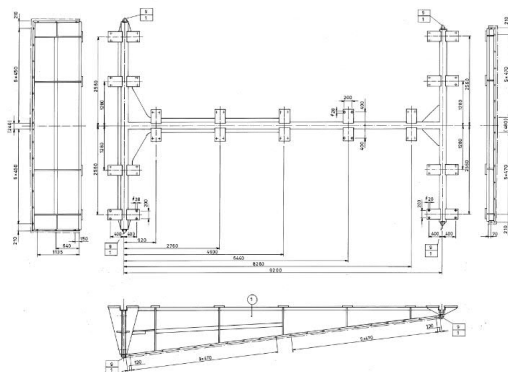


Figuur 2 Droogzetkuip – ontwerptekeningen

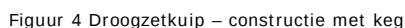
De staalbuizen ($\Phi 1219 \times 9,5$) kunnen (deels) gevuld worden met water om de constructie te laten afzinken. Middels perslucht ("blow-out") wordt het water verdrongen uit de buizen en de constructie wordt zo weer opgedreven.

De constructie is 10,5m lang, 5,60m breed en 7,05m hoog.

De droogzetkuip kan in rechte bodem en wanden van de sluis gebruikt worden. In het geval van schuine bodem en wanden, wordt de constructie uitgebreid met "flappen" en een keg, zie ook Figuur 3 en Figuur 4.



Figuur 3 Droogzetkuip – keg



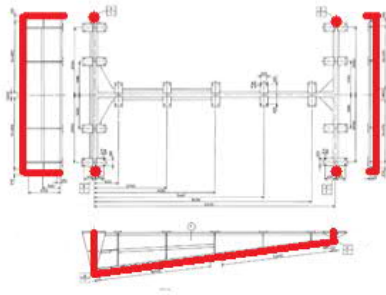
4.2

De constructie wordt gemodelleerd in het rekenprogramma (EEM) SCIA Engineer, versie 17.1.1073.

De constructie, inclusief de pijpen, wordt uitsluitend met schaal elementen gemodelleerd; dit vereist meer rekentijd en rekenprestaties ten opzichte van een model met balk elementen, maar de resultaten, vooral wat de plaatstabiliteit betreft, zijn nauwkeuriger en meer betrouwbaar.

Oplegsysteem

RWS BEDRIJFSVERTROUWELIJK



4.3.1

De afdichtingsrubbers gedragen zich als een verende ondersteun voor de constructie. Om de correcte distributie van de reactiekrachten, en dus de juiste krachtswerking op de constructie, te bepalen, wordt de waarde van de veerstijfheid hier berekend.

RWS BEDRIJFSVERTROUWELIJK

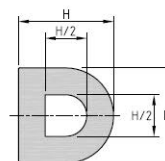
D FENDERS.

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

DD FENDER DIMENSIONS AND PERFORMANCE VALUES

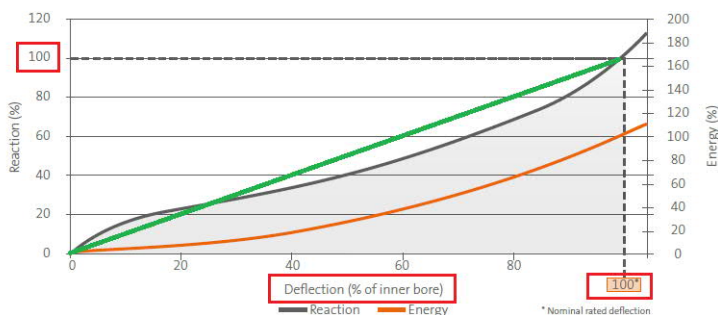
H [mm]	B [mm]	C [mm]	D1 [mm]	D2 [mm]	E [mm]	F [mm]	J* [mm]	ED* [mm]	Flat Bar [mm]	An- chors	Weight [kg/m]	Energy [kJ/m]	Reaction [kN]
100 x 100	25.0	30	18	24	25	10	200-300	90-130	40 x 5	M12	8.3	1.4	77
150 x 150	37.5	40	24	32	30	12	250-350	110-150	50 x 8	M16	18.0	3.2	115
200 x 200	50.0	50	30	40	45	15	300-400	130-180	70 x 10	M20	32.0	5.7	153
250 x 250	62.5	60	36	48	50	20	350-450	140-200	90 x 12	M24	50.0	8.9	191
300 x 300	75.0	60	36	48	60	25	350-450	140-200	100 x 12	M24	72.0	12.9	230
350 x 350	87.5	75	45	60	70	25	350-450	140-200	130 x 15	M30	103.6	17.6	268
380 x 380	95.0	75	45	60	80	30	350-450	140-200	140 x 15	M30	122.1	20.0	286
400 x 400	100.0	75	45	60	80	30	350-450	140-200	150 x 15	M30	128.0	23.0	306
500 x 500	125.0	90	54	72	90	40	400-500	160-230	180 x 20	M36	200.0	35.9	383

* For fixing details see p.83 Performance values for single units of 1,000 mm length



Datum
18 mei 2020

GENERIC PERFORMANCE CURVE EXTRUDED FENDERS



Figuur 8 Eigenschappen D-Fender 100x100, SFT Product Catalogue

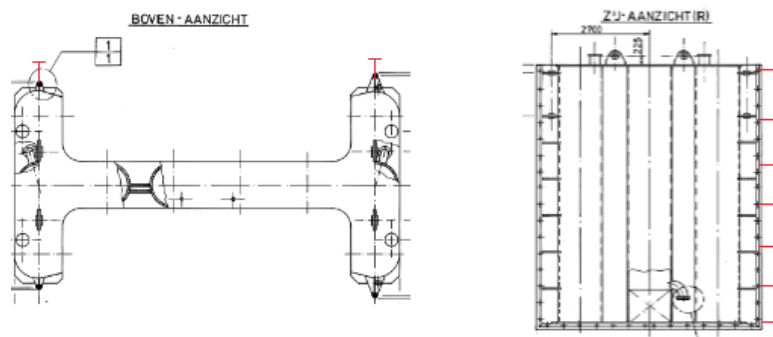
4.3.2

Dwars op de as van de sluis

De randvoorwaarden zijn met rode kleur in de volgende figuren aangegeven.

Constructie zonder keg en flappen

De constructie wordt door de hydrostatische belastingen tegen de betonnen wand gedrukt. De D-Fenders op de zijkanten van de droogzetkuip dienen als verende lijnsteun.



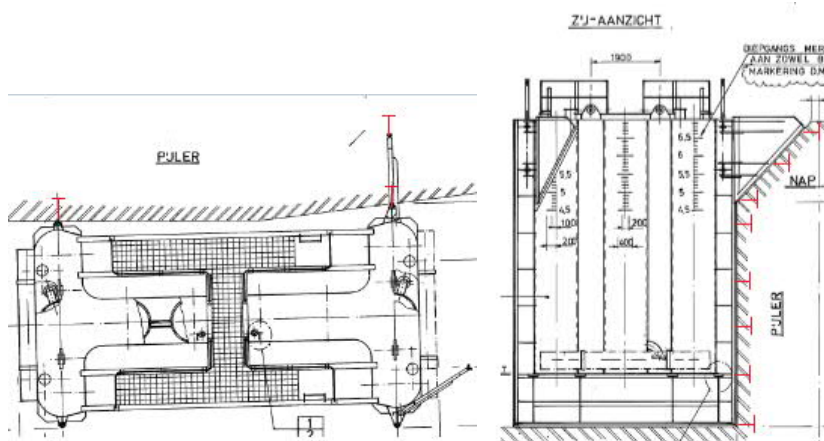
Figuur 9 Randvoorwaarden – dwars op de as van de sluis – constructie zonder keg en flappen

Constructie met keg en flappen

De constructie wordt door de hydrostatische belastingen tegen de betonnen wand gedrukt. De D-Fenders op de zijkanten van de droogzetkuip en de rubber van de flap dienen als verende lijnsteun.

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020



Figuur 10 Randvoorwaarden – dwars op de as van de sluis – constructie met keg en flappen

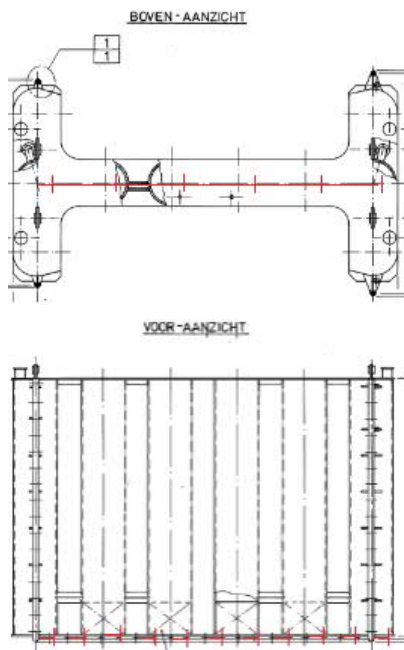
4.3.3

Langs de as van de sluis

De randvoorwaarden zijn met rode kleur in de volgende figuren aangegeven.

Constructie zonder keg en flappen

In de situatie zonder keg (rechte bodem) is de resultante van de horizontale reactiekrachten gelijk aan nul (symmetrische belasting). Om het model, echter, te laten berekenen en singulariteit te voorkomen is de onderrand van de constructie vastgezet in de richting langs de as van de sluis.



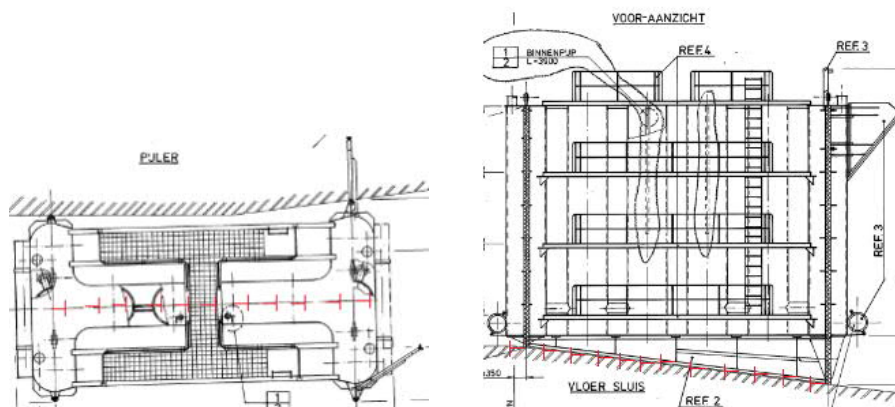
Figuur 11 Randvoorwaarden – langs op de as van de sluis – constructie zonder keg en flappen

Constructie met keg en flappen

In de situatie met keg (schuine bodem) worden alle horizontale belastingen (langs de as van de sluis) door de horizontale component van de schuine fender op de bodem van de keg opgenomen.

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020



Figuur 12 Randvoorwaarden – langs op de as van de sluis – constructie met keg en flappen

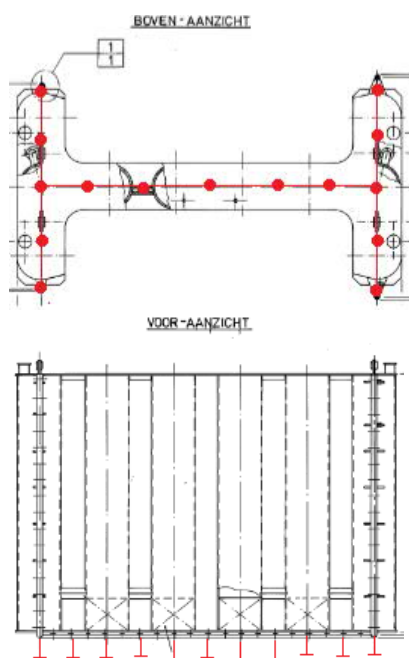
4.3.4

Verticaal

De randvoorwaarden zijn met rode kleur in de volgende figuren aangegeven.

Constructie zonder keg en flappen

De verticale belastingen worden door de fender in de onderrand van de droogzetkuip opgenomen.



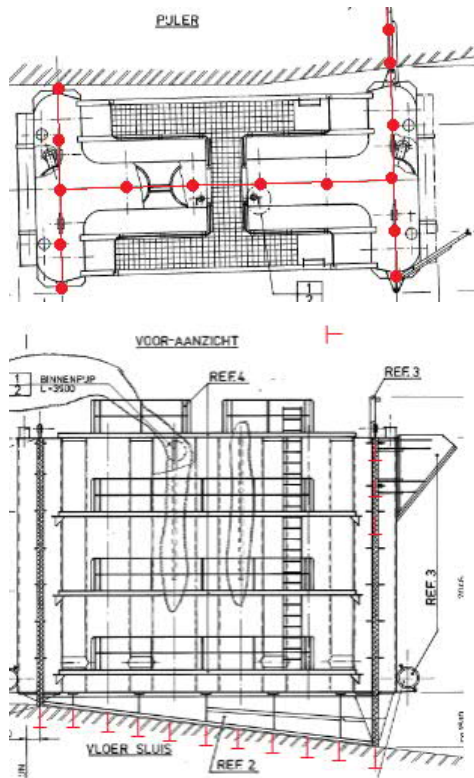
Figuur 13 Randvoorwaarden – verticaal – constructie zonder keg en flappen

Constructie met keg en flappen

De verticale belastingen worden door de fender in de onderrand van de droogzetkuip en de rubber van de flap opgenomen.

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020



Figuur 14 Randvoorwaarden – verticaal – constructie met keg en flappen

5 Materialen

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

5.1 Staal

De pijpen bestaan uit staal API 5L Gr.b met een vloeigrens van 240MPa.
De overige platen en profielen bestaan uit RSt37-2 dat overeenkomt met S235JR met een vloeigrens (voor de toegepaste diktes) van 235MPa.
Voor de Z-kwaliteit van staal zie de bijbehorende aannname in paragraaf 3.3.

5.2 Rubbers

De overige afdichtingen van de constructie bestaan uit rubbers. Voor de berekening van de veerwaarde van de d-fender i.v.m. ondersteuning van de droogzetkuip wordt verwezen naar paragraaf 4.3.1.

6 Belastingen

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

6.1 Overzicht

In de onderstaande tabel zijn de relevante voor de beoordeling van de constructie belastingen weergegeven.

Tabel 1 - Belastingen

	Belastinggeval
Permanente Belastingen	Eigen Gewicht Staal en Rubbers
	Ballast
	Opdrijvende Kracht
Veranderlijke Belastingen	Hydrostatische Belasting
	Golfbelasting
	Wind
	Belasting op Rooster en Trap

Opmerking: De opdrijvende kracht is beschouwd als permanente belasting (wel als functie van de waterpeil), volgend Ref. [15], hoofdstuk 12.

6.2 Permanente Belastingen

6.2.1 Eigen Gewicht Staal en Rubbers

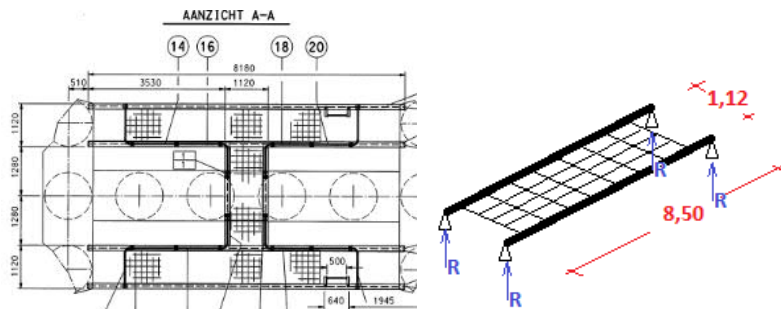
Het eigen gewicht van staal is gelijk aan 7850kg/m^3 ; om conservering, lassen, kleine details, e.a. in rekening te nemen wordt een "contingency" toeslag van 10% toegepast.

Het eigen gewicht van de afdichtingsprofielen (rubbers) wordt als verwaarloosbaar beschouwd ten opzichte van het totale gewicht van de constructie en wordt niet aan het model toegebracht.

Het eigen gewicht van de rooster en leuning wordt ook in rekening genomen.

Volgens Ref. [13] is het eigen gewicht van een rooster R3-30/30*30 gelijk aan $30\text{kg/m}^2 = 0,3\text{kN/m}^2$. Om het gewicht van de leuning en bevestigingen in rekening te nemen is dit met 30% verhoogd, naar $0,39\text{kN/m}^2$.

Elke rooster is gesteund door twee horizontale balken bevestigd op de buizen; de h.o.h. afstand van de balken bedraagt ca. 1,12m en de lengte ca. 8,5m, zie ook onderstaande figuur.



Figuur 15 Rooster en balken

Deze belasting wordt als puntlast (R) in het model aangebracht. De puntlast bedraagt $R = 0,5 * (0,5 * 1,12\text{m} * 8,5\text{m} * 0,39\text{kN/m}^2) = 0,85\text{kN}$.

In principe treden drie verschillende ballastbelastingen op:

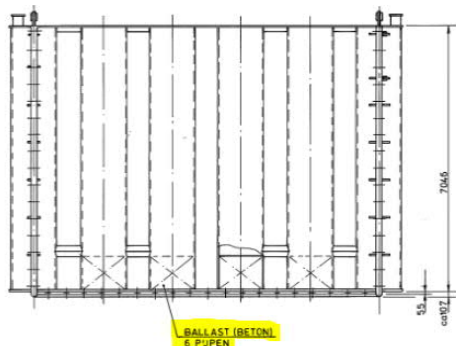
- Het gewicht van beton binnen de 6 buizen in het midden: deze 6 buizen zijn deels gevuld met beton;
- De extra ballastbalk op de onderplaat: twee stalen buizen gevuld met beton en middels boutverbinding bevestigd op de onderplaat; en
- Het gewicht van het water binnen de buizen, gebruikt voor het afzinken van de hele constructie.

Datum
18 mei 2020

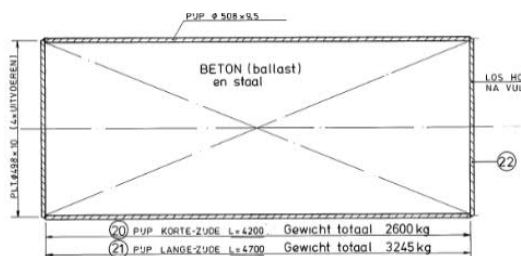
In het geval (a), zie ook Figuur 16, zijn de buizen gevuld met beton tot een hoogte van ca. 700m. Het eigen gewicht van beton is als oppervlak belasting op de belaste deel van de onderplaat toegepast (binnen de pijpen), met een waarde van: $q_{ba}=24\text{kN/m}^3 \cdot 0,7\text{m}=16,8\text{kN/m}^2$.

Voor de ballast door de ballastbalken wordt verwezen naar tekening 02021-325-003 (zie ook Figuur 17). Elke balk wordt op twee ophangpunten bevestigd. Het gewicht wordt als puntlasten gemodelleerd: $F=26\text{kN}/2=13\text{kN}$ voor de korte zijde en $F=32,5\text{kN}/2=16,3\text{kN}$ voor de lange zijde.

In het geval (c), worden de pijpen deels gevuld met water om de hele constructie de laten zinken. Conservatief wordt aangenomen dat de pijpen vol met water worden; dit leidt tot een oppervlak belasting van $q_{bc} = 10\text{kN/m}^3 \cdot (7\text{m} - 0,7\text{m}) = 63\text{kN/m}^2$. De totale oppervlak belasting door ballast bedraagt dus: $q = 16,8 + 63 = 79,8\text{kN/m}^2$.



Figuur 16 Ballast – beton in de pijpen



Figuur 17 Ballast – ballastbalken

6.2.3 Opdrijvende Kracht

De oprijvende kracht op de constructie is afhankelijk van de onderdompeling; het volume van staal dat onder water zit is in de onderstaande Tabel berekend. De pijpen zijn luchtdicht.

Datum
18 mei 2020

Tabel 2 – Onderdamping zonder keg

waterpeil=	6,3 m				
Onderdeel	stuks	B [m]	H [m]	t [mm]	V [m ³]
plaat midden	5	0,621	6,3	0,012	0,23
plaat zijden	4	0,681	6,3	0,012	0,21
onderplaat midden	1	1,3	7,9	0,03	0,31
onderplaat zijden	2	1,3	5,42	0,03	0,42
pijpen (waterdicht)	10	1,21	6,3		7,24
ballastpijpen	2	0,508	4,45		0,90
SOM					9,32
Toeslag voor schotten	20%				11,18

De oprijvende kracht bedraagt dus $11,18\text{m}^3 \cdot 10\text{kN/m}^3 = 112\text{kN}$. Dit wordt als oppervlak belasting op de onderplaat toegepast. De oppervlak van de onderplaat is gelijk aan $1,3\text{m} \cdot (2 \cdot 5,42\text{m} + 7,9\text{m}) = 24,4\text{m}^2$, dus de belasting bedraagt: $q = 112\text{kN} / 24,4\text{m}^2 = 4,6\text{kN/m}^2$.

Tabel 3 – Onderdamping met keg

waterpeil=	6,3 m				
Onderdeel	stuks	B [m]	H [m]	t [mm]	V [m ³]
plaat midden	5	0,621	6,3	0,012	0,23
plaat zijden	4	0,681	6,3	0,012	0,21
onderplaat midden	1	1,3	7,9	0,03	0,31
onderplaat zijden	2	1,3	5,42	0,03	0,42
pijpen (waterdicht)	10	1,21	6,3		7,24
ballastpijpen	2	0,508	4,45		0,90
keg plaat 1	1	5,6	1,285	0,02	0,14
keg plaat 2	1	9,2	0,71	0,02	0,13
keg plaat 3	1	5,6	0,135	0,02	0,02
vert schot 1	4	0,85	1,285	0,01	0,02
vert schot 2	5	0,85	0,71	0,01	0,02
vert schot 3	4	0,85	0,135	0,01	0,00
hor schot 1	2	0,915	1,275	0,012	0,01
hor schot 2	2	0,5	0,5	0,012	0,00
SOM					9,66
Toeslag voor schotten	20%				11,60

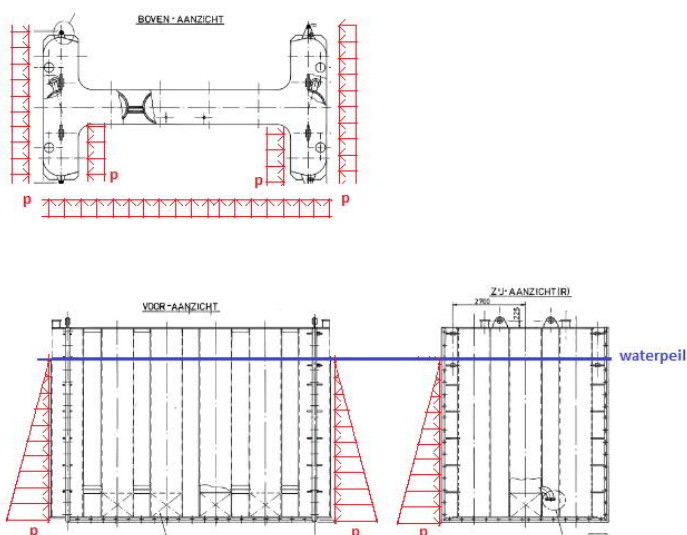
De oprijvende kracht bedraagt dus $11,60\text{m}^3 \cdot 10\text{kN/m}^3 = 116\text{kN}$. Dit wordt als oppervlak belasting op de onderplaat toegepast. De oppervlak van de onderplaat is gelijk aan $1,3\text{m} \cdot (2 \cdot 5,42\text{m} + 7,9\text{m}) = 24,4\text{m}^2$, dus de belasting bedraagt: $q = 116\text{kN} / 24,4\text{m}^2 = 4,75\text{kN/m}^2$.

6.3 Veranderlijke Belastingen

6.3.1 Hydrostatische Belasting

Met de opdrachtgever (contactpersoon: Niels Kuiken) is afgestemd om de waterpeil gelijk aan NAP+0,80m te hanteren voor de beoordeling van de droogzetkuip.

Dit betekent dat de waarde van de hydrostatische belasting gelijk aan $p = \rho \cdot g \cdot H = 1000\text{kg/m}^3 \cdot 10\text{m/s}^2 \cdot (5,5\text{m} + 0,8\text{m}) = 63\text{kN/m}^2$ is. De hydrostatische belasting heeft een driehoekige vorm en wordt als oppervlak belasting toegepast (radiaal), zie ook de onderstaande figuur.

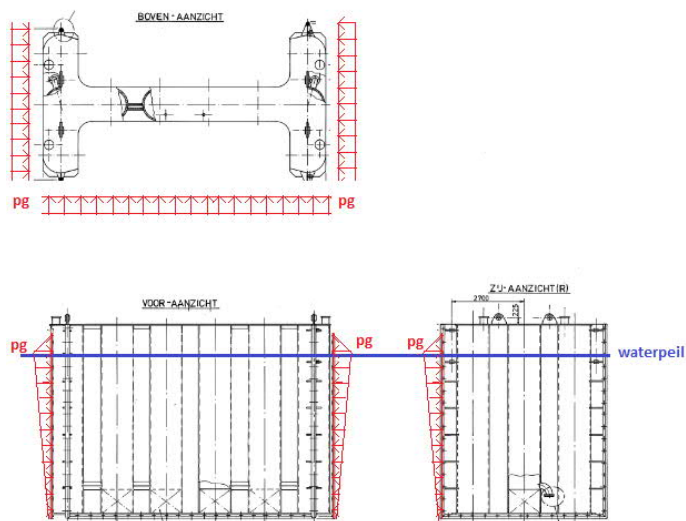


Figuur 18 Hydrostatische belasting – $p=63,0\text{kN/m}^2$.

6.3.2

Golfbelasting

Voor de golfbelasting zijn er geen gegevens beschikbaar (golfhoogte, frequentie, ea). Uit eerdere ervaring van andere projecten en in afstemming met waterbouwkundige ingenieurs is gekozen om een golfbelasting gelijk aan 0,50m te hanteren; de vorm van de belasting is gegeven in Figuur 19. Voor de maximale waarde van de belasting is gekozen om 10% van de hydrostatische belasting te hanteren, dus $p_g=0,10 \cdot 63\text{kN/m}^2 = 6,3\text{kN/m}^2$. Dit percentage komt ook uit eerdere ervaring. Verder, is de invloed van de golfbelasting klein ten opzichte van de dominante hydrostatische belasting.



Figuur 19 Golfbelasting – $p_g=6,30\text{kN/m}^2$.

6.3.3

Wind

De windbelasting is berekend volgens NEN-EN 1991-1-4 en NB (Ref.[6]).
De locatie van de constructie behoort tot windgebied II volgens Figuur NB.1.
Volgens Tabel NB.1 is de windsnelheid gelijk aan $v_{b,0}=27\text{m/s}$.
Conservatief wordt geen correctie (reductie) voor de referentieperiode gehanteerd.
De extreme stuwdruk is berekend volgens Tabel NB.5, waar voor een hoogte van 2m (boven NAP) en kustgebied geldt dat $q_p(z_e)=0,93\text{kN/m}^2$:

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

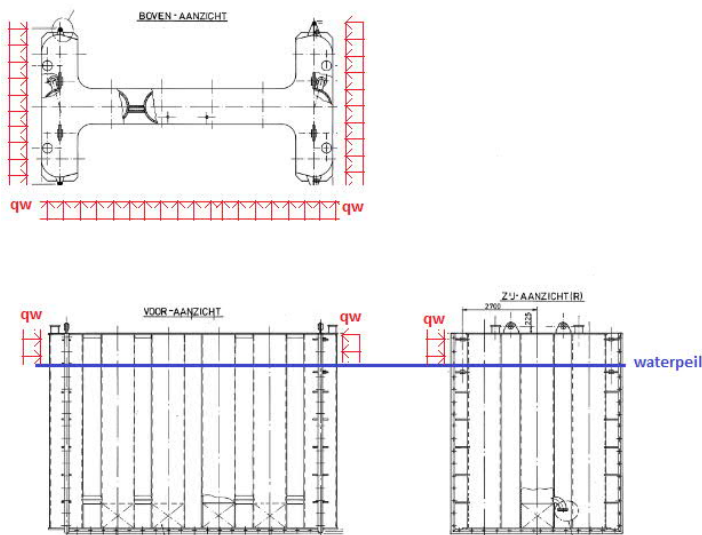
Datum
18 mei 2020

Tabel 4 – Extreme stuwdruk, Ref.[6]

Tabel NB.5 — Extreme stuwdruk in kN/m^2 als functie van de hoogte

Hoogte m	Gebied I			Gebied II			Gebied III	
	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Onbebouwd	Bebouwd
1	0,93	0,71	0,69	0,78	0,60	0,58	0,49	0,48
2	1,11	0,71	0,69	0,93	0,60	0,58	0,49	0,48

Volgens paragraaf 5.2 van Ref.[6] is de winddruk op de buitenzijde gelijk aan $w_e=q_p(z_e)*c_{pe}$, waar c_{pe} is de drukcoëfficiënt. Voor c_{pe} is een waarde van 1,4 gehanteerd, volgens Tabel NB.6-7.1.
De winddruk dus bedraagt $w_e=0,93\text{kN/m}^2*1,4=1,30\text{kN/m}^2$. Deze belasting wordt als oppervlak belasting toegepast op de externe deel van de constructie boven de waterpeil, zie ook de onderstaande figuur:



Figuur 20 Windbelasting – $q_w=1,30\text{kN/m}^2$.

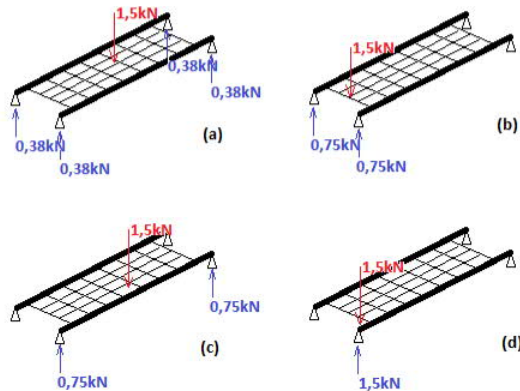
Om het totale aantal van belastingcombinaties te reduceren is gekozen om het wind in twee richtingen niet apart te combineren, maar in het zelfde belastinggeval te modeleren. De invloed van de windbelasting is gering.

6.3.4

Belasting op Rooster en Trap

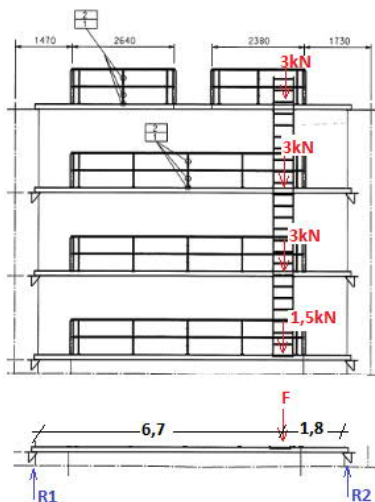
De belasting op de rooster is gebaseerd op NEN-EN-ISO 14122-2 (Ref.[9]).
Volgens paragraaf 4.2.5, moet minimaal een oppervlak belasting (UDL) van 2kN/m^2 en een puntlast van $F=1,5\text{kN}$ in rekening worden genomen.

De UDL belasting wordt als puntlast (R) in het model aangebracht, zie ook 6.2.1. De puntlast bedraagt $R = 0,5 \cdot (0,5 \cdot 1,12 \text{ m} \cdot 8,5 \text{ m} \cdot 2 \text{ kN/m}^2) = 4,75 \text{ kN}$. Voor de puntlast worden 4 gevallen beschouwd (zie ook Figuur 21): (a) puntlast in het midden van de rooster; (b) puntlast in het midden van de rooster nabij de ondersteuning; (c) puntlast in het midden van de buitenste balk, en (d) puntlast op de ondersteun van de buitenste ligger.



Figuur 21 Puntlast op de rooster

De belasting op de constructie door de trap is volgens NEN-EN-ISO 14122-4 (Ref. [10]) bepaald. Volgens 5.1.2 worden twee puntlasten van 1,5 kN op een afstand van 2,0 m toegepast. Bij de locatie van de bevestiging op de roosterbalken wordt dus een puntlast van 3 kN aangebracht (met uitzondering van de onderste balk waar de puntlast 1,5 kN bedraagt) en de reactiekrachten op de oplegpunten van de roosterbalken worden als puntlasten op de droogzetkuipconstructie gemodelleerd:



Figuur 22 Belasting door de trap

$R_1 = F \cdot (1,8/8,5) = 0,21 \cdot F$ en $R_2 = F - R_1 = 0,79 \cdot F$. Voor $F = 3 \text{ kN}$ geldt dat $R_1 = 0,65 \text{ kN}$ en $R_2 = 2,35 \text{ kN}$, en voor $F = 1,5 \text{ kN}$ is $R_1 = 0,33 \text{ kN}$ en $R_2 = 1,18 \text{ kN}$.

7 Belastingcombinaties

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

- 7.1 Combinaties Volgens Richtlijnen Rijkswaterstaat
Volgens deze richtlijn moet ROK (Ref.[2]) en NEN-EN1990 (Ref.[5]) gebruikt te worden, niveaua Nieuwbouw en Gevolgklasse CC3 met de uitzondering voor veranderlijke belastingen waar de belastingfactor van Gevolgklasse CC2 moet gehanteerd worden; dit leidt tot de onderstaande combinaties:

Tabel 5 – Belastingcombinatie Beoordeling Droogzetkuip – Richtlijnen RWS (Ref.[3])

	Belastinggeval	Belastingfactor
Permanente Belastingen	Eigen Gewicht Staal en Rubbers	1,25
	Ballast	1,25
	Oprijvende Kracht	1,25
Veranderlijke Belastingen	Hydrostatische Belasting	1,35
	Golfbelasting	1,35
	Wind	1,65
	Belasting op Rooster en Trap	1,20

Echter, in paragraaf 11.1 van de richtlijn staat: "Bovengenoemde normen en richtlijnen zijn geldig voor nieuw te bouwen constructies. Rijkswaterstaat heeft besloten deze normen ook aan te houden voor de toetsing van bestaande keermiddelen. Indien op basis van bovengenoemde normen blijkt dat bestaande keermiddelen niet voldoen kan in overleg met Rijkswaterstaat worden overwogen om de Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK), NEN 8700 en NEN8701 worden toegepast. Hierdoor is een reductie van de belastingsfactoren mogelijk". Daarom, in de onderstaand paragrafen, worden ook de bijbehorende combinaties van RBK bepaald.

- 7.2 Richtlijnen volgens RBK
De overige belastinggevallen worden gecombineerd met elkaar volgens de Tabel 1.1 van RBK (Ref.[1]).

Tabel 6 – Belastingcombinaties beoordeling voor verschillende veiligheidsniveaus – CC3 - RBK (Ref.[1])

		Blijvend 6.10 a	Blijvend 6.10 b	Verkeer	Wind	Overig veranderlijk
	β	$\gamma_{G1,sup}$	$\gamma_{G2,sup}$	γ_{Q1}	γ_{Q2}	γ_{Q3}
Nieuwbouw	4,3	1,40	1,25	1,50	1,65	1,65
Verbouw	3,6	1,30	1,15	1,30	1,60	1,50
Gebruik	3,3	1,25	1,15	1,25	1,50	1,30
Afkeur	3,1	1,25	1,10	1,25	1,50	1,30

Deze belastingsfactoren komen overeen met Gevolgklasse CC3. Om de bijbehorende factoren voor Gevolgklasse CC2 te bepalen, wordt verwezen naar NEN 8700 (Ref.[4]), Tabel A2.2.

Tabel 7 – Belastingcombinaties Afkeurniveau – NEN 8700 (Ref.[4])

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Datum
18 mei 2020

Belastingsfactoren bij afkeuren					
Belastings-combinatie	Blijvende belastingen		Verkeer	Wind	Overige variabele belasting
	Ongunstig	Gunstig			
(Vgl. 6.10a)	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{D,1}$	$\gamma_{D,1}$	$\gamma_{D,1}$
Gevolgklasse 1a/b	1,00	0,90	1,00	1,10	1,05
Gevolgklasse 2	1,10	0,90	1,10	1,30	1,15
Gevolgklasse 3	1,25	0,90	1,25	1,50	1,30
(Vgl. 6.10b)	$\xi \cdot \gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{T,1}$	$\gamma_{D,1}$	$\gamma_{D,1}$
Gevolgklasse 1a/b	1,00	0,90	1,00	1,10	1,05
Gevolgklasse 2	1,10	0,90	1,10	1,30	1,15
Gevolgklasse 3	1,15 (1,10)	0,90	1,25	1,50	1,30

De waarden tussen haakjes mogen alleen zijn toegepast bij bruggen waarvoor een omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend onder Bouwbesluit 2003 of daarvoor.

Het gebruiksniveau van RBK komt overeen met het afkeurniveau van NEN 8700; de waarden voor de belastingfactoren voor Gevolgklasse CC2 van NEN 8700 kunnen dus gebruikt worden.

Om te bepalen tot welke categorie van variabele belastingen de hydrostatische belastingen behoren (verkeer of overige variabele belastingen) wordt gekeken naar de ROK (Ref.[2]), Paragraaf 5.10 – Specifieke belastingen op natte kunstwerken, Tabel 5.8 - combinaties voor gesloten keermiddelen (zie onderstaande Tabel).

De bijbehorende belastingfactor voor de vervalbelasting bedraagt 1,50 (CC3). Deze waarde komt overeen met de waarde voor de belastingfactor van verkeer voor nieuwbouw volgens RBK, zie ook Tabel 6. Voor de beoordeling van de droogzetkuip, een belastingfactor van 1,25 voor CC3 en 1,10 voor CC2 wordt dus gehanteerd.

Tabel 8 – Combinaties Ontwerp natte kunstwerken – CC3 – ROK (Ref.[2])

belastingcombinatie	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Belasting									
Eigen gewicht (F0,F1,F2)	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Max pos vervalbelasting (MHW) (F10)	1,5								
Windgolfbelasting bij MHW (F13)									
Max neg verval (F11)		1,5							
Windgolfbelasting bij max neg verval (F13)									
Vervalbelasting bij max schutpeil (F12)			1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
Windgolfbelasting bij max schutpeil (F13)									
translatiegolf bij max schutpeil (F15)									
Verkeersbelasting /bordesbelasting (F16)	1,2	1,2	1,2	1,5	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
Windbelasting	1,65	1,65	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Voorspankracht uit bew. Werk (F33)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
Schroefstraal schip					1,5				
IJsdruk (F53)					0,8	1,5			
Krachtsopbouw langs de draais; zie (1.9)							1,5		
Aanvaren deur (F54)								1,0	
Lekraken drijfkist (F55)									1,0

De te gebruiken belastingcombinatie is in de onderstaande tabel gepresenteerd:

Rijkswaterstaat
Programma's, Projecten
en Onderhoud

Tabel 9 – Belastingcombinatie Beoordeling Droogzetkuip – RBK, Gevolgklasse CC3

Datum
18 mei 2020

	Belastinggeval	Belastingfactor
Permanente Belastingen	Eigen Gewicht Staal en Rubbers	1,15
	Ballast	1,15
	Opdrijvende Kracht	1,15
Veranderlijke Belastingen	Hydrostatische Belasting	1,25
	Golfbelasting	1,25
	Wind	1,50
	Belasting op Rooster en Trap	1,30

Tabel 10 – Belastingcombinatie Beoordeling Droogzetkuip – RBK, Gevolgklasse CC2

	Belastinggeval	Belastingfactor
Permanente Belastingen	Eigen Gewicht Staal en Rubbers	1,10
	Ballast	1,10
	Opdrijvende Kracht	1,10
Veranderlijke Belastingen	Hydrostatische Belasting	1,10
	Golfbelasting	1,10
	Wind	1,30
	Belasting op Rooster en Trap	1,15

De eerste stap voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van de droogzetkuip is een lineaire elastische analyse. De resultaten van de analyse worden beoordeeld op basis van hoogte van de optredende spanningen en vervormingen.

De berekende spanningen betreffen een volledig effectieve doorsnede van de constructieve elementen. De droogzetkuip, echter, bestaat uit plaalementen en klasse 4 pijpen, waar, vanwege lokale instabiliteit (plooi), de doorsnede niet volledig effectief is. De volgende stap van de analyse is, dus, een lineaire knik-analyse (linear buckling analysis). Op basis van deze analyse worden de (Euler) eigenvormen en eigenwaardes (critica load factors) bepaald. Een snelle vuistregel om de invloed van de lokale instabiliteit te beoordelen is de eigenwaarde: een waarde hoger dan 4 (in het geval van schaal elementen) betekent dat de constructie niet gevoelig op plooi is, terwijl een waarde lager dan of gelijk aan 1 betekent dat lokaalinstabiliteit optreedt en de betreffende element van de constructie bezwijkt.

Afhankelijk van de hoogte van de spanningen en de eigenwaardes, wordt besloten of een GMNIA analyse zal volgen; GMNIA (Geometrical and Material Nonlinear Imperfection Analysis) gebruikt de relevante eigenvorm als geometrische imperfectie een houdt rekening met niet-lineaire materiaaleigenschappen (σ - ϵ relatie). De GMNIA is heel nauwkeurig en beschrijft het hele equilibrium traject van de constructie; zo'n analyse, echter, duurt lang, vereist hoge computer prestaties en is gevoelig aan de grootte van de initiële imperfectie en de gekozen eigenvorm.

De bovenvermelde analyses betreffen de toets van de hoofddraagconstructie. Een aantal details worden ook beoordeeld middels handberekening en op basis van de resultaten van het SCIA model. Voor een lijst van deze details wordt verwezen naar de Plan van Aanpak, Ref.[14].

ir. Harris Bouras, M.Sc.
Senior Staalconstructeur