



**Vlaanderen**  
is wetenschap

19\_067\_1  
WL rapporten

## HDPE terugslagkleppen

Rapportering onderzoek in kader van opmaak bestektekst

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# HDPE terugslagkleppen

Rapportering onderzoek in kader van opmaak bestektekst

Vercruyse, J.; Engels, M.; Janssens, K.; Nossent, J.; Verelst, K.

### Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.  
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.  
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

### Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2024  
D/2024/3241/294

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Vercruysse, J.; Engels, M.; Janssens, K.; Nossent, J.; Verelst, K.** (2024). HDPE terugslagkleppen: Rapportering onderzoek in kader van opmaak bestektekst. Versie 4.0. WL Rapporten, 19\_067\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

### Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg nv - Afdeling Regio Centraal	Ref.:	WL2024R19_067_1
Trefwoorden (3-5):	Discharge sluices, Sigmaplan, check valves, HDPE		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > Duikers		
Tekst (p.):	32	Bijlagen (p.):	19
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vercruysse, J.; Engels, M.; Janssens, K.; Nossent, J.; Verelst, K.
------------	--

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	Getekend door:Kristof Verelst (Signature) Getekend op:2024-12-09 09:49:05 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Vercruysse, J.	Getekend door:Jeroen Vercruysse (Signa) Getekend op:2024-12-12 11:21:58 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op:2024-12-06 14:44:51 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	---

## Abstract

Op vraag van De Vlaamse Waterweg – afdeling Regio Centraal hebben afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en afdeling expertise Beton en Staal in samenwerking met twee onafhankelijke experts en de bij DVW gekende producenten een nieuwe standaardbestektekst opgesteld voor rechthoekige HDPE (High Density PolyEthyleen) terugslagkleppen voor kokers met gravitaire uitwatering. Dit rapport bundelt de inzichten opgedaan tijdens dit traject, geeft achtergrondinformatie bij de standaardbestektekst, kadert enkele keuzes en geeft aanbevelingen.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren .....	VIII
1 Inleiding .....	1
2 Literatuurstudie en rondvraag .....	3
2.1 Literatuurstudie .....	3
2.1.1 Environment Agency UK – Eel manual .....	3
2.1.2 Tide gates in the Pacific Northwest (Giannico & Souder, 2005).....	5
2.1.3 Australische technische specificatie voor water controle infrastructuur.....	5
2.1.4 Nederland .....	5
2.1.5 Waterbouwkundig Laboratorium .....	6
2.2 Overleg.....	6
2.2.1 Overleg Aquafin .....	6
2.2.2 DVW-ARC .....	7
2.2.3 Producenten .....	7
3 Optredende hydraulische belasting .....	8
3.1 Te keren waterdruk.....	8
3.2 Temperatuur .....	10
3.3 Golfbelasting .....	10
3.4 Schroefbelasting.....	14
3.5 Snelheid bij uitstroom .....	14
4 Dimensionering .....	16
4.1 Dimensionering .....	16
4.2 Gegevens voor bepaling belastingspectra .....	17
4.2.1 Vergelijking lange termijn simulatie met lange termijn meting .....	17
4.2.2 Synthetische storm .....	19
4.2.3 Kruinhoogte dijken .....	19
4.3 Bepaling belastingspectra .....	20
4.3.1 Vergelijking spectra waterpeilen .....	20
4.3.2 Samenvoegen modelresultaten tot spectra .....	22

4.3.3	Keuze belastingspectra .....	24
5	Aanpassingen bestektekst HDPE terugslagkleppen .....	26
6	Besluit .....	29
7	Referenties .....	31
8	Bijlage A: standaardbestektekst .....	B1
<b>ab.1</b>	<b>Beschrijving</b> .....	B1
<b>ab.1.1</b>	<b>Materialen</b> .....	B1
<b>ab.1.2</b>	<b>Uitvoering</b> .....	B2
<b>ab.2</b>	<b>Meetmethode voor hoeveelheden</b> .....	B7
<b>ab.3</b>	<b>Controles</b> .....	B7
9	Bijlage B: rekenmethodiek .....	B9
10	Bijlage C: Dimensionering traditionele terugslagklep .....	B16
10.1	Beschrijving .....	B16
10.2	Berekening eigengewicht van de klep .....	B17
10.3	Benodigde waterdruk om de klep te openen .....	B17
10.4	Maximaal opneembare waterdruk .....	B18

## Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Voor en nadelen van HDPE terugslagkleppen (Environment Agency, s.d.).....	4
Tabel 2 – Samenvatting analyse maximale primaire en secundaire golfhoogte.....	12
Tabel 3 – Maatgevende condities voor toetsing op veiligheid.....	13
Tabel 4 – Gehanteerde kruinpeilen.....	20
Tabel 5 – Gecombineerde kans op voorkomen – op basis van kans op voorkomen .....	22
Tabel 6 – Gecombineerde kans op voorkomen – op basis van toevoeging van het T1000 en T4000 simulatie .....	23
Tabel 7 – Toepassingsgebied type 1 en type 2 kleppen voor het Sigmagebied.....	26



## Lijst van de figuren

Figuur 1 – Voorbeeld kleppen uit houten kader met staal bekleed (Kruibeke, links) en HDPE kleppen (Bergenmeersen, rechts) .....	1
Figuur 2 – Voorbeeld gietijzeren terugslagklep (Environment Agency, s.d.) .....	3
Figuur 3 – Voorbeeld hdpe klep (Environment Agency, s.d.) .....	4
Figuur 4 – Voorbeeld eendenbek .....	6
Figuur 5 – Maatgevende waterpeilen T4000 conditie WL 1D Sigmamodel .....	9
Figuur 6 – Te keren waterdruk kleppen Sigmagebied .....	9
Figuur 7 – Overzicht water temperatuurmetingen Sigmagebied periode 2010 tot 2020 .....	10
Figuur 8 – Voorstelling karakteristiek golfpatroon handleiding DIPRO .....	11
Figuur 9 – Opgemeten waterhoogte, verval en snelheid in uitwateringskoker Bergenmeersen tijdens meetcampagne september 2016 .....	15
Figuur 10 – Vergelijking langdurige meetreeks met simulatie .....	18
Figuur 11 – Verloop waterpeil ter plaatse van locatie KBR voor verschillende synthetische stormen .....	19
Figuur 12 – Kansdichtheid waterpeil voor Prosperpolder, Dendermonde, Melle en Mechelen .....	21
Figuur 13 – Gecombineerde histogram plot Dendermonde .....	23
Figuur 14 – Kans op voorkomen van waterhoogte onder de kruin voor de beschouwde locaties .....	24
Figuur 15 – Kans op voorkomen van waterhoogte onder de kruin van de overloopdijk voor de beschouwde locaties .....	25

# 1 Inleiding

De Vlaamse Waterweg nv - Afdeling Regio Centraal (DVW-ARC) heeft aan Xperta gevraagd om een standaard bestektekst op te maken voor terugslagkleppen in haar beheersgebied. Initieel werd gevraagd naar een tekst die van toepassing is voor alle types terugslagkleppen. In onderling overleg werd besloten om in eerste instantie te focussen op terugslagkleppen uit het materiaal HDPE die werken onder gravitaire uitstromingscondities. Dit omdat de nood voor terugslagkleppen uit HDPE het hoogste werd geacht. Pomp werking wordt vooralsnog niet beschouwd omdat hier steeds detail dimensionering vereist is.

HDPE terugslagkleppen worden al beschreven in paragraaf 3.7 van het door afdeling Wegen en Verkeer uitgegeven standaardbestek 270 deel II hoofdstuk waterhydraulica (Vlaamse Overheid afdeling Wegen en Verkeer, 2017). Het betreft hier echter een algemene tekst voor terugslagkleppen gemonteerd op het uiteinde van een buis. Voor de uitwateringskokers worden veelal rechthoekige terugslagkleppen toegepast en ook houdt de bestektekst geen rekening met de specifieke belastingcondities binnen het beheersgebied van DVW-ARC en meer specifiek het Sigmagebied.

Traditioneel werden door DVW-ARC voor uitwateringsconstructies kleppen bestaande uit een houten kader bekleed met staal of volledig stalen kleppen toegepast. Van deze traditionele kleppen bestaande uit een houten kader bekleed met staal wordt veelal een ontwerp-tekening voorgeschreven in de aanbesteding. Tegenwoordig worden ook kleppen uit High Density Polyethyleen (HDPE) toegepast. Voor de HDPE kleppen wordt geen ontwerp-tekening voorgeschreven maar dient aan de hand van een dimensionering aangetoond te worden dat de voorgestelde klep kan weerstaan aan de maatgevende belasting. Een illustratie van een traditionele klep bestaande uit een houten kader met staal bekleed en een HDPE klep wordt gegeven in Figuur 1.



Figuur 1 – Voorbeeld kleppen uit houten kader met staal bekleed (Kruibeke, links) en HDPE kleppen (Bergenmeersen, rechts)

Ten opzichte van de traditionele kleppen hebben HDPE kleppen het voordeel dat ze zelfsluitend zijn, eenvoudiger hanteerbaar door het lagere gewicht, migratie van vissen minder hinderen en goedkoper zijn. Een nadeel van HDPE en kunststof kleppen in het algemeen is dat voor de dimensionering geen Eurocode normering beschikbaar is, wat wel het geval is voor andere bouwmaterialen zoals staal en hout. Omdat bij de dimensionering van HDPE ook kruip in rekening genomen moet worden is de dimensionering bovendien complexer dan voor een stalen terugslagklep.

Het project werd uitgevoerd door de Xperta afdelingen expertise Beton en Staal (Marino Engels en Kris Janssens) en Waterbouwkundig Laboratorium (Jeroen Vercruysse). Na een eerste fase in 2020 waarin een literatuurstudie en een rondvraag bij producenten werd uitgevoerd werd besloten dat met betrekking tot de materiaal specificaties, de materiaalbewerking en de dimensionering van HDPE er binnen het projectteam niet voldoende specifieke expertise aanwezig was. Voorjaar 2021 werd hierom externe expertise ingeschakeld. Voor de materiaal eigenschappen en de materiaalbewerking werd externe expertise ingeschakeld van het Vlaams Kunststof Centrum (VKC; Wim Grymonprez) en voor de dimensionering van HDPE werd externe expertise ingeschakeld van het studie bureau Indurium (dr. ir. Dimitri Debruyne). Vervolgens werd in september-oktober 2021 een nieuwe rondvraag opgestart bij de producenten en werden een aantal commerciële kleppen doorgerekend door Indurium. Hierop volgend werd in samenwerking met Indurium en VKC een concept bestektekst opgesteld en werd door Indurium een rekenmethodiek opgesteld voor de kleppen in het Sigmagebied. Deze tekst werd rond de zomerperiode van 2022 voorgelegd aan de producenten en vervolgens aan DVW-ARC. In november 2022 werd besloten om de tekst uit te breiden naar andere locaties. De finale tekst inclusief rekenmethodiek werd in januari 2023 bezorgd aan DVW-ARC.

Als eerste case werd een testproject uitgevoerd in Vlassenbroek waarbij twee traditionele kleppen vervangen werden door twee HDPE kleppen. Het ontwerp van deze twee kleppen werd uitgevoerd aan de hand van de nieuwe bestektekst. Op basis van de inzichten opgedaan bij ontwerp werd de tekst nog aangepast. De kleppen werden in mei 2024 geplaatst. Bij afronding van dit rapport dient de evaluatie nog uitgevoerd te worden.

Onderhavig rapport bevat een samenvatting van het in kader van dit project uitgevoerd onderzoek en vat enkele conclusies en aanbevelingen samen. De literatuurstudie en rondvraag worden samengevat in hoofdstuk 2. Een opsomming van de optredende hydraulische belastingen wordt gegeven in hoofdstuk 3. De dimensionering wordt verduidelijkt in hoofdstuk 4. De aanpassingen aan de bestektekst worden gekaderd in hoofdstuk 5. De conclusies worden samengevat in hoofdstuk 6. De bestektekst wordt gegeven in Bijlage A en een door Indurium opgestelde memo over de rekenmethodiek in bijlage B.

## 2 Literatuurstudie en rondvraag.

Bij aanvang van het project werd een literatuurstudie uitgevoerd en werd een rondvraag gedaan naar de ervaringen met HDPE terugslagkleppen bij DVW en Aquafin. Een samenvatting van de literatuurstudie wordt gegeven in paragraaf 2.1 en een samenvatting van de rondvraag wordt gegeven in paragraaf 2.2.

### 2.1 Literatuurstudie

#### 2.1.1 Environment Agency UK – Eel manual

De Elver and Eel Manual van de Environment Agency (Environment Agency, s.d.) uit het Verenigd Koninkrijk bevat een uitgebreide vergelijking van de verschillende types terugslagkleppen met hun voor- en nadelen. Het document bevat geen jaartal van publicatie en bij een raadpleging in februari 2023 wordt aangegeven dat het rapport teruggetrokken is omdat de inhoud verouderd is.

In het Verenigd Koninkrijk worden historisch veel terugslagkleppen uit gietijzer toegepast, zoals deze in Figuur 2. Tegenwoordig worden ook andere materialen zoals corrosievast staal, aluminium, HDPE en andere types kunststof kleppen toegepast. Veel types kleppen worden opgebouwd uit componenten eerder dan gegoten, specifiek wanneer niet standaard afmetingen of ontwerpen vereist worden.



Figuur 2 – Voorbeeld gietijzeren terugslagklep (Environment Agency, s.d.)

De vroegere houten terugslagkleppen sloten niet volledig af. Met de huidige types kan een zo goed als volledige afsluiting bekomen worden. Voor de migreerbaarheid van alen en vissen in het algemeen is dit niet wenselijk. Om de migreerbaarheid te verbeteren worden soms kleppen met een contragewicht en kleppen draaiend rond een verticale as toegepast. Om extra veiligheid in te bouwen wordt soms gekozen om kleppen in serie te plaatsen. Voor bepaalde types kleppen wordt verwezen naar specifieke producenten. Voor HDPE kleppen wordt verwezen naar de kleppen van het bedrijf Aquatic Control Engineering.



Figuur 3 – Voorbeeld hdpe klep (Environment Agency, s.d.)

Een overzicht van de voor en nadelen van HDPE kleppen uit de manual wordt overgenomen in Tabel 1.

Tabel 1 – Voor en nadelen van HDPE terugslagkleppen (Environment Agency, s.d.)

<b>Advantages and disadvantages</b>	
<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>
Requires no electrical power supply or additional maintenance	Some resistance from FRM in sites with a lot of floating debris. Their view is that damage to flap and vandalism may be more likely.
Opens wider than standard flap gate, which makes it easier for more fish to pass	Often only up to 600mm in size
Relatively inexpensive. Light-weight gates cost less than their heavy-weight equivalents	Electrolysis corrodes aluminium more easily than cast iron or steel (especially if a different metal is used in the hinges)
Easy to remove or replace if unexpected problem occurs	Cast iron is still the industry norm, so finding UK suppliers can be tricky
Can be retrofit, cost effective.	May improve fish passage, but do not significantly improve water quality or connectivity to a stream or an estuary

Uit Tabel 1 volgt dat de grote voordelen van HDPE kleppen, het lagere gewicht, de lagere kostprijs en de grotere openingshoek betreffen. Op plaatsen waar veel drijvend vuil optreedt wordt de kans op schade bij toepassen van HDPE terugslagkleppen groter ingeschat. Bemerk dat ook aangegeven wordt dat HDPE kleppen maar tot een beperkte hoogte beschikbaar zijn en dat het moeilijk is om een leverancier te vinden.

### 2.1.2 Tide gates in the Pacific Northwest (Giannico & Souder, 2005)

Giannico & Souder (2005) beschrijft de invloed van inpoldering en de hierbij horende uitwateringsluizen in de Pacific Northwest regio in de Verenigde staten.

Specifiek voor lichte terugslagkleppen wordt volgende informatie gevonden:

De benodigde tegendruk van kleppen wordt verlaagd wanneer drijvende materialen zoals hout toegepast worden. Wel wordt aangegeven dat hout na verloop van tijd verzadigd zal raken waardoor de densiteit toeneemt en de hydraulische eigenschappen wijzigen. Alsook kunnen slecht ontworpen bevestigingsscharnieren of schade door corrosies of vuil resulteren in een grote benodigde tegendruk.

Volgende mogelijke materialen voor terugslagkleppen worden opgegeven: gietijzer, hout verstevigd met metalen banden, aluminium en fiberglas en pvc.

Bemerk dat HDPE niet als mogelijk materiaal opgegeven wordt.

### 2.1.3 Australische technische specificatie voor water controle infrastructuur

De Australische water industrie heeft een document opgesteld met technische specificaties voor water controle infrastructuur (Australian water industry, 2015). In deze technische specificaties wordt het materiaal HDPE niet specifiek vermeld. Wel wordt aangegeven dat wanneer niet metallische materialen gebruikt worden ze geschikt moeten zijn voor de condities. Hierbij dient rekening gehouden te worden met klimaat, zonlicht en langdurige periodes van onderdompeling. Elk materiaal dat blootgesteld wordt aan direct zonlicht dient UV gestabiliseerd te zijn.

### 2.1.4 Nederland

In Nederland wordt de leidraad kunstwerken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 2003) gevolgd voor het toetsen van waterkerende constructies. Bij uitvoeren van de literatuurstudie (voorjaar 2020) was er een nieuwe werkwijzer ontwerpen waterkerende constructies beschikbaar – groene versie (Rijkswaterstaat, 2018). Dit document is het concept voor de nieuwe leidraad kunstwerken.

In leidraad kunstwerken wordt in bijlage B4 de methode voor het berekenen van de sterkte en stabiliteit beschreven. Dit betreft een algemene methode voor waterkerende constructies. De concrete berekeningswijze voor terugslagkleppen wordt niet gegeven. Voor de toetsing van afsluitmiddelen wordt per type materiaal verwezen naar een norm. Bemerk hierin dat voor staal, aluminium en hout wordt verwezen naar de Eurocodes. Voor staalconstructies wordt ook verwezen naar de leidraad kunstwerken. Voor kunststof constructies wordt verwezen naar ‘vigerend norm(en)’.

Uit de groene versie (Rijkswaterstaat, 2018) die de aanzet vormt voor de nieuwe leidraad kunstwerken (Rijkswaterstaat, 2018) volgen de te gebruiken instrumenten/bronnen voor het bepalen van de hydraulische belasting. Hydra-NL betreft een door RWS ter beschikking gestelde tool die voor de gewenste locatie de maatgevende waterstand en golfhoogte bepaalt. In paragraaf 4.10.1 van Rijkswaterstaat (2018) worden per type belasting typische waarden gegeven. Ook wordt opgemerkt dat bij het ontwerp rekening gehouden moet worden met degeneratie.

Informatie wordt gebundeld op <https://www.helpdeskwater.nl/>. Een zoektocht gaf geen bijkomende specifieke informatie over terugslagkleppen ten opzicht van ‘Leidraad kunstwerken’ en ‘werkwijzer ontwerpen waterkerende constructies’. Op helpdeskwater is er sprake van voorbeeldberekeningen, ook hier werd geen voorbeeldberekening voor terugslagkleppen gevonden. Navraag bij waterschappen en producenten leverde geen concrete inzichten op naar welke dimensionering in Nederland opgelegd wordt voor HDPE terugslagkleppen.

### 2.1.5 Waterbouwkundig Laboratorium

WL heeft in het verleden de vismigreerbaarheid van terugslagkleppen (Vereecken *et al.*, 2006) en oplossingen om traditionele terugslagkleppen te voorzien van een vis luik (Peeters *et al.*, 2009b) onderzocht. Hierbij was nog geen sprake van HDPE kleppen. Om de hydraulische werking van een HDPE terugslagklep te evalueren werden in 2015 en 2016 tijdens een 13-uurs meting van de in- en uitwatering van het GOG/GGG Bergenmeersen bijkomende metingen uitgevoerd (Smolders *et al.*, 2018; Vercruysse *et al.*, 2016). De uitwateringskokers van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van het GOG/GGG Bergenmeersen worden afgesloten door middel van HDPE terugslagkleppen. Zowel in 2015 als in 2016 werd de openingshoek van één klep tijdens uitwatering opgemeten en in 2016 werd bijkomend het debiet en de waterhoogte in de koker met de klep met hoekmeting opgemeten. De start van uitstroming doorheen de koker werd vastgesteld bij een drukverschil van ca. 6 cm, met de bemerking dat deze 6 cm overeenkwam met de meetnauwkeurigheid. De maximaal opgemeten openingshoek van de klep betrof 69° in 2015 en 64° in 2016. Op basis van de inschatting van de natte sectie onder de klep wordt naar vismigratie toe aangenomen dat voornamelijk de snelheid in de uitwateringskoker bepalend is eerder dan de lokale beperkte versnelling ter hoogte van de klep. De metingen werden door INBO gebruikt voor een evaluatie van de vismigreerbaarheid van de in- en uitwateringsconstructies in kader van het Sigmaplan (Vermeersch *et al.*, 2021).

## 2.2 Overleg

### 2.2.1 Overleg Aquafin

OP 11/09/2019 werd een overleg gehouden met Kevin Krikilion en Wim Dhooge van Aquafin. Aquafin heeft heel wat ervaring met terugslagkleppen. Bij elke nieuwe plaatsing wordt per case bekeken wat de meest geschikte afsluiter is en wat de aandachtspunten zijn. Hierbij worden ook 'eendenbekken' overwogen, zie bv. Figuur 4. Er wordt gewerkt met een type ontwerp voor een uitlaatconstructie. Periodiek worden inspecties en indien nodig ruimingswerken uitgevoerd. De toepassingen betreffen voornamelijk noodafvoer bij hevige regenval. De kleppen worden relatief hoog in de waterkolom geplaatst en treden slechts enkele keren per jaar in werking. Vuilinklemming is hierdoor geen issue. Sedimentatie is een groter probleem omdat de kleppen slechts enkele keren per jaar uitwateren en in een nis worden geplaatst zodat de kleppen in open positie niet in de vaarweg komen.



Bron: <https://www.redvalve.com/tidefles dd. 4/08/2023>

Figuur 4 – Voorbeeld eendenbek

### 2.2.2 DVW-ARC

De twee firma's die op tijdstip van schrijven van dit rapport HDPE kleppen aan DVW-ARC leveren zijn Hydromat en KWT Waterbeheersing. Van deze twee producenten zijn bij schrijven van dit rapport een 100 tal terugslagkleppen in gebruik.

Bij een rondvraag werden drie schadegevallen doorgegeven van HDPE kleppen. De eerste betrof een verdwenen klep te Zennegat. Hierbij werden bedenkingen gemaakt over het gebruik van een enkelscharnierende ophanging en de bevestiging van het kader. Bij een terugslagklep in Burchtse Weel werden twee opeenvolgende schadegevallen vastgesteld. Bij het eerste schadegeval waren beide verstijvingsvinnen losgeraakt van de klep. Na vervangen werd opgemerkt dat het kader uit de wand was getrokken en het kader en de klep vervormd waren. Het tweede schadegeval werd toegeschreven aan inklemming van vuil. Bij een in kader van dit project uitgevoerde inspectie in Zennegat werd vastgesteld dat van één terugslagklep het klepvlak vervormd was, schade optrad aan een scharnier en de naad van een schoep losliet. Ook hier is inklemming van een object een mogelijke oorzaak. Bij een andere klep werd toen inklemming van een pvc buis vastgesteld.

Om de kracht op de scharnieren bij inklemming te verminderen kan gekozen worden voor een dubbelscharnierende ophanging. Initieel werd de keuze voor een enkel- of dubbelscharnierende ophanging overgelaten aan de projectleider van DVW-ARC. Op moment van schrijven van dit rapport wordt standaard een dubbelscharnierende ophanging opgelegd. Een ander bemerking is dat de betonwanden waarop de klep bevestigd wordt veelal niet voldoende vlak zijn. Het monteren van een klep op een niet voldoende vlakke wand resulteert in torsiekrachten op de scharnieren en lokaal hoge belastingen van het klepvlak.

In de rondvraag werd ook gevraagd naar de ervaringen met niet HDPE kleppen. Met de stalen kleppen en kleppen met een hardhouten kader bekleed met staal worden weinig problemen opgemerkt. De problemen betreffen voornamelijk slijtage van scharnieren (district 3), weggroten hout (district 3), vervormen kleppen voornamelijk bij toepassen enkelscharnierende kleppen (district 3) en uitkotteren/ovaliseren van de boutgaten (district 2). Bij een toepassing van kleine kleppen in een kaaimuur van een aanmeerplaats werd frequent schade vastgesteld. De oorzaken hier zijn: het ontbreken van een aanvaarbeveiliging, ontbreken van een overslagbeveiliging en grote hydraulische belasting tgv schroefstraalwerking. In kader van een vismonitoringscampagne van het INBO heeft WL een analyse uitgevoerd van de in- en uitwatering van GOG-GGG Bazel Noord. Hieruit volgde dat lekdebiet doorheen de terugslagkleppen optreedt. Dit werd ook vastgesteld bij 2 plaatsbezoeken waarbij tijdens het laatste ook lekdebiet opgemerkt wordt bij GOG-GGG Kruikeke. De terugslagkleppen van Bazel Noord en Kruikeke betreffen een houten kader met staal bekleed. Navraag leert dat de gebruikte dichtingsrubbers van deze kleppen suboptimaal zijn.

### 2.2.3 Producenten

In kader van deze opdrachten werden meerdere gesprekken gevoerd met de in Vlaanderen en Nederland gekende producenten van terugslagkleppen. Alsook werd een bezoek aan een productie-eenheid en een terreinbezoek uitgevoerd. Om redenen van vertrouwelijkheid wordt van deze overleggen geen verslag opgenomen in dit rapport.



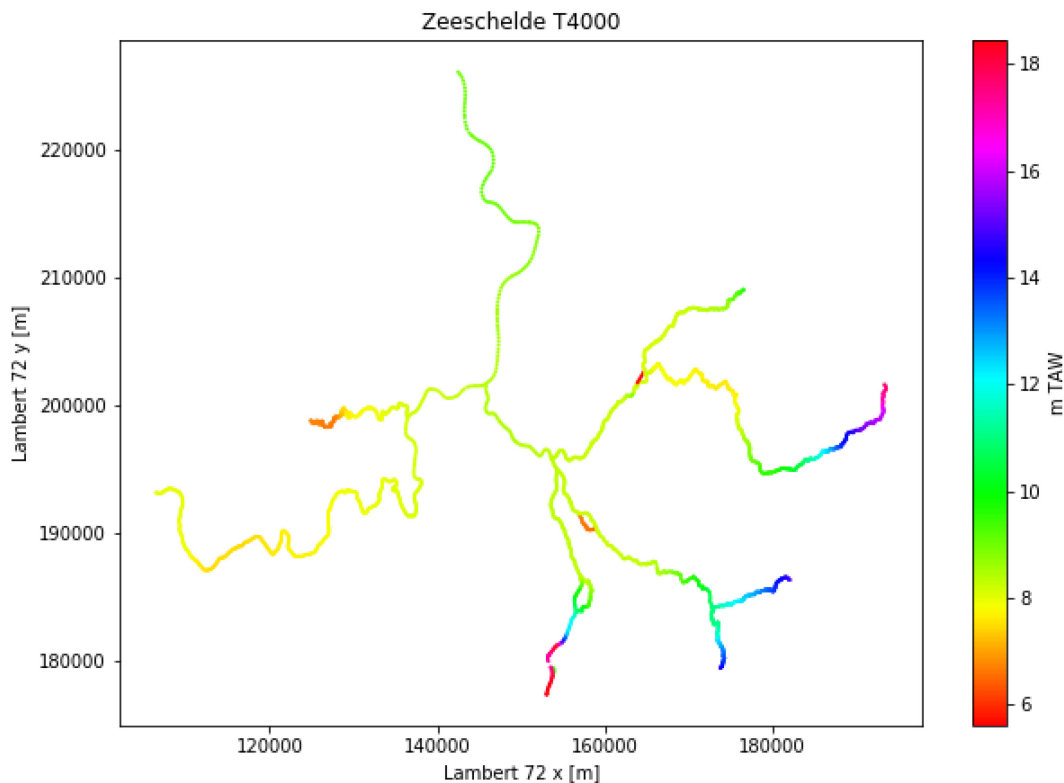
## 3 Optredende hydraulische belasting

In dit hoofdstuk wordt een eerste inschatting gegeven van de belastingen. De te keren waterdruk wordt behandeld in paragraaf 3.1, de temperatuur in paragraaf 3.2 en de golfbelasting in paragraaf 3.3. Andere belastingen zijn de belasting ten gevolge schroefwerking, zie paragraaf 3.4, en de snelheid bij uitstroming zie paragraaf 3.5.

Bij het verder uitwerken van de dimensioneringsmethodiek werd vastgesteld dat voor de te keren waterdruk rekening gehouden dient te worden met de kans op voorkomen van extreme peilen. De hydraulische randvoorwaarden voor de te keren waterdruk zijn hierom opgesteld op basis van specifieke modellering met het 1D Sigmamodel waarbij rekening wordt gehouden met klimaatwijzigingen en synthetische stormen met de ontwerperterugkeerperiode. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 4.

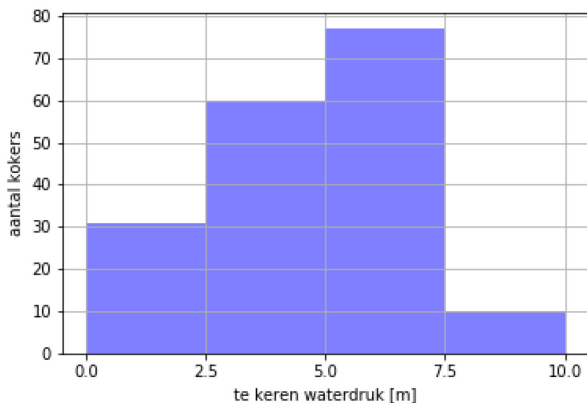
### 3.1 Te keren waterdruk

De te keren waterdruk wordt bepaald als het verschil tussen het maatgevend rivierpeil en het vloerpeil van de kokers. Voor het maatgevend rivierpeil wordt het maximaal waterpeil volgend uit het MIKE11 model van het Sigmagebied voor een storm met terugkeerperiode T4000 beschouwd. Dit scenario wordt eveneens beschouwd voor het ontwerp van de dijken en constructies langsheen de Schelde. Voor het ontwerp van dijken, constructies en dergelijke op de zijrivieren van de Schelde wordt een storm met lagere terugkeerperiode beschouwd. Voor de in dit rapport uitgevoerde analyse wordt ook voor de zijrivieren de storm met terugkeerperiode 4000 jaar gebruikt. Van dit model werd een export van de knooppunten met tussenafstand 100 m ter beschikking gesteld. Een plot van deze resultaten wordt gegeven in Figuur 5. Bemerkt hierin dat het model de Zeeschelde, Durme, Rupel en delen van de Grote Nete, Kleine Nete, Dijle en Zenne omvat.



Figuur 5 – Maatgevende waterpeilen T4000 conditie WL 1D Sigmamodel

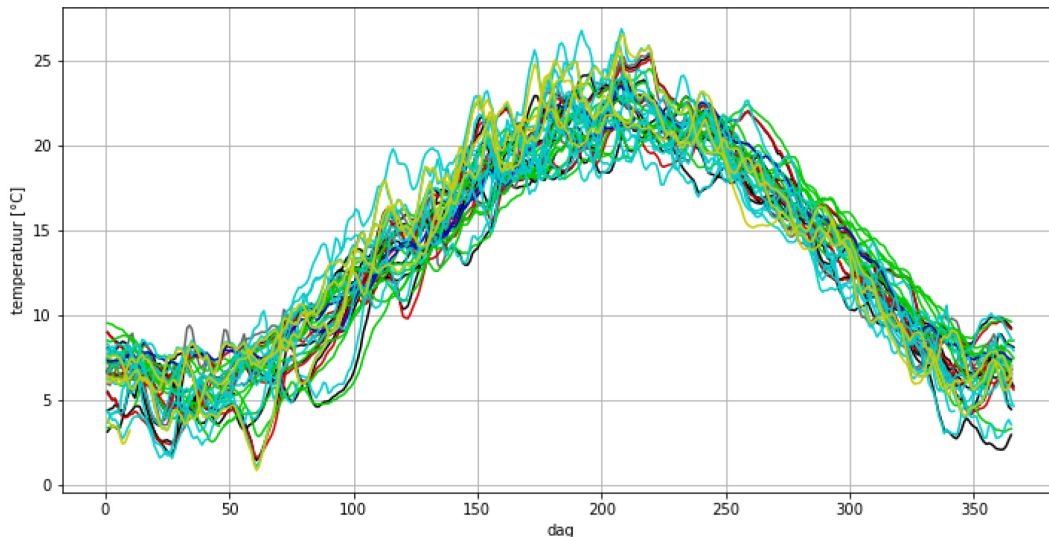
Voor het bepalen van de maatgevende waterdruk werd gekeken naar de aanwezige kokers met terugslagklep in het MIKE11 model (totaal 431 kokers). Van deze kokers werd uit het MIKE11 model een naam, locatie en bodempeil geëxporteerd. Vervolgens wordt voor elke koker de afstand berekend tot het dichtstbijzijnde punt waarop het maatgevend hoogwater beschikbaar is (export MIKE11 model met tussenafstand 100 m, zie Figuur 5). Van deze lijst worden enkel de kokers weerhouden waarbij de afstand tot het dichtstbijzijnde maatgevend hoogwater kleiner dan 100 m is, dit betreffen 178 kokers. Voor deze 178 kokers wordt de te keren waterdruk bepaald als het verschil tussen het bodempeil en het maatgevend waterpeil. Een histogram van deze analyses wordt gegeven in Figuur 6. Uit dit histogram op basis van de kokers uit het Sigma-model volgt dat 4 % van de kokers een te keren waterdruk heeft in de range 7.5 m tot 10.0 m. De meeste kokers, 40%, hebben een te keren waterdruk tussen 5.0 m en 7.5 m.



Figuur 6 – Te keren waterdruk kleppen Sigmagebied

## 3.2 Temperatuur

HDPE betreft een thermoplastisch materiaal wat wil zeggen dat de materiaalkarakteristieken wijzigen met temperatuur. Op de locaties: Melle, Schellebelle, Kleine Willebroek, Hemiksem/Kruikebeke en Liefkenshoek worden ook temperatuurmetingen van het water uitgevoerd. Deze waarden werden voor de periode 2010 tot 2020 gedownload via de HIC webservices en vervolgens per jaar geplot, zie Figuur 7. Bemerkt hierin dat de verschillen overheen de meetposten en de verschillen tussen de jaren relatief beperkt zijn. De minimumtemperatuur varieert tussen ca. 3° à 7°C in de winter tot 19° à 26° in de zomer.



Figuur 7 – Overzicht water temperatuurmetingen Sigmagebied periode 2010 tot 2020

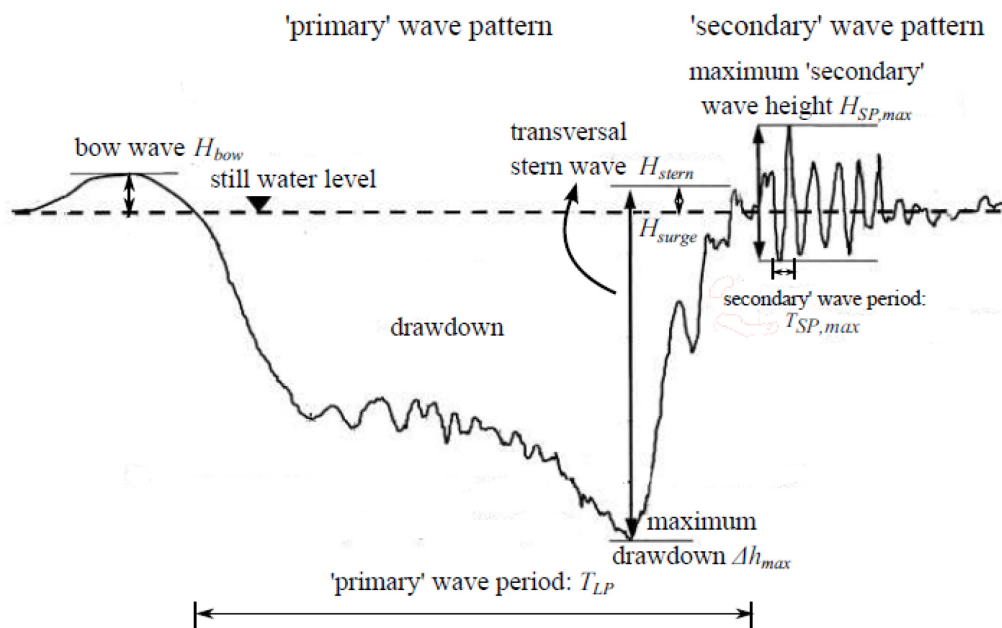
De kruipgevoeligheid van HDPE neemt toe met de temperatuur. Hierom wordt voor de dimensionering van weerstand tegen waterdruk een temperatuur 20°C opgelegd, zie bijlage A en B.

## 3.3 Golfbelasting

Bemerkt dat een HDPE terugslagklep een dichtheid heeft die maar net hoger is dan de dichtheid van water. Bij uitstroming komen HDPE kleppen hierdoor bijna op het wateroppervlak te liggen waardoor de kleppen zeer gevoelig zijn voor golfwerking. In het bijzonder schuin inkomende wind of secundaire scheepsgolven kunnen tot grote belastingen in de scharnieren leiden. Bij hoge en plotse golfwerking bestaat ook het risico op het overklappen van de klep waarna deze rechtop blijft staan.

Door sluizen en stuwen veroorzaakte golven worden gekenmerkt door een lange periode. Dit betreffen ondiepwatervolven die gepaard gaan met een waterverplaatsing. Voor sluizen komt de minimum duur van een golf overeen met de duurtijd van een nivellering, ca 10 min. Voor stuwen is dit afhankelijk van de sturing van de stuwen. Stuw- en schutgolven worden hier niet verder beschouwd. Bemerkt dat dergelijke golven voorkomen op kanalen en gekanaliseerde rivieren en dus niet in de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren, het zogenaamde Sigmagebied. Ook wordt door de langere periode de belasting ten gevolge van stuw- en schutgolven minder maatgevend geacht ten opzichte van de belasting veroorzaakt door wind en door schepen geïntroduceerde golven.

De hoogte van windgolven wordt voornamelijk bepaald door de beschikbare strijklengte, dit is de lengte waarover de windgolf zich kan ontwikkelen. De scheepsgolven kunnen opgedeeld worden in een primaire golf, de zogenaamde haalgolf, en een secundair golfpatroon. Een theoretische beschrijving van een karakteristiek golfpatroon ten gevolge van scheepsgolven overgenomen uit de handleiding van DIPRO (Rijkswaterstaat, 2003) wordt gegeven in Figuur 8. Bemerkt hierin dat het golfpatroon bestaat uit een primaire golf en een secundaire golf. De primaire golf wordt gekenmerkt door een inzinking van de waterspiegel. Deze inzinking wordt veroorzaakt door de snelheid van de retourstroming langs het schip. De grootte van de inzinking is afhankelijk van de verhouding van de dwarssectie van het schip ten opzichte van de natte sectie van de rivier (de blokkage), de afstand tot het schip en van de snelheid van het schip. Volgend op de primaire golf worden de secundaire golven waargenomen. Dit zijn de golven die veroorzaakt worden door loslaten van de stroming aan de boeg en hek. De secundaire golven hebben een fluctuerend patroon rondom het waterpeil in rusttoestand. De secundaire golven worden voornamelijk beïnvloed door de geometrie van de romp en door de snelheid.



(Rijkswaterstaat, 2003)

Figuur 8 – Voorstelling karakteristiek golfpatroon handleiding DIPRO

Op het moment van uitvoeren van dit onderzoek waren volgende metingen van door schepen opgewekte golven op de Vlaamse bevaarbare binnenvaartwaterwegen beschikbaar bij WL:

- Op de Leie nabij Machelen werden in kader van een doctoraatonderzoek naar de performantie van natuurtechnische oeververdedigingen als bescherming tegen door schepen opgewekte golfbelasting metingen uitgevoerd (De Roo, 2014).
- In kader van het onderzoeksproject Agenda van de Toekomst zijn door WL golfmetingen uitgevoerd geweest op de Zeeschelde te Galgeschoor, Saeftinghe, Hooge Platen, Rupelmonde en Dendermonde (Kolokythas *et al.*, 2019; Meire *et al.*, 2019, 2020, 2021a; b).
- In kader van de verhoging van de bruggen op het Albertkanaal heeft WL in 2015 de door schuttingen opgewekte golven op de panden Olen-Wijnegem en Wijnegem-Antwerpen opgemeten. Deze metingen gebeurden met een tijdstap van 6 s wat te groot is om de secundaire golven op te meten (periode 2 tot 10 s) maar wel voldoende is om de primaire golf te detecteren, evenwel met beperkte nauwkeurigheid.

De uit de rapporten van deze metingen afgeleide waarden voor de primaire en secundaire golfhoogte worden samengevat in Tabel 2. Bemerkt dat er een duidelijk onderscheid waar te nemen is tussen de metingen uitgevoerd op de Leie, de metingen op de Schelde nabij Dendermonde en Rupelmonde, de twee metingen op de Schelde nabij de grens met Nederland (Saeftinghe en Galgeschoor) en de metingen op het Albertkanaal.

Tabel 2 – Samenvatting analyse maximale primaire en secundaire golfhoogte

	Primaire golfhoogte	Secundaire golfhoogte
Schelde Saeftinghe en Galgeschoor	0.8 m – 0.6 m	1.0 m (Saeftinghe) – 0.5 m (Galgeschoor)
Schelde Dendermonde, Rupelmonde	niet waarneembaar	0.35 m
Leie	0.4 m – 0.5 m	0.18 m
Albertkanaal	0.3 m – 0.7 m	Niet opgemeten

In kader van het Sigmaplan werd aan de hand van empirische formules de maatgevende golfbelasting op de winterdijken in het bekken van de Zeeschelde bepaald (IMDC NV *et al.*, 2010). De resultaten worden samengevat in (Peeters *et al.*, 2009a). De samenvattende tabel met de maatgevende waterstand, dwarsgemiddelde stroomsnelheid en golfhoogte van scheepsgolven wordt overgenomen in Tabel 3.

Tabel 3 – Maatgevende condities voor toetsing op veiligheid

Locatie	Belastingszone	Waterstand <sup>1</sup> (m TAW)	Windgolven (LO/RO) (m)	Dwarsgemiddelde stroomsnelheden (m/s)	Golfhoogte scheepsgolven <sup>2</sup> (m)
Nederlands Belgische grens – Oosterweel	1	9.00	1.1/1.7	2.5	0.5
Oosterweel – Hoboken	2	8.75	0.8/1.0	2.5	0.5
Kruikeke – Wintam	3a	8.25	0.8/1.0	2.5	0.5
Wintam – Temse & Rupel	3b	7.85	0.8/1.0 & 0.5/0.5	2.5	0.5
Temse – Dendermonde	4a	7.50	0.5/0.8	2.5	0.5
Dendermonde – Uitbergen	4b	7.50	0.5/0.8	2.5	0.3
Uitbergen – Gentbrugge	4c	7.50	0.4/0.4	2.5	0.3
Durme	4d	7.50	0.3/0.3	2.0	nvt
Benedendijle	5a	7.85	0.5/0.5	2.5	0.5
Bovendijle	5b	7.85 – oplopend met maaiveld	0.2/0.2	3.0	nvt
Zenne	5c	7.85 – oplopend met maaiveld	0.2/0.2	3.0	nvt
Benedennete	5d	7.85	0.5/0.5	2.5	0.5
Grote Nete	5e	7.85 – oplopend met maaiveld	0.2/0.2	2.0	nvt
Kleine Nete	5f	7.85 – oplopend met maaiveld	0.2/0.2	2.5	nvt

<sup>1</sup> Afwaarts Antwerpen wordt een waakhogte opgelegd van 2 m. Opwaarts Antwerpen wordt voor grondconstructies en kaaimuren een waakhogte voorzien van resp. 0.50 m en 0.25 m.

<sup>2</sup> Bij een verwacht hoogwater te Antwerpen van TAW +7.00 m wordt de scheepvaart stilgelegd. Het hiermee corresponderende waterpeil voor andere locaties moet worden bepaald.

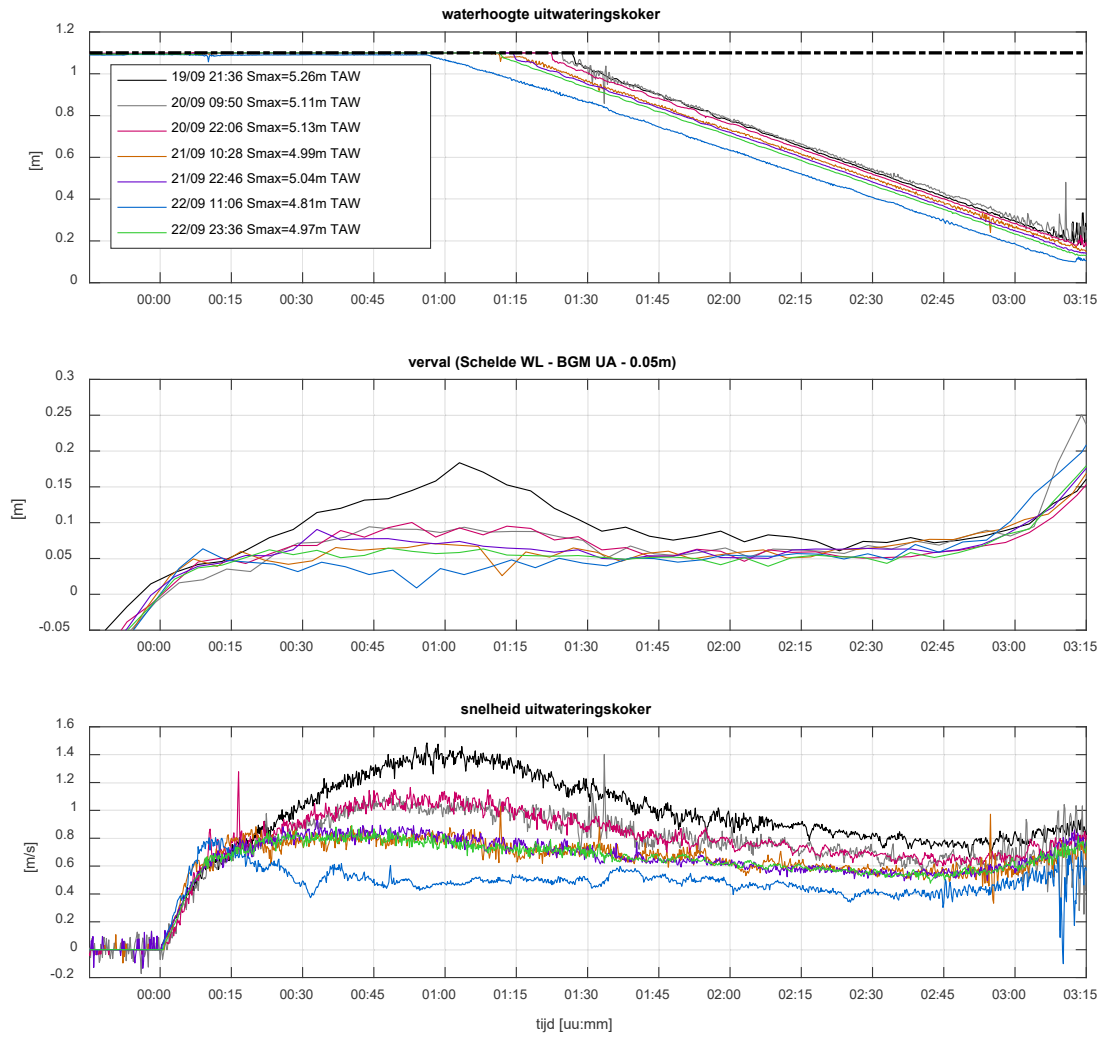
### 3.4 Schroefbelasting

Bij het aan en afmeren van schepen aan een kade worden de hoofdschroef en boegschroef gebruikt. Het gebruik van de schroeven kan aanleiding geven tot lokaal hoge stroomsnelheden. De snelheden ten gevolge van schroefstraalwerking kunnen gedimensioneerd worden volgens de formuleringen in MarCom Working Group 180 (2015). Bemerkt dat dit niet enkel van toepassing is bij kleppen in kademuren, ook nabij sluizen en jetty's is er een risico op lokaal hoge snelheden ten gevolge van schroefstralen.

### 3.5 Snelheid bij uitstroom

Voor dit project worden enkel kleppen met gravitaire uitstroming beschouwd. Voor terugslagkleppen van pompinstallaties zal de uitstroomsnelheid merkbaar hoger liggen en dient steeds een dynamische dimensionering uitgevoerd te worden naar de belastingen bij opstart en uitloop.

Het verval overheen de constructie en de snelheid bij uitstroom is onder meer afhankelijk van het type terugslagklep. Enkel voor een HDPE terugslagklep heeft WL meetgegevens beschikbaar van het verval overheen de constructie en de waterhoogte en snelheid in een koker bij uitstroming (Smolders *et al.*, 2018), zie Figuur 9. Dit betreft een koker van de gecombineerde in- en uitwateringsconstructie van het GGG-GOG Bergenmeersen bij uitstroming tijdens GGG werking. Bemerkt hierin dat de maximale snelheid afhankelijk is van de hoogte van het voorgaand hoogwater en dus de vullingsgraad van het gebied. Bij GOG-werking zal de snelheid hoger zijn.



Figuur 9 – Opgemeten waterhoogte, verval en snelheid in uitwateringskoker Bergenmeersen tijdens meetcampagne september 2016



## 4 Dimensionering

### 4.1 Dimensionering

Door het projectteam en de producenten werden volgende belastingen gedefinieerd: te keren waterdruk in normale conditie en bij vuilinklemming, golfwerking, belasting ten gevolge van schroefstraalwerking, snelheid bij uitstroming en temperatuursbelasting ten gevolge van bestraling door zonlicht. Van deze belastingen werd besloten om volgende belastingen niet te weerhouden:

- Golfwerking. Vooral secundaire golfwerking ten gevolge van scheepvaart wordt beschouwd als een belangrijke belasting omdat deze golven een betrekkelijke korte golflengte hebben en schuin op de oever en bijgevolg veelal schuin op het klepvlak invallen. Bij een geopende terugslagklep zal een schuin inkomende golf leiden tot een belangrijke torsiekracht op het klepvlak die afgedragen wordt via de scharnieren. Tijdens het overleg met de producenten en het projectteam werd geen haalbare dimensioneringsmethodiek gevonden voor golfwerking.
- Belasting ten gevolge van schroefstraalwerking wordt niet weerhouden omdat deze sterk locatie afhankelijk is. Bijkomend is het ook niet duidelijk hoe schroefstraalwerking op een geopende klep in rekening gebracht dient te worden.
- De stroomsnelheid bij uitstroming werd niet weerhouden als belasting. Uit het debiet, de stroomsnelheid, het verval en de openingshoek van de klep kan in principe een kracht op de scharnieren afgeleid worden. De belasting ten gevolge van de stroomsnelheid bij uitstroming werd niet weerhouden omdat de kracht op de scharnieren bij vuilinklemming maatgevend zal zijn.

De weerhouden belasting condities voor het opstellen van de rekenmethodiek:

- Temperatuurblootstelling. Bestraling van de klep door de zon kan de temperatuur van de klep doen oplopen tot 70°C en hoger. De hierbij optredende vervormingen kunnen leiden tot schade ter hoogte van de lassen en scharnieren.
- Optreden van maatgevende waterdruk met het klepvlak op de 4 randen opgelegd.
- Een accidentele belasting waar bij een gegeven waterdruk wordt opgenomen op een lokaal door vuilinklemming opgetild klepvlak.

De rekenmethodiek werd opgesteld door Indurium, zie Debruyne (2023) en bijlage B van dit rapport. Voor de dimensionering van de klep tegen hydrostatische belasting dient kruip in rekening genomen te worden. De door Indurium opgestelde rekenmethodiek is gebaseerd op de Europese norm EN 1778: "Karakteristieke waarden voor gelaste constructies van thermoplasten - Bepaling van de toelaatbare spanningen en moduli voor het ontwerpen van onderdelen van thermoplasten". Deze methodiek gaat uit van het principe dat elke belasting voor schade zal zorgen. De accumulatie van de schade overheen de levensduur dient kleiner te zijn dan de opneembare schade. Voor het bepalen van de geaccumuleerde schade dient het belastingspectrum overheen de levensduur gekend te zijn. In eerste instantie werden hiervoor belastingspectra afgeleid uit lange termijn waterpeilmetingen (periode 2010 tot 2020). Met deze spectra werden door Indurium inschattende berekeningen uitgevoerd op terugslagkleppen van drie verschillende producenten. Omwille van confidentialiteit worden in dit rapport geen resultaten per klep besproken. Uit de analyse volgt dat de hoogste voorkomende peilen, alhoewel in voorkomenstijd zeer beperkt, bepalend zijn voor de sterkte. Doordat de spectra opgesteld werden op basis van historische data over een periode van 10 jaar zijn de maatgevende condities niet opgenomen alsook de invloed van klimaatwijziging is niet opgenomen.

Om deze reden werden nieuwe belastingspectra opgesteld waarin de maatgevende hoogwatercondities en invloed van klimaatwijziging wel zijn opgenomen. De gegevens voor het bepalen van de belastingspectra worden beschreven in paragraaf 4.2. Het opstellen van deze belastingspectra wordt beschreven in paragraaf 4.3. Het scenario met vuilinklemming leidde tot een overschrijding van de toelaatbare spanning voor alle drie doorgerekende kleppen. Uit de analyse volgde dat voor vuilinklemming gespecialiseerde dimensionering nodig is waarbij plastische vervorming toegelaten wordt. Dergelijke modellering valt buiten de standaard modellering bij het ontwerp van een terugslagklep en wordt hierom niet weerhouden. Voor de temperatuurblootstelling werden geen bijzonderheden vastgesteld.

## 4.2 Gegevens voor bepaling belastingspectra

De belastingspectra zijn opgesteld op basis van simulaties met het 1D Sigmamodel van WL. Volgende scenario's zijn hierbij beschouwd:

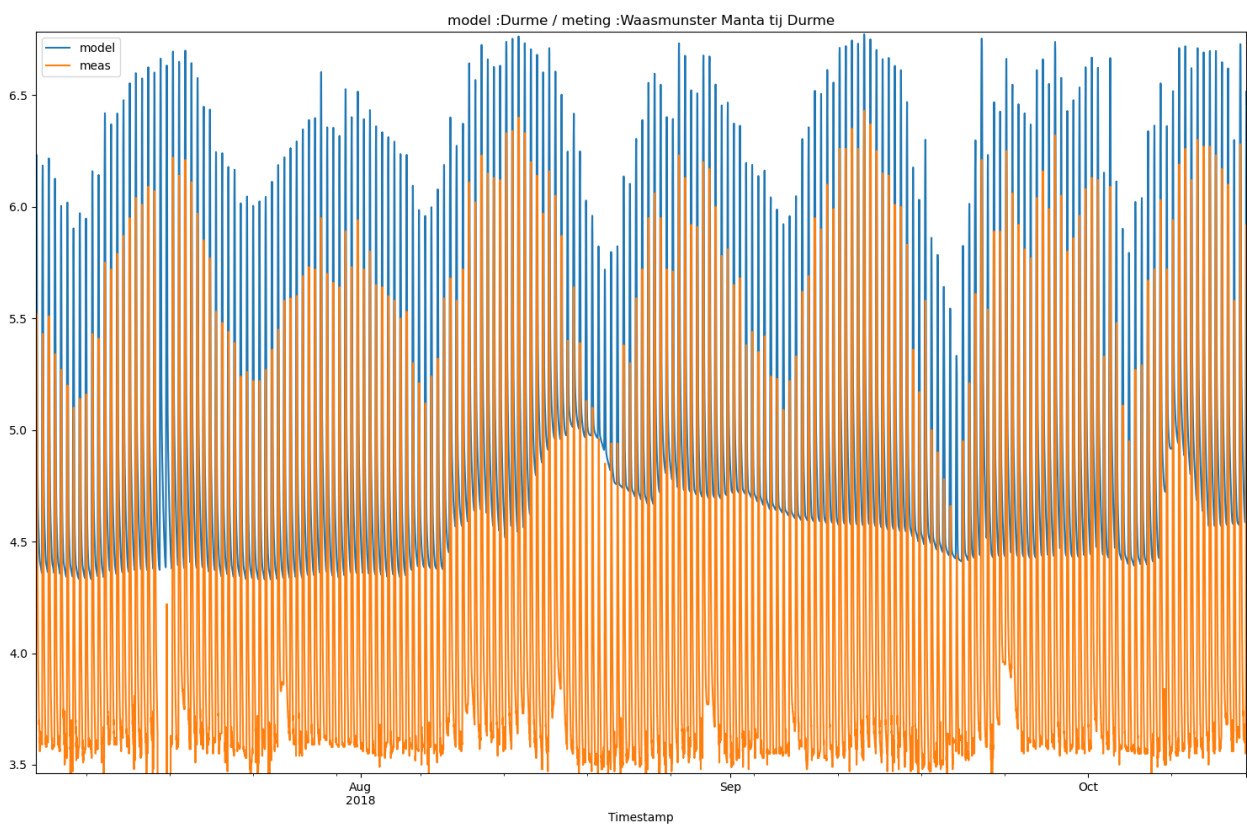
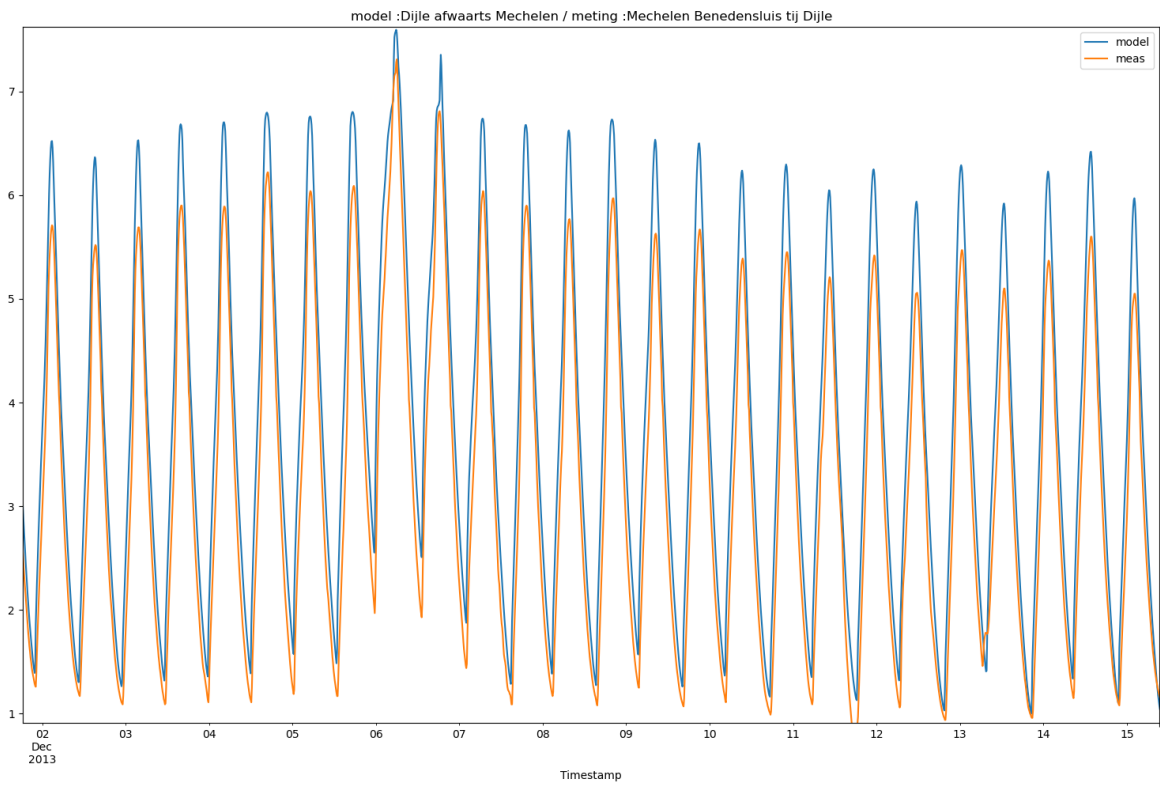
- Lange termijn simulatie van de periode 2000 – 2019 waarbij voor de afwaartse randvoorwaarde een zeespiegelstijging van 0.80m tegen 2100 werd toegepast. Aan opwaartse zijde wordt het gemiddeld klimaatscenario 2050 aangehouden.
- Twee simulaties van een stormtij met terugkeerperiode T1000 op datum 2050 volgens het midden scenario S3 respectievelijk het hoog scenario S2.
- Twee simulaties van een stormtij met terugkeerperiode T1000 op datum 2100 volgens het midden scenario S3 respectievelijk het hoog scenario S2.
- Twee simulaties van een stormtij met terugkeerperiode T4000 op datum 2100 volgens het midden scenario S3 respectievelijk het hoog scenario S2.

Op tijdstip van uitvoeren van de simulaties was de opwaartse randvoorwaarde voor 2100 nog niet beschikbaar. Hierom werd ook voor de 2100 scenario's gerekend met de opwaartse randvoorwaarde voor 2050. Bemerkt dat de onzekerheid op de opwaartse rand groter is dan deze op de afwaartse rand en dat de afwaartse rand bepalend is.

De analyse wordt uitgevoerd voor 11 locaties verspreid over het Sigmagebied. Om de vergelijking te kunnen maken met metingen worden de locaties gekozen nabij een tijpost.

### 4.2.1 Vergelijking lange termijn simulatie met lange termijn meting

Een vergelijking tussen de lange termijn meetreeks en de modelsimulatie wordt gegeven in Figuur 10. Bemerkt dat in de modelsimulatie de afwaartse en opwaartse randvoorwaarde aangepast wordt naar het hoog klimaatscenario. Voor de vergelijking van de resultaten te Mechelen over een periode van 15 dagen wordt een beperkte verhoging van het doortij en een toename van de getijslag waargenomen. Voor de vergelijking van de resultaten voor de Durme over een periode van 3 maanden is de peiltoename merkbaar hoger en is er hier en daar ook een afwijking in het tijdsverloop. Dit wordt verklaard doordat in het model, omwille van het beschouwde klimaatscenario, een andere opwaartse randvoorwaarde wordt opgelegd.

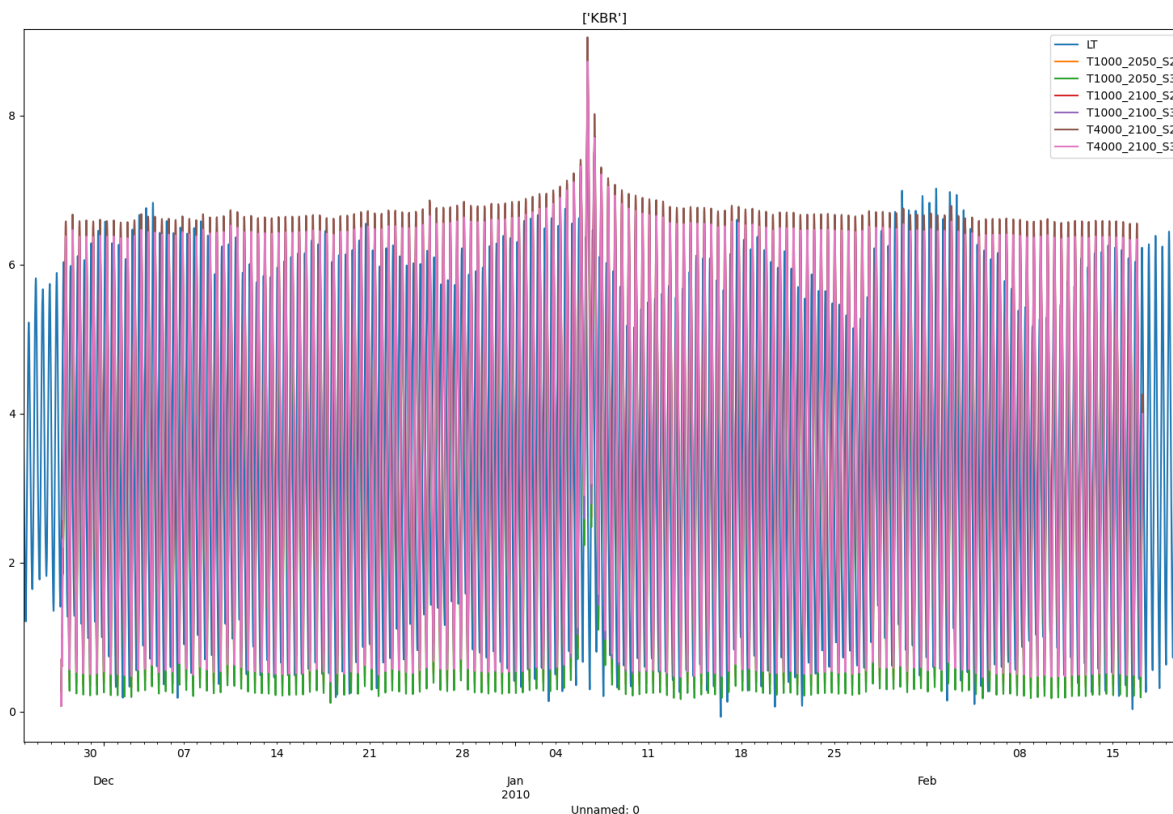


Boven: Resultaten ter hoogte van Mechelen gedurende een periode van 15 dagen;  
 Onder: resultaten ter hoogte van Waasmunster Manta gedurende een periode van ca. 3 maand

Figuur 10 – Vergelijking langdurige meetreeks met simulatie

#### 4.2.2 Synthetische storm

Figuur 11 geeft een voorstelling van het verloop van het waterpeil in de tijd ter plaatse van locatie KBR gedurende een synthetische storm, i.e. de T1000 en T4000 scenario's en vergelijkt deze met de lange termijn meetreeks. Bemerk dat dit artificiële scenario's zijn bestaande uit één duidelijke piekwaarde met een aanloop en afloop zonder springtij-doodtijvariatie. Voor de kansverdeling wordt hierom deze reeks bijgesneden vanaf het tijdstip op 5.5 getijden voor de storm tot en met het tijdstip op 5.5 getijden na de storm. Hieruit volgt een tijdreeks van in totaal 5 dagen 16 uur en 20 min (= 5.7 dagen).



Figuur 11 – Verloop waterpeil ter plaatse van locatie KBR voor verschillende synthetische stormen

#### 4.2.3 Kruihoogte dijken

De resultaten van de numerieke modellering zijn waterpeilen terwijl omwille van de praktische toepasbaarheid de classificatie van de terugslagkleppen zal gebeuren op basis van het verschil tussen bodempeil van de koker en de kruihoogte van de dijk. Voor de hoogte van de rivier- en ringdijken wordt het minimum genomen van de kruihoogte in het numerieke model en de zogenaamde Sigmahoogte. De Sigmahoogte betreft de streefhoogte van de dijken op een gegeven locatie. De gebruikte 'sigmahoogte' wordt overgenomen uit (Peeters *et al.*, 2009a). Per locatie zijn deze waarden gegeven in Tabel 4.

In het geval van overloofdijken worden voor de omzetting locaties gekozen waarbij binnen een, arbitrair gekozen, afstand van 2.0 km een GOG aanwezig is. Indien dit het geval is wordt het kruipeil van de overloofdijk bepaald uit de peilmeting van de kruin (peilmetingen kruin overloofdijken verkregen in kader van project 18\_049). De bepaling van de kruihoogte voor een gegeven GOG gebeurt aan de hand van een visuele interpretatie van de meetpunten. Bij de aanwezigheid van meerdere GOG's binnen de +/-2 km wordt de hoogste kruihoogte gehanteerd (= conservatief). Onderstaande tabel geeft voor de locaties met een GOG in de nabijheid de kruihoogte van de overloofdijk.

Tabel 4 – Gehanteerde kruinpeilen

tijpost	riviertak	Rivierdijken en ringdijken			Kruinpeil overlooptdijk [m TAW]
		Kruinpeil t.h.v. knooppunt in model [m TAW]	Sigmahoogte [m TAW]**	Gehanteerde kruinpeil [m TAW]	
Rumst tij/Nete	Beneden Nete	8.13	8.35	8.13	6.70
Mechelen Benedensluis tij Dijle	Dijle	8.11	8.35	8.11	/
Waasmunster Manta tij Durme	Durme	7.78	8.00	7.78	6.80
Boom	Rupel	7.70	8.35	7.70	/
Hemiksem	Zee schelde	8.47	8.75	8.47	6.80
Prosperpolder	Zee schelde	11.00	11.0-12.0	11.00	/
Dendermonde tij Zeeschelde	Zee schelde	8.33	8.00	8.00	6.40
Uitbergen tij Zeeschelde	Zee schelde	/*	8.00	8.00	6.75
Melle tij Zeeschelde	Zee schelde	7.48	8.00	7.48	/
Hombeek tij Zenne	Zenne	9.08	8.35	8.35	/
Zemst tij Zenne	Zenne	9.36	8.35	8.35	/

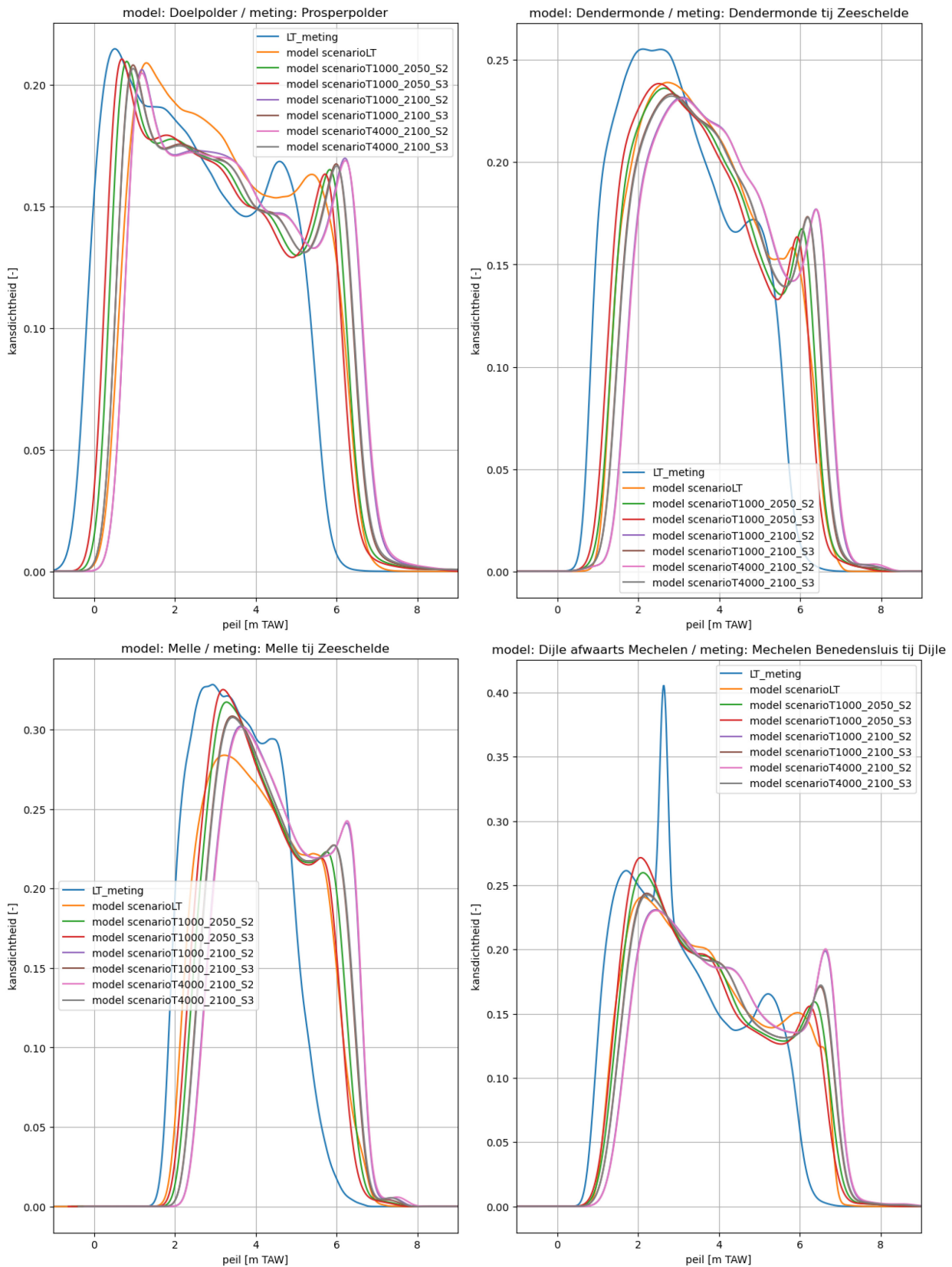
\* T.h.v. knooppunt enkel kruinpeil overlooptdijk ; \*\* Sigmahoogte o.b.v. Peeters *et al.* (2009a); / = Geen GOG gebieden met overlooptdijk in de nabije omgeving.

## 4.3 Bepaling belastingspectra

### 4.3.1 Vergelijking spectra waterpeilen

Als eerste vergelijking tussen de verschillende datareeksen (lange termijn simulatie, synthetische storm en metingen) wordt een kansdichtheid van de waterpeilen per locatie opgesteld. Voor een vier locaties wordt deze kansdichtheid overgenomen in Figuur 12. Hierin valt volgende op:

- Er is een offset in peil tussen de langdurige simulaties en de langdurige meetreeks, deze afwijking is te wijten aan de zeespiegelstijging. Deze offset neemt toe van de opwaarts gelegen locaties naar de afwaarts gelegen locaties.
- De vorm van de curven is gelijkaardig. Ook de vorm van de synthetische stormen is gelijkaardig aan deze van de lange termijn simulaties en van de metingen.
- Voor de metingen op de Dijle afwaarts Mechelen wordt een piek waargenomen. Uit een analyse van de tijdreeksen volgde dat de betreffende post hier over een langere periode een constante waarde opmat. Dit betreft vermoedelijk een meetfout. Omdat de lange termijn meting niet zal gebruikt worden voor het opstellen van de randvoorwaarden wordt deze constante waarde niet uit de reeks gefilterd.



Figuur 12 – Kansdichtheid waterpeil voor Prosperpolder, Dendermonde, Melle en Mechelen

#### 4.3.2 Samenvoegen modelresultaten tot spectra

Voor het bepalen van de kans op voorkomen wordt een combinatie gemaakt van de lange termijn simulatie en de T1000 en T4000 scenario's. Bemerkt dat de modelresultaten reeds genormaliseerd werden, i.e. de integraal van de kans op voorkomen is gelijk aan 1.0. De combinatie gebeurt door het vermenigvuldigen van de spectra van de lange termijn simulatie en het T1000 en T4000 scenario met een coëfficiënt die rekening houdt met de kans op voorkomen en deze vervolgens op te tellen.

Een eerste case wordt samengesteld op basis van de kans op voorkomen van het T1000 en T4000 scenario. Een storm met een terugkeerperiode van 1000 jaar heeft een kans van  $1E-3$  om voor te komen tijdens een gegeven jaar. Doordat voor de run van het T1000 scenario slechts een periode van 5 dagen 16uur en 20 min wordt meegenomen voor het histogram wordt de kans van  $1 \times 10^{-3}$  nog vermenigvuldigd met de verhouding van het scenario tot de duurtijd van één jaar ( $=5.68/365.26$ ). Op deze wijze wordt de kansdichtheid verdeling en histogram van het T1000 scenario vermenigvuldigd met de coëfficiënt  $1.55 \times 10^{-05}$ . Op een zelfde wijze wordt een coëfficiënt  $3.90 \times 10^{-06}$  bepaald voor het T4000 scenario. Voor de lange termijn simulatie wordt de coëfficiënt bepaald door 1 te verminderen met voorgaande coëfficiënten. Dit geeft volgende combinatie:

- $LT * 0.99998056 + T1000 * 1.55522E-05 + T4000 * 3.88806E-06$

Deze verdeling wordt enkel toegepast op het scenario met het klimaat scenario op datum 2100. Bemerkt dat het voor het T1000 scenario op datum 2050 weinig zinnig is om een vergelijking te maken met de lange termijn simulatie op datum 2100.

Tabel 5 – Gecombineerde kans op voorkomen – op basis van kans op voorkomen

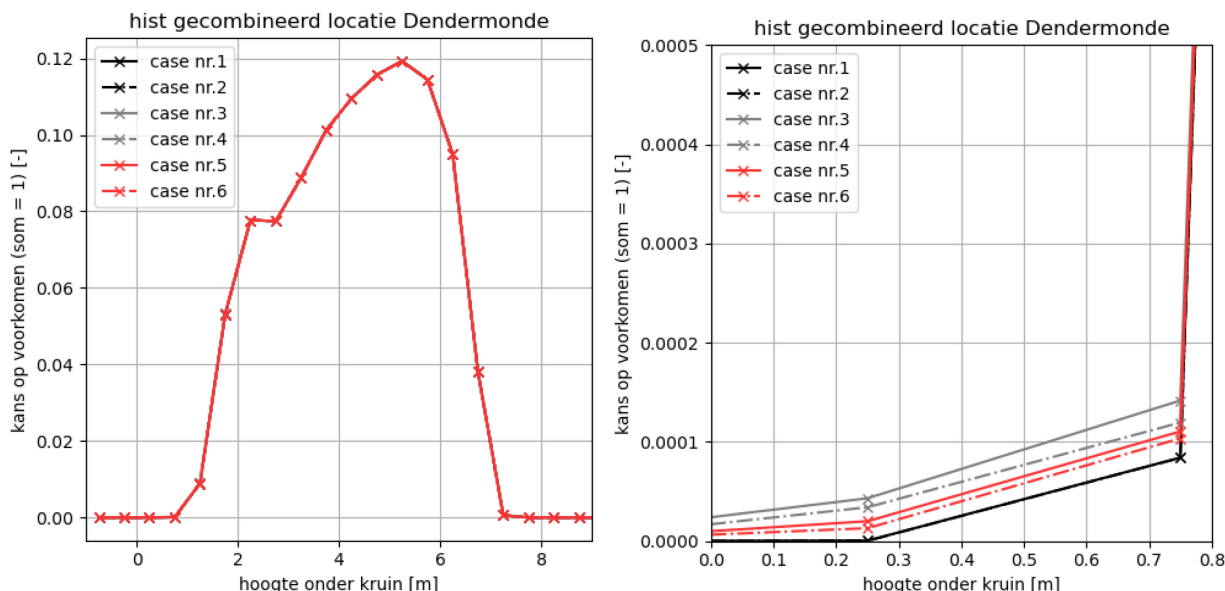
Case	Lange termijn	T1000	T4000
1	$0.99998056 * LT$	$1.55522E-05 * T1000\_2100\_S2$	$3.88806E-06 * T4000\_2100\_S2$
2	$0.99998056 * LT$	$1.55522E-05 * T1000\_2100\_S3$	$3.88806E-06 * T4000\_2100\_S3$

Bemerkt dat bovenstaande analyse geen rekening houdt met de kans op voorkomen van stormen met een terugkeerperiode tussen degene die opgenomen zitten in de lange termijn simulatie en een T1000 scenario, zoals bijvoorbeeld stormen met een terugkeerperiode van 200 jaar en 500 jaar. Als tweede methodiek wordt aan de langetermijn simulatie met een looptijd 18.8 jaar de 5 dagen van het T1000 en T4000 scenario toegevoegd. Aangezien het toevoegen van beide scenario's tot een overschatting zal leiden wordt ook een case samengesteld waarbij enkel het T1000 scenario wordt toegevoegd. De bijhorende coëfficiënten, op basis van de relatieve duurtijd van de simulaties, worden gegeven in Tabel 6.

Tabel 6 – Gecombineerde kans op voorkomen – op basis van toevoeging van het T1000 en T4000 simulatie

Case	Lange termijn	T1000	T4000
3	0.998353303 * LT	8.2334847E-04*T1000_2100_S2	8.2334847E-04*T4000_2100_S2
4	0.998353303* LT	8.2334847E-04*T1000_2100_S3	8.2334847E-04* T4000_2100_S3
5	0.999176652* LT	8.2334847E-04*T1000_2100_S2	
6	0.999176652* LT	8.2334847E-04*T1000_2100_S3	

De hieruit afgeleide spectra voor Dendermonde worden gegeven in Figuur 13.



rechterfiguur: detail van linkerfiguur tussen 0.0 m en 0.8 m hoogte onder de kruin

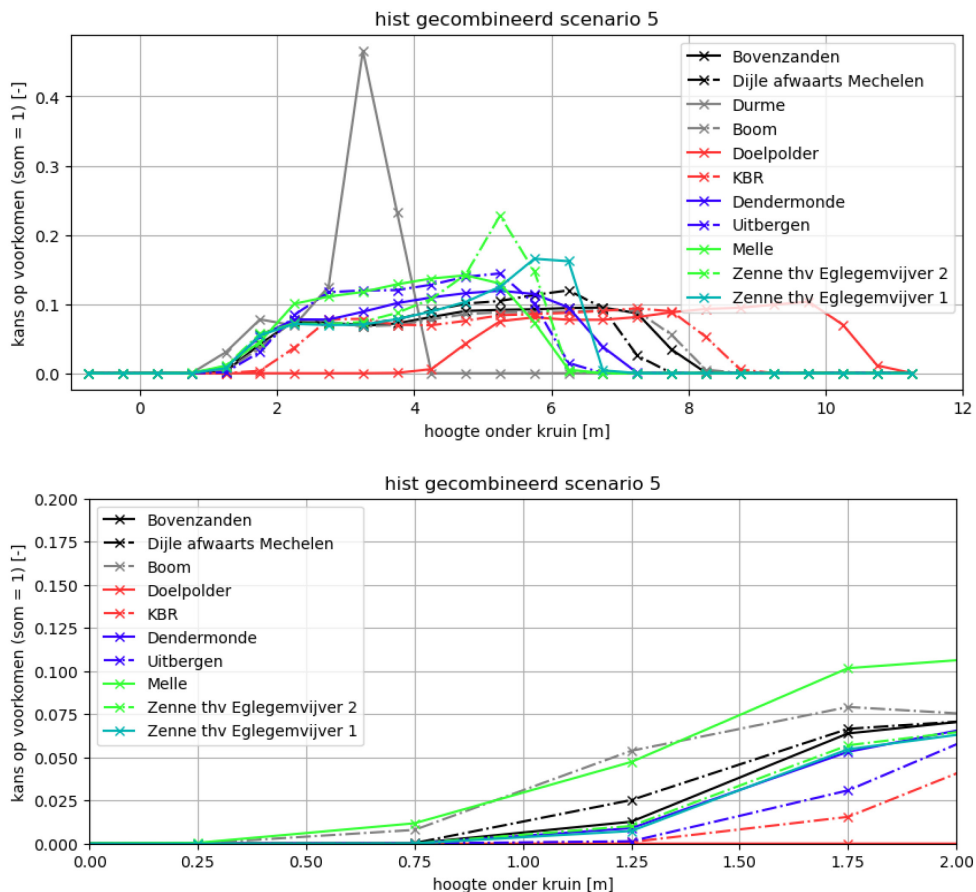
Figuur 13 – Gecombineerde histogram plot Dendermonde

Bemerk dat slechts bij sterk inzoomen op de uiteinden een verschil in kans van voorkomen vastgesteld wordt tussen de verschillende cases. Zoals hierboven vermeld worden bij case 1 stormen met een voorkomingsfrequentie tussen de stormen in het langetermijn scenario en het T1000 scenario niet beschouwd. Bij Case 3 wordt het toevoegen van zowel het T1000 als het T4000 scenario beschouwd als een sterke overschatting. Om die reden wordt voor de dimensionering Case 5 beschouwd.



### 4.3.3 Keuze belastingspectra

Op basis van case 5, lange termijn simulatie met aansluitend een T1000 event met klimaatscenario S2 voor het jaar 2100, wordt per locatie een histogram opgemaakt van de rivierhoogte ten opzichte van de kruinhoogte, zie Figuur 14. Omdat uit de eerdere analyse op basis van de lange termijn meetreeks volgde dat de hoogste peilen, alhoewel deze slechts sporadisch voorkomen, toch maatgevend kunnen zijn wordt in Figuur 14 ook een detail gegeven van het histogram voor waterhoogtes tussen 0 m en 2.0 m onder de kruin.

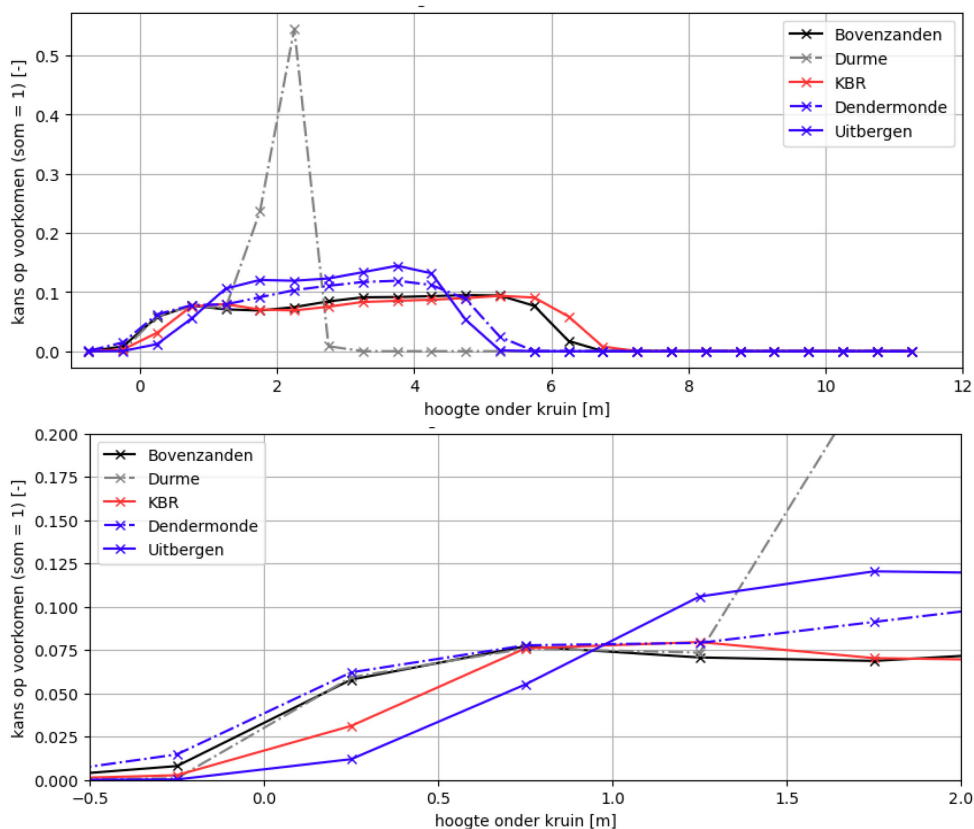


De figuur onderaan betreft een detail van de figuur bovenaan

Figuur 14 – Kans op voorkomen van waterhoogte onder de kruin voor de beschouwde locaties

Uit Figuur 14 volgt dat opwaarts KBR en Boom de getijslag begint af te nemen. De getijslag op de Durme is hierbij merkbaar kleiner dan voor de overige locaties. Ook uit de vergelijking van het bodempeil ten opzichte van de kruinhoogte, zie Tabel 4, volgt dat de rivier hier merkbaar ondieper is. Om deze reden wordt de locatie Durme niet verder beschouwd. De locatie Doelpolder wijkt af. Dit is het gevolg van de hogere overhoogte van de dijken afwaarts Antwerpen. Bemerkt dat de dijkhoogte afwaarts Antwerpen toeneemt van 8.35 m TAW naar 11.0 m TAW. In de bestektekst gaan voor het Sigmagebied twee types HDPE kleppen voorzien worden. Voor de meer afwaarts gelegen locaties is de getijslag groter en kan ook het hoogteverschil tussen kruinpeil en bodempeil koker groter zijn dan voor de meer opwaarts gelegen locaties.

Voor de uitstromingsconstructie van een overlooppdijk zal na overloop overheen de rivierdijk het drukverschil overheen de klep snel afnemen. Om deze reden wordt voor deze kleppen een afzonderlijke bepaling van het toegelaten verval per type klep uitgevoerd. Het spectrum voor de locaties met een Gecontroleerd overstromingsgebied in de nabijheid wordt gegeven in Figuur 15.



De figuur onderaan betreft een detail van de figuur bovenaan

Figuur 15 – Kans op voorkomen van waterhoogte onder de kruin van de overloopdijk voor de beschouwde locaties

Voor de dimensionering is een snelle opbouw van de waterhoogte onder de kruin maatgevend. Op basis hiervan wordt uit Figuur 14 en Figuur 15 een maatgevend spectrum afgeleid voor een zogenaamde type 1 klep, bedoeld voor locaties met een groter hoogteverschil, en een maatgevend spectrum voor een zogenaamde type 2 klep, bedoeld voor locaties met een kleiner hoogteverschil. Voor rivier en ringdijken wordt voor het type 1 klep de locatie te Boom als maatgevend beschouwd en voor het type 2 klep de locatie te Melle. Voor overloopdijken wordt voor het type 1 klep de locatie te KBR als maatgevend beschouwd, voor het type 2 klep de locatie te Dendermonde.

De hier geselecteerde maatgevende belastingspectra worden als randvoorwaarde gebruikt voor de dimensionering van de zogenaamde Sigmakleppen volgens de rekenmethodologie beschreven in Debruyne (2023), zie bijlage B.

## 5 Aanpassingen bestektekst HDPE terugslagkleppen

In onderhavig hoofdstuk worden kort de belangrijkste aanpassingen aan de bestektekst gekaderd. De uiteindelijk bekomen bestektekst wordt gegeven in bijlage A.

Voor de modellering van de hydrostatische belasting maakt de bestektest onderscheid in volgende types kleppen:

- Kleppen waarbij de maximale materiaalspanning, onder invloed van de grootst voorkomende hydrostatische druk, kleiner is dan 4MPa. Hier dient niet verder te worden gecontroleerd op kruipsterkte, aangezien deze belasting gedurende 100% van de tijd is toegelaten. De grootst voorkomende hydrostatische druk wordt bepaald als het verschil tussen het maximale waterpeil en het centerpeil van het klepvlak. Hierbij is reeds rekening gehouden met de levensduur van 30 jaar, de temperatuur van 20 °C, de lasfactor en de statische veiligheidsfactor.
- Voor kleppen waarbij de maximale spanning groter is dan 4MPa dient in de dimensionering rekening gehouden te worden met kruip. Hiervoor dient de methodologie beschreven in Debruyne, D. (2023), zie bijlage B, gevolgd te worden.

Op basis van de methodologie beschreven in Debruyne (2023) worden voor het Sigmagebied twee types kleppen gedefinieerd. Beide types kleppen dienen gedimensioneerd te worden door op het klepvlak een uniform verdeelde belasting van 49 kN/m<sup>2</sup> op te leggen wat overeenkomt met de belasting van een waterkolom met hoogte 5.0 m ter hoogte van het center van het klepvlak. In de koker zelf wordt geen tegendruk opgelegd. Het onderscheid tussen beide types kleppen betreft de toelaatbare spanning bij deze waterhoogte:

- type 1: toelaatbare spanning 3.0 MPa,
- type 2: toelaatbare spanning 5.5 MPa.

Indien het type klep niet voorgeschreven is kan voor de kleppen in het Sigmagebied, zijnde de Zeeschelde en haar tijgebonden zijrivieren, de maximale toelaatbare hydrostatische druk bepaald worden als het verschil tussen het kruinpeil en het centerpeil van het klepvlak. Er worden twee toepassingen beschouwd. De eerste betreft de plaatsing van een terugslagklep in een rivierdijk, kaaimuur of ringdijk waarbij er bij uitzondering van zeer extreme scenario's geen overloop optreedt. De tweede betreft de kleppen voor de uitwateringsconstructie van een Gecontroleerd OverstromingsGebied (GOG). Het maximale hoogteverschil voor beide types in functie van het toepassingsgebied wordt gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 – Toepassingsgebied type 1 en type 2 kleppen voor het Sigmagebied

Max. hoogte verschil tussen kruin en bodempeil koker	Toepassingsgebied Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren	
	Rivierdijk, kaaimuur of ringdijk [m]	Uitwateringsconstructie GOG [m]
Type 1	8,0	7,0
Type 2	4,5	4,0

Voor de dimensionering wordt opgelegd dat dit dient te gebeuren aan de hand van een eindige elementen modellering, of gelijkwaardig.

Ter vergelijking werd ook een berekening uitgevoerd op een traditionele terugslagklep bestaande uit een houten kader met staal bekleed. De dimensionering wordt beschreven in bijlage C van dit rapport en leidt voor het bepalen van de openingsdruk tot het oplossen van een vierdegraadsvergelijking met de waterdruk op de klep als parameter. Bij opstellen onder een hoek van 3° resp. 6° opent de klep vanaf een waterhoogte 0.088 m resp. 0.125 m in de koker en geen waterdruk tegen de klep aan rivierzijde.

De staalplaat werd samen met de houten kader gemodelleerd in de software SCIA Engineer 18.1 voor een aantal belastingssituaties.

Hieruit volgen volgende bevindingen:

- 
- Voor de te keren waterdruk wordt geen oplossing gevonden voor de situatie met perfecte aanslag en partiële belastingfactor 1.35, de toelaatbare waterdruk is bijgevolg lager dan de beschouwde ondergrens van 4.6 m waterkolom. Als de factor op 1.00 gesteld wordt kan de klep een waterdruk van 5.6 m waterkolom aan.
- In de situaties met een obstakel aan 1 zijde of in 1 hoek is er geen oplossing.
- Bij een obstakel aan 2 zijden of over de onderrand kan de klep een waterdruk van 5.6 m opnemen.

De traditionele terugslagkleppen worden geproduceerd volgens plan waarbij het vertrouwen in de sterkte van het ontwerp ervaring gebaseerd is. Uit de in bijlage C uitgevoerde dimensionering volgt dat de traditionele klep niet voor alle situaties binnen het Sigmagebied volstaat en dat een dimensionering per case nodig is.

In de eerste versie van de bestektekst werd een modellering voorgeschreven van een door zonlicht opgewarmd klepvlak. In de opgelegde case werd de voorzijde van het klepvlak opgewarmd tot 80°C waarbij de achterzijde van de klep en de overige onderdelen, waaronder ook de ribben, op 20°C bleven. Uit de door studie bureau Indurium uitgevoerde dimensionering volgde dat de hieruit volgende belasting op de klep gelijkaardig is aan de hydrostatische belasting maar deze niet overschrijdt. Ook werd het beschouwde scenario waarbij het klepvlak opwarmt tot 80°C maar waarbij de ribben op 20°C blijven als te conservatief beschouwd. Om deze reden werd besloten om de modellering van de thermische belasting niet te weerhouden. Wel wordt opgelegd dat aangetoond dient te worden dat een thermische uitzetting van 13 mm/m, wat overeenkomt met een temperatuuroename van 20°C naar 80°C, kan opgenomen worden door speling in de scharnieren.

Zowel door de producenten als door dVW werd aangehaald dat de vlakheid van de betonnen wand waartegen het kader van de klep gemonteerd wordt in veel gevallen niet voldoet. Het bevestigen van een klep op een oneffen ondergrond resulteert in een vervorming van het kader wat leidt tot bijkomende spanningen in het klepvlak en torsie in de scharnieren. In overleg met de producenten en dVW werd een tolerantie van 4 mm/m bepaald voor de vlakheid van de wand. Indien deze vlakheid niet gehaald wordt dient een uitvulkader of betonherstelling toegepast te worden.

Het materiaal HDPE heeft een lagere densiteit dan water. Om deze reden dient ballast toegevoegd te worden. Door het excentrisch plaatsen van deze ballast zijn HDPE kleppen zelfsluitend. Op basis van de ervaringen van de producenten en dVW-ARC werd besloten om de kleppen standaard toch onder hoek te plaatsen. Dit heeft als voordeel dat bij niet volledig ondergedompelde kleppen het gewicht van de klep meehelpt aan het gesloten houden van de klep bij het voorkomen van golven. Deze hoek kan gerealiseerd worden in het kader van de klep.

De krachten op de scharnieren worden via het kader afgedragen naar de nabijgelegen bevestigingspunten. Hierbij treedt momentwerking op in het HDPE kader nabij de scharnieren. Om die reden werd door DVW-ARC soms in de bestektekst opgelegd om het kader in te klemmen door middel van stalen beplating. In de nieuwe standaardbestektekst wordt voorgeschreven om rondom elk scharnierpunt 4 bevestigingspunten te voorzien.

De sterkte van de klep staat of valt met de kwaliteit van de lassen. Uit navraag bij de producenten en bij experts volgde dat er voor dergelijke HDPE lassen geen goede algemeen aanvaarde controlemethodiek bestaat. Voor HDPE lassers bestaat ook geen certificering zoals dit wel het geval is voor staal. In overleg met de producenten en de experts werd een beschrijving gegeven van de lasprocedure en werd de mogelijkheid gegeven aan de opdrachtgever om het lassen bij te wonen en hierbij een teststuk te verkrijgen.

HDPE platen kunnen enige vervorming vertonen. Wanneer bij productie het klepvlak vastgeklemd wordt en vervolgens de schoepen gelast worden kunnen inwendige spanningen ontstaan. Deze inwendige spanningen zijn nadelig voor de sterkte. In de bestektekst wordt hierom een tolerantie opgelegd aan de hoekpunten bij controle op een vlaktafel.

Door DVW-ARC werd op moment van opmaak van de bestektekst al standaard een dubbel scharnierende ophanging opgelegd. Een dubbelscharnierende ophanging is voordelig voor het beperken van de spanning ter hoogte van de scharnieren bij vuilinklemming. Een dubbelscharnierende ophanging wordt om deze reden ook opgelegd in de standaard bestektekst. Op basis van expert judgement werd een minimum afstand bepaald tussen beide scharnierpunten.

Uit de ervaringen van dVW volgde dat terugslagkleppen niet altijd even goed afsluiten. Als minimum waarde wordt opgelegd dat de klep druppelwaterdicht dient te zijn. Dit wil zeggen dat het water in kerende situatie geen straal mag vormen. Druppels zijn wel toegelaten. Op vraag van de opdrachtgever kan een test uitgevoerd worden waarbij de polderzijde afgedamd wordt en het inwateringsdebiet afgeleid wordt uit de stijghoogte en het ingedamde oppervlak.

## 6 Besluit

Op vraag van De Vlaamse Waterweg – afdeling Regio Centraal hebben afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en afdeling expertise Beton en Staal in samenwerking met twee onafhankelijke experts en de bij DVW gekende producenten een nieuwe standaardbestektekst opgesteld voor rechthoekige HDPE terugslagkleppen voor kokers met gravitaire uitwatering. Deze nieuwe standaard bestektekst is toegevoegd als Bijlage A van dit rapport. Dit rapport bundelt de inzichten opgedaan tijdens dit traject, geeft achtergrondinformatie bij de standaardbestektekst, kadert enkele keuzes en geeft aanbevelingen.

Als eerste werd een literatuurstudie en een rondvraag uitgevoerd. Hieruit volgde dat HDPE kleppen als voordeel hebben dat ze beter hanteerbaar zijn omwille van het lagere gewicht. Door de beperkte dichtheid van HDPE is ook de openingshoek groot waardoor de drukval over de klep beperkt is en de vismigereerbaarheid veel beter is in vergelijking met een traditionele klep. Hiernaast zijn HDPE kleppen merklijk goedkoper dan traditionele kleppen uit staal of een houten kader met staal bekleed. Een ontwerp levensduur van 30 jaar voor HDPE kleppen is realistisch. Een nadeel is dat HDPE kleppen minder robuust worden geschat dan stalen of traditionele kleppen. Meer specifiek vuilinklemming wordt als een risico aanzien voor HDPE kleppen. Door DVW-ARC werden 4 schadegevallen van HDPE kleppen opgegeven. Een aantal van deze schadegevallen is mogelijk toe te wijzen aan vuilinklemming. Meegegeven wordt dat bij enkelscharnierende kleppen heel grote spanningen ontstaan in het scharnier bij vuilinklemming en dat hierom voor nieuwe kleppen een dubbelscharnierende ophangingen wordt opgelegd. Ook de lassen zijn een aandachtspunt. Bij één schadegeval waren de verstijvingschoepen afgebroken en bij een inspectie werd het loskomen van een verstijvingschoep vastgesteld.

Met deze informatie werd contact gezocht met de gekende leveranciers van HDPE terugslagkleppen. Uit deze gesprekken volgde dat voor het materiaal HDPE geen specifieke normering bestaat zoals wel het geval is voor andere bouwmaterialen zoals staal en hout. Een bijkomende complexiteit is dat voor HDPE kruip in rekening genomen moet worden. Ook voor het lassen zijn er in tegenstelling tot staal geen kant en klare inspectie technieken en certificatie instellingen beschikbaar. Om deze redenen werd besloten om externe expertise in te schakelen van het Vlaams Kunststof Centrum en het studie bureau Indurium gespecialiseerd in de dimensionering van kunststof. Met behulp van de ingeschakelde externe experts en een nieuwe rondvraag bij de producenten werd een standaard bestektekst opgemaakt. De voornaamste wijzigingen ten opzichte van de bestaande bestektesten zijn:

- Een beschrijving van het lasproces.
- Een voorgeschreven dimensionering met een eindige elementen model of gelijkwaardig waarbij rekening wordt gehouden met kruip vanaf het moment dat de spanning in de klep bij de maximaal voorkomende belasting hoger is dan 4 MPa.
- Voor het Sigmagebied worden op basis van deze dimensionering twee types kleppen afgeleid. De keuze van het type dient gemaakt te worden op basis van het hoogteverschil tussen bodempeil koker en kruinhoogte en het toepassingsgebied ( een rivier- of ringdijk of een overlooptdijk).
- Een vlakheid wordt opgelegd voor de wand waartegen de klep bevestigd wordt en voor het klepvlak.
- Een beschrijving van de scharnieren en de bevestigingspunten rondom de scharnieren.
- Een criterium voor de lekdichtheid en een proef die op vraag van de opdrachtgever opgelegd kan worden.

In de standaardbestektekst wordt voor de dimensionering enkel de te keren waterdruk op een 4 zijdig opgelegde klep en de belasting ten gevolge van bestraling door zonlicht beschouwd. Uit de door Indurium uitgevoerde dimensionering van typische terugslagkleppen van een drietal producenten volgde dat het doorrekenen van vuilinklemming niet mogelijk is zonder plastische vervorming in rekening te nemen. Het toelaten van plastische vervorming valt buiten een standaard dimensionering en wordt hierom niet weerhouden. Een andere belangrijke belasting betreft golfwerking. Voornamelijk schuin inkomende golfwerking met een korte golflengte, zoals secundaire golven ten gevolge van scheepvaart, resulteren in een grote torsiekracht op het klepvlak van een geopende terugslagklep. Binnen het projectteam en in overleg met de producenten werd geen geschikte methodiek gevonden om impact van golfwerking op de klep te dimensioneren. Een laatste belangrijke belasting betreft schroefwerking. De impact ten gevolge van schroefwerking is sterk locatieafhankelijk en dient hierom case per case bekeken te worden. Hoe de impact van schroefstraalwerking op een geopende klep gedimensioneerd dient te worden is niet duidelijk.

Doordat rekening gehouden dient te worden met de kruip is de dimensionering complexer dan voor stalen terugslagkleppen. Enkel kleppen waarbij onder maatgevende belasting de spanning lager is dan de zogenaamde kruipgrens kunnen volgens een klassieke eindige elementen modellering gedimensioneerd worden met verwaarlozen van kruip. Voor de kleppen in het Sigmagebied zal vrijwel steeds kruip in rekening genomen moeten worden. De dimensionering dient hierbij uitgevoerd te worden op basis van een accumulatie van schade. Het principe hierachter is dat elke belasting voor een bepaalde schade zal zorgen. Het optellen van de schades op het einde van de levensduur dient hierbij kleiner te blijven dan de toegelaten schade. Voor deze dimensionering is het nodig om het maatgevend belastingspectrum te kennen dat de klep zal ondervinden tijdens zijn levensduur. Uit een eerste analyse op basis van belastingspectra afgeleid uit continue metingen volgde dat de hoogste peilen in belangrijke mate de uitkomst bepaalden. Om deze reden werden door WL op basis van modellering de verwachte belastingspectra bepaald met een outlook tot 2100. Van deze belastingspectra werd een spectrum beschouwd voor kleppen in het Sigmagebied met een grotere te keren waterdruk, de zogenaamde type 1 kleppen, en een spectrum voor kleppen in het Sigmagebied met een kleinere te keren waterdruk, de zogenaamde type 2 kleppen. Voor beide types kleppen werd op basis van de belastingspectra een maximale waterhoogte bepaald, als het verschil tussen kruinpeil en bodempeil koker, en een maximale toelaatbare spanning horende bij een klassieke eindige momenten modellering van de klep bij keren van een waterdruk van 5 m. Op deze wijze dient niet voor elke nieuwe klep een modellering uitgevoerd te worden. Bij kleppen binnen het Sigmagebied met een grotere waterdruk dan toegelaten voor de zogenaamde type 1 klep of voor kleppen buiten het Sigmagebied waarbij bij maatgevende belasting 4MPa overschrijdt zal evenwel een volledige modellering uitgevoerd worden waarbij kruip in rekening genomen moet worden. De grootste complexiteit hierbij is het opstellen van een maatgevend belastingspectrum.

## 7 Referenties

- Australian water industry.** (2015). Australian Technical Specification for Fabricated Water Control Infrastructure (*August*): 1–35
- De Roo, S.** (2014). Experimental Study of the Hydrodynamic Performance of a Nature-Friendly Bank Protection Subject to Ship Waves in a Confined, Non-Tidal Waterway. UGent. ISBN 9788578110796. 186 pp.
- Debruyne, D.** (2023). Technische nota TOELICHTING BEREKENINGSWIJZE TERUGSLAGKLEPPEN VOLGENS EN 1778. 1–6 pp.
- Environment Agency.** (S.d.). Elver and eel passes A guide to the design and implementation of passage solutions at weirs, tidal gates and sluices The Eel Manual– GEHO0211BTMV-E-E. 101 pp.
- Giannico, G.; Souder, J.A.** (2005). Tide Gates in the Pacific Northwest (*May*): 28
- IMDC NV; TDE; Maertens, J.** (2010). Onderzoek naar de bresgevoeligheid van de Vlaamse winterdijken Windgolfbelasting in het bekken van de Zeeschelde. 58 pp.
- Kolokythas, G.; Meire, D.; De Roo, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2019). Wave measurements at Galgeschoor: sub report 1. Analysis of velocities and waves during an intensive measuring campaign (November 2015). Version 4.. *FHR reports, 15\_054\_1*. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=317597>
- MarCom Working Group 180.** (2015). Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships. *PIANC Report*. PIANC: Brussels. ISBN 978-2-87223-223-9
- Meire, D.; Kolokythas, G.; Smolders, S.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2019). Agenda voor de Toekomst – Waves in the estuary: analysis of wave measurements at Saeftinghe. Version 2.. *FHR reports, 14\_082\_1*. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=318351>
- Meire, D.; Levy, Y.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2020). Agenda voor de Toekomst – Waves in the Scheldt estuary: analysis of wave measurements at Appels (Dendermonde). Version 2.. *FHR reports, 14\_082\_2*. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=334161>
- Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2021a). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: analyse van golfmetingen bij de Notelaer (Rupelmonde). Versie 5.0. *WL Rapporten, 14\_082\_3*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=334263>
- Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2021b). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: deelrapport 4. Analyse van golfmetingen ter hoogte van de Hooge Platen. Versie 3.0. *WL Rapporten, 14\_082\_4*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=334264>
- Peeters, P.; Taverniers, E.; Mostaert, F.** (2009a). Studie ten behoeve van aanleg van overstromingsgebieden en natuurgebieden in het kader van het Sigmaplan: hydraulische randvoorwaarden voor toetsen op en ontwerpen naar veiligheid. *WL Rapporten, 713\_15a*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Peeters, P.; Verzhbitskiy, L.; Maris, T.; Stevens, M.; Viaene, P.** (2009b). On-site evaluation of a fish-friendlier tide gate design, *in*: (2009b). *33 rd IAHR Congress Water Engineering for a Sustainable Environment, 9-14 August 2009, Vancouver, British Columbia, Canada [CD-ROM]*. IAHR = AIRH. ISBN 978-90-78046-08-0. pp.[1-8]
- Rijkswaterstaat.** (2003). Natuurvriendelijke oevers. DIPRO+ versie dec. 03 (CD-ROM)
- Rijkswaterstaat.** (2018). Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie. Groene versie 2018 (*november*)



**Smolders, S.; Vercruyse, J.B.; Visser, K.P.; Henderick, A.; Coen, L.; Mostaert, F.** (2018). Sigmaplan – Vismigratie gereduceerde getijdegebieden: bepalen debiet in- en uitwatering GOG-GGG Bergenmeersen en Bazel. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 16\_094\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://www.vliz.be/nl/open-marien-archief?module=ref&refid=304386>

**Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW).** (2003). Leidraad Kunstwerken. 315 pp.

**Vercruyse, J.B.; Visser, K.P.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Sigmaplan - Vismigratie Gereduceerde Getijdegebieden: opmeting van helling terugslagklep en debiet te Bergenmeersen. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 15\_034. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

**Vereecken, H.; Viaene, P.; Mostaert, F.** (2006). Vismigratie op getijgebonden rivieren: eindrapport literatuurstudie. *WL Rapporten*, 668. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 19 pp.

**Vermeersch, S.; Baeyens, R.; Coeck, J.; De Maerteleire, N.; Gelaude, E.; Robberechts, K.; Pieters, S.; Smolders, S.; Vercruyse, J.; Visser, K.P.** (2021). Evaluatie van de in- en uitwateringsluizen van overstromingsgebieden voor vismigratie: een case studie voor Bazel en Bergenmeersen. *Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*, 2021. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO): Brussel. Available at: <https://dx.doi.org/10.21436/inbor.39514496>

**Vlaamse Overheid afdeling Wegen en Verkeer.** (2017). Standaardbestek 270 Deel II Hoofdstuk 45 Waterhydraulica

## 8 Bijlage A: standaardbestektekst

Versie 19092024

### AB HDPE Terugslagkleppen voor wandmontage

#### ab.1 Beschrijving

Paragraaf ab is enkel van toepassing voor terugslagkleppen die gravitair uitwateren. Terugslagkleppen die dynamische belastingen ondergaan, zoals bvb. aan de uitstroom van pompen, zijn geen onderwerp van deze tekst.

De terugslagkleppen zorgen voor een waterdichte afsluiting zodat geen terugstroming kan optreden. De terugslagkleppen bestaan uit een in de (beton)wand verankerde HDPE aanslagkader en een dubbelscharnierende klep in HDPE met EPDM dichtingsband die de eigenlijke afsluiting vormt.

Inbegrepen zijn de studie, plannen en alle leveringen en plaatsingen van kleppen, aanslagkaders, dichtingen, bouten, assen, borgingen, chemische ankers, lassen en alle andere onderdelen om de klep te laten functioneren. Evenals alle afregelingen en testen.

Indien de opgelegde vlakheid van de wand waartegen de kleppen geplaatst worden niet gehaald is, wordt aanbevolen om een uitvulframe te monteren tussen beton en kader. De vlakheid van de wand is zeker bij renovatie een aandachtspunt. Dit eventueel bijkomend uitvulframe met draadstiften, instortankers, ondervulling, enz. wordt vergoed in de aparte post.

##### ab.1.1 Materialen

De klep en aanslagkader worden uitgevoerd in kwaliteit HDPE PE100. De leverancier dient de certificaten van het gebruikte materiaal over te maken op vraag van de aanbestedende overheid.

De scharnierassen, het tegengewicht en de bouten zijn vervaardigd uit corrosievast staal. Alle stalen onderdelen en bevestigingsmiddelen zijn uit corrosievast staal van de soort X5CrNiMo17-12-2 (materiaalnummer 1.4401) volgens NBN EN 10088-2 (equivalent van AISI 316) en volgens de bepalingen van SB 260-26-1.

De EPDM dichtingen zijn volgens de bepalingen van SB 260-32-15.

De verankeringen zijn volgens de bepalingen van SB 260-32-6.

De zwelbanden zijn volgens SB 260-25-4.2 8.2 (13).

## ab.1.2 Uitvoering

### ab.1.2.1 Rekenvoorwaarden

De klep opent reeds bij een waterstand van 100 mm opwaarts en geen water aan de afwaartse kant.

De sterkte van de klep zal geverifieerd en aangetoond worden met behulp van een eindige elementen berekening of gelijkwaardig. De gebruikte aannames en bijzonderheden van de berekening, alsook de bekomen resultaten en besluiten, dienen als afzonderlijk rapport door de fabrikant aangeleverd te worden.

De uitgangspunten voor wat betreft toelaatbare spanningsniveaus zijn gebaseerd op EN 1778 (“Karakteristieke waarden voor gelaste constructies van thermoplasten - Bepaling van de toelaatbare spanningen en moduli voor het ontwerpen van onderdelen van thermoplasten”):

- De kruipsterkte van het HDPE werd bepaald op basis van een levensduur van 30 jaar bij een gemiddelde temperatuur van 20 graden Celsius.
- De reductie van de kruipsterkte ter hoogte van de lassen wordt in rekening gebracht via een lange-termijn lasfactor 0,6 wat correspondeert met extrusielasanen.
- Gezien de waterniveaus slechts geleidelijk schommelen wordt een statische veiligheidsfactor van 1,3 toegepast.
- Er worden geen chemische interacties met het milieu verondersteld die de kruipsterkte verder zouden kunnen reduceren.

Wanneer de maximale materiaalspanning in het HDPE, onder invloed van de grootst voorkomende hydrostatische druk, kleiner is dan 4MPa, dient niet verder te worden gecontroleerd op kruipsterkte, aangezien deze belasting gedurende 100% van de tijd is toegelaten. De grootst voorkomende hydrostatische druk wordt bepaald door het maximale waterpeil – centerpeil van het klepvlak. Hierbij is reeds rekening gehouden met de levensduur van 30 jaar, de temperatuur van 20 °C, de lasfactor en de statische veiligheidsfactor.

Voor onderdelen die niet uit HDPE vervaardigd zijn (bijvoorbeeld staal), dient een globale veiligheidsfactor van 1,5 toegepast te worden op de vloeigrens van het respectievelijke materiaal, en dit bij de karakteristieke waarde van de grootst voorkomende hydrostatische druk.

Voor kleppen waarbij de maximale spanning in het HDPE groter is dan 4MPa dient in de dimensionering rekening gehouden te worden met kruip. Hiervoor dient de methodologie beschreven in Debruyne, D. (2023)<sup>3</sup> gevolgd te worden.

Voor onderdelen die niet uit HDPE vervaardigd zijn én tevens niet kruipgevoelig zijn (bijvoorbeeld staal), dient een statische veiligheidsfactor van 3 toegepast te worden op de vloeigrens van het respectievelijke materiaal, en dit bij dezelfde equivalente waterkolomhoogte als gebruikt voor de dimensionering van het HDPE.

---

<sup>3</sup> Debruyne, D. (2023) Technische Nota - Toelichting berekeningswijze terugslagkleppen volgens EN 1778.

Op basis van deze methodologie worden voor het Sigmagebied twee types kleppen opgesteld. Beide types kleppen dienen gedimensioneerd te worden door op het klepvlak een uniform verdeelde belasting van 49 kN/m<sup>2</sup> op te leggen wat overeenkomt met de belasting van een waterkolom met hoogte 5,0 m ter hoogte van het center van het klepvlak. In de koker zelf wordt geen tegendruk opgelegd. Het onderscheid tussen beide types kleppen betreft de toelaatbare spanning bij deze waterhoogte:

- type 1: toelaatbare spanning 3,0 MPa,
- type 2: toelaatbare spanning 5,5 MPa.

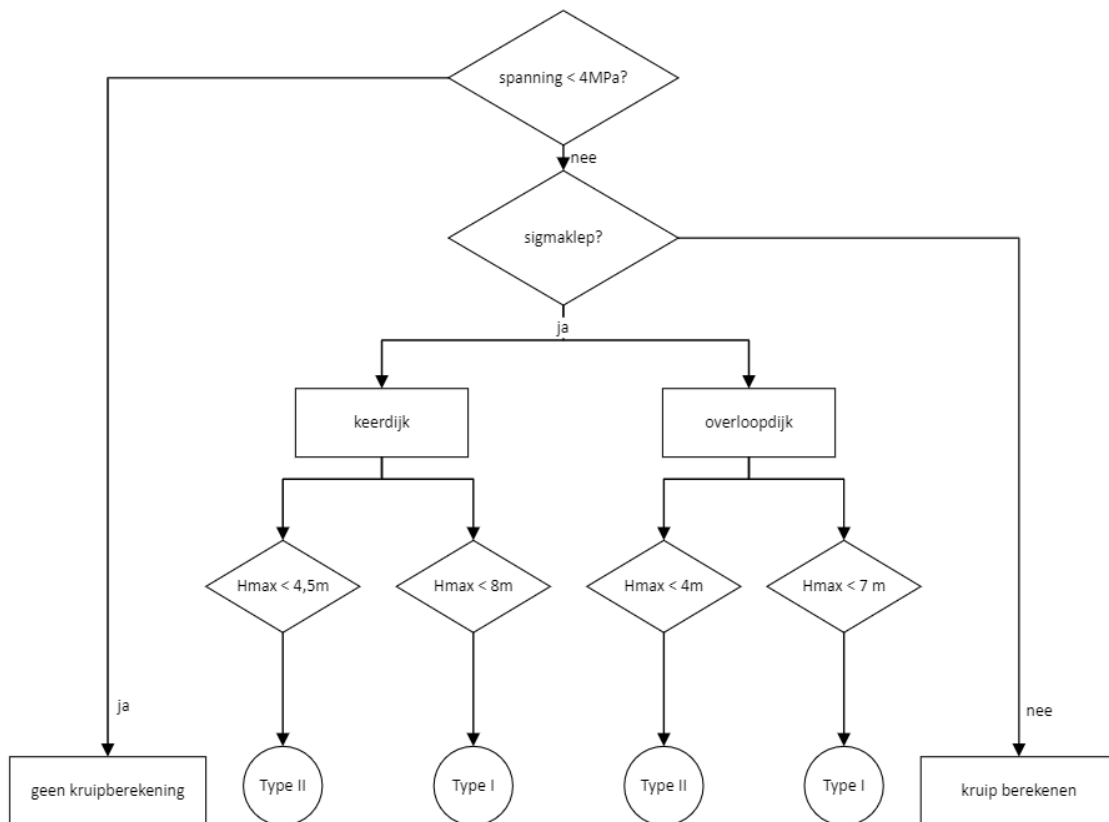
Het type klep wordt voorgeschreven in de opdrachtdocumenten. Indien het type klep niet voorgeschreven is kan voor de kleppen in het Sigmagebied, zijnde de Zeeschelde en haar tijgebonden zijrivieren, de maximale toelaatbare hydrostatische druk bepaald worden als het verschil tussen het kruinpeil en het centerpeil van het klepvlak. Er worden twee toepassingen beschouwd. De eerste betreft de plaatsing van een terugslagklep in een keerdijk (of rivierdijk, kaaimuur, ringdijk) waarbij er bij uitzondering van zeer extreme scenario's geen overloop optreedt. De tweede betreft de kleppen voor de uitwateringsconstructie van een overlooppdijk bij bijvoorbeeld een Gecontroleerd OverstromingsGebied - GOG).

Het toe te passen type klep is type .  Invullen indien niet opgenomen in de opdrachttekeningen. Keuze tussen 1 of 2, afhankelijk van toelaatbare spanning.

Bij de dimensionering van kunststof dient rekening gehouden te worden met de duurtijd van de belasting. Voor een aantal locaties langsheen de Schelde en haar getijderivieren heeft DMOW-Xperta afdeling Waterbouwkundig Laboratorium distributies bepaald die representatief zijn voor de dagdagelijkse condities tot en met een storm met terugkeerperiode 1000 jaar. Bij het opgelegde scenario werd ook rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 0,8 m (= klimaatscenario S2) tegen 2100. De uit de modellering volgende distributies werden uitgezet ten opzichte van het kruinpeil van de dijk of kaaimuur waarna een maatgevende distributie werd geselecteerd. Op basis van deze maatgevende distributie werd door het studie bureau Indurium op vraag van DMOW-Xperta een maximaal toelaatbare hydrostatische druk (i.e. kruinpeil – centerpeil klepvlak) afgeleid horende bij een toelaatbare spanning 3,0 MPa resp. 5,5 MPa voor een type 1 resp. type 2 klep.

Voor onderdelen die niet uit HDPE vervaardigd zijn én tevens niet kruipgevoelig zijn (bijvoorbeeld staal), dient een statische veiligheidsfactor van 3 toegepast te worden op de vloeigrens van het respectievelijke materiaal, en dit bij dezelfde equivalente waterkolomhoogte van 5,0 m.

Max. hoogte (Hmax) verschil tussen kruin en bodempeil koker	Toepassingsgebied Zeeschelde en tijgebonden zijrivieren	
	keerdijk [m]	overlooppdijk GOG [m]
Type 1	8,0	7,0
Type 2	4,5	4,0



Het eindige elementen model kan opgesteld worden met behulp van schaalementen of volume-elementen of een combinatie van beide. Het model wordt vermaasd volgens de regels van de kunst, bij voorkeur met kwadratische elementen.

Naast een spanningscontrole van de platen, dient ook bijzondere aandacht besteed te worden aan de sterkte van de lassen en de scharnieren. Thermische uitzetting van de klep mag niet leiden tot verhoogde spanningen ter hoogte van de scharnierpunten. Er dient hierbij rekening te worden gehouden met een uitzetting van 13mm per meter klepbreedte. Als de lassen expliciet gemodelleerd worden (bijvoorbeeld in een volumemodel), kan dezelfde maximum toelaatbare spanning gehanteerd worden als hierboven. Indien de lassen niet expliciet gemodelleerd worden of gemodelleerd worden op een sterk vereenvoudigde wijze (bijvoorbeeld met behulp van schaalementen of koppelingen), dient de sterkte ervan op een andere, algemeen aanvaarde manier aangetoond te worden (bijvoorbeeld met behulp van hot spot methodes).

Voor wat betreft de randvoorwaarden mag verondersteld worden dat de klep op alle zijden eenvoudig opgelegd is. De maximum hoofdspanning die aldus gevonden wordt in de klep dient lager te zijn dan de corresponderende opgegeven maximum toelaatbare waarden.

Noot: Volgende (conservatieve) materiaalparameters kunnen gebruikt worden in de berekeningen. Hiervan kan afgeweken als de nodige materiaalcertificaten bij de berekeningen worden gevoegd:

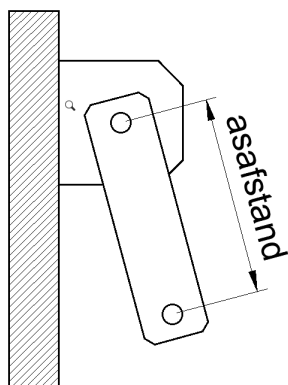
- elasticiteitsmodulus: 700 MPa;
- coëfficiënt van Poisson: 0,4;
- dichtheid: 960 kg/m<sup>3</sup>;
- thermische uitzettingscoëfficiënt: 225 µm/m/°C.

### ab.1.2.2 Fabricage en plaatsing

Het HDPE heeft een minimale dikte van 30 mm (zowel de plaat als de ribben). Op de klep worden verstijvingsribben in HDPE voorzien die door middel van een extrusielas volledig rondom gelast zijn. De oppervlaktelaag dient, voorafgaand aan het lassen, lokaal ter hoogte van de lasnaad mechanisch verwijderd te worden, ontvet en ontstoft. De minimum keeldikte bedraagt 1/3 van de plaatdikte. Het is niet toegelaten dit samen te stellen met schroeven en/of bouten.

Op het klepvlak dient een ingefreesde doorlopende EPDM dichting gemonteerd te worden door middel van een schroefverbinding. De dichting moet rondom naadloos afgesloten zijn. Deze dichting dient ononderbroken aan te sluiten op het kader. De dichting moet eenvoudig vervangbaar zijn.

Het aantal scharnierpunten wordt als volgt bepaald: breedte in meter (afgerond naar de bovenliggende eenheid) + 1. Ieder scharnierpunt bestaat uit een dubbelscharnier met een asafstand tussen de assen van de dubbelscharnier van minimum 10 % van de hoogte van het klepvlak en een absoluut minimum van 10 cm (bij elk scharnierpunt). Het geheel is zodanig ontworpen dat geen torsiekrachten kunnen ontstaan, noch in de klep, noch in de scharnieren, noch in het frame. Alle scharnierpunten worden onderling perfect uitgelijnd.



Figuur 1 illustratie asafstand dubbelscharnier

De hoeken van het klepvlak mogen niet meer dan 5 mm per meter uit het vlak treden.

In geval de (beton)wand waartegen de klep wordt gemonteerd een afwijking op de vlakheid vertoont van minder dan 4 mm per lopende meter, mag de klep met aanslagkader (te definiëren als één geheel) rechtstreeks tegen de wand gemonteerd worden. In geval de afwijking op de vlakheid groter is, of de betonkwaliteit niet minimaal voldoet aan beton C20/25, dient er eerst een corrosievast stalen uitvulframe te worden bevestigd tegen de (beton)wand door middel van chemische ankers. Dit frame wordt achtervuld met krimparme mortel. Dit uitvulframe wordt voorzien van draadstiften om het HDPE aanslagkader tegen te bevestigen. Mits akkoord van de aanbestedende overheid kan bij een onvoldoende vlakke wand ook een betonherstelling volgens SB 260-34-1 toegepast worden.

Tussen de betonwand/het uitvulframe en het kader van de terugslagklep dient een dichting voorzien te worden. Bij toepassing van het uitvulframe wordt tussen het beton en het frame een dichting voorzien in de vorm van een bentoniet-zwelband die tegen de betonwand wordt gemonteerd en opgenomen wordt in de krimparme mortel.

Voor nieuwe betonconstructies volgende passage opnemen in het hoofdstuk 25 – Beton, wapening en betonconstructies:

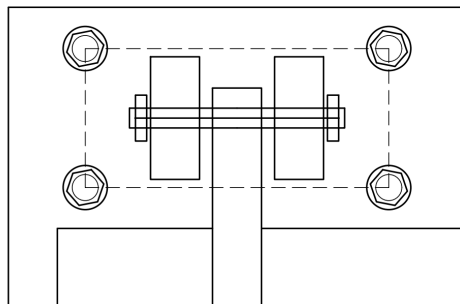
6.1.1.2.L Tolerantieklasse

Voor de betonvlakken waartegen de aanslagkaders van de terugslagkleppen gemonteerd worden, mag de vlakheid niet meer afwijken dan 2 mm per m.

Bij gebrek aan informatie over de betondruksterkte van een bestaande betonconstructie zijn er methodes om dit te achterhalen. Een destructieve methode is het uitvoeren van een kernboring in de bestaande betonconstructie, waarna in de drukpers in een laboratorium de druksterkte kan worden bepaald op de ontnomen kern. Een niet-destructieve methode is het uitvoeren van 9 sclerometermetingen per locatie die na uitmiddeling via de omzettingstabel van de sclerometer een indicatieve waarde van de betondruksterkte geeft.

Onderaan de voorzijde van de klep is een hefoog of een ronde buis voorzien waarop een kabel bevestigd kan worden om de klep open te trekken.

De maximale afstand tussen de bevestigingspunten van de kader aan de zij- en onderkanten bedraagt 150 mm. Rondom elk scharnierpunt dienen minimum vier ankers in een rechthoek geplaatst te worden.



Figuur 2 Illustratie vier ankers in een rechthoek rondom een scharnierpunt

De terugslagklep dient onder een hoek van 10° tot 15° ten opzichte van het verticale vlak geplaatst te worden. Deze hoek wordt verwezenlijkt in het aanslagkader van de klep.

Bemerk dat wanneer de klep verticaal of onder een hoek kleiner dan 10° wordt geplaatst het belangrijk is dat in de aslijn van de dubbelscharnier een hoeklijn van minimum 10° gecreëerd wordt ten opzichte van het verticale vlak.

Binnen een project worden de afmetingen zoveel mogelijk gestandaardiseerd omwille van uitwisselbaarheid. De kleppen toegepast binnen eenzelfde constructie dienen minimum onderling uitwisselbaar te zijn.

## ab.2 Meetmethode voor hoeveelheden

De terugslagkleppen inclusief alle toebehoren en verankeringen worden per stuk in rekening gebracht.

## ab.3 Controles

Bij oplevering wordt de vlakheid in het atelier van de producent gecontroleerd op een vlaktafel. Hierbij wordt de afwijking van de hoeken ten opzichte van de vlaktafel opgemeten en vergeleken met de in ab.1.2.2 voorgeschreven tolerantie.

Toevoegen indien controle tijdens productie voorzien wordt:

De aanbestedende overheid wordt op de hoogte gehouden van de planning en wijzigingen in de planning.

De aanbestedende overheid beslist welke stappen door hen gecontroleerd worden.

De opdrachtnemer nodigt de aanbestedende overheid minimaal 2 weken op voorhand uit om het lasproces mee te volgen. Hierbij kan gevraagd worden om een proefstuk (hoeklas) te produceren voor de aanbestedende overheid.

De aanbestedende overheid wordt minimum 2 werkdagen op voorhand verwittigd zodat controle van de volgende stappen door de aanbestedende overheid steeds mogelijk is.

De aanbestedende overheid laat weten of de inspectie plaats vindt of niet.

Indien de aanbestedende overheid de werkdag na het meegedeelde tijdstip niet langs gaat, vervalt de inspectie.

Na opstelling moet de klep druppel-waterdicht zijn onder alle omstandigheden (tenzij anders vermeld in de opdrachtdocumenten) en de waterdrukken zonder enige beschadiging of plastische vervorming doorstaan. Indien de klep niet druppel waterdicht is dient de opdrachtnemer de gepaste maatregelen te nemen om dit te corrigeren. Dit is een last van de aanneming.

Toe te voegen indien lekdebiet gecontroleerd moet worden:

Invullen 0.1 (indien kritisch) of 0.3 (indien niet kritisch of GOG)

Het lekdebiet wordt in situ gecontroleerd. Het lekdebiet dient kleiner te zijn dan  l/s per meter dichting. Dit dient als volgt gecontroleerd te worden:

- het waterdicht afdammen van een zone achter de kleppen.
- aan de voorzijde een waterstand die het volledige klepvlak bedekt opleggen.
- het monitoren van het verloop van de stijghoogte in de afgedamde zone.

Op basis hiervan eerst het lekvolume bepalen door het oppervlak van de afgedamde zone te vermenigvuldigen met de stijghoogte. Vervolgens wordt het debiet berekend door het volume te delen door de proeftijd, waarna het debiet nog herrekend dient te worden naar het lekdebiet per meter dichting.

Bij de controle zijn zowel de aanbestedende overheid als de opdrachtnemer aanwezig.



Indien het resultaat van de controle niet voldoet voor de aanbestedende overheid, neemt de opdrachtnemer de gepaste maatregelen om dit te corrigeren en worden de controles herhaald. Dit is een last van de aanneming.

Voor de controle van het lekdebiet wordt een globale prijs voorzien.

*Indien het resultaat van de controles niet voldoet voor de aanbestedende overheid, neemt de opdrachtnemer de gepaste maatregelen om dit te corrigeren en worden de controles herhaald. Dit is een last van de aanneming.*

### **Niet-genormaliseerde catalogusposten**

32ab.00001	HDPE terugslagklep Sigmagebied type 1 voor wandmontage volgens 32-ab	stuk
32ab.00002	HDPE terugslagklep Sigmagebied type 2 voor wandmontage volgens 32-ab	stuk
32ab.00003	HDPE terugslagklep voor wandmontage volgens 32-ab	stuk
32ab.00010	Uitvulframe voor HDPE terugslagklep voor wandmontage volgens 32-ab	stuk
32ab.00020	Controle lekdebiet HDPE terugslagklep volgens 32-ab	GP

## 9 Bijlage B: rekenmethodiek

# TECHNISCHE NOTA

## TOELICHTING BEREKENINGSWIJZE TERUGSLAGKLEPPEN VOLGENS EN 1778



Klant	Vlaamse overheid, departement Mobiliteit en Openbare Werken
Project	2105271-MOW-2744
Document	2105271-MOW-2744-P1-TR-REV0
Revisie nummer	0
Datum	10 januari 2023
Analist	Indurium Engineering Services NV
Opgemaakt door	dr. ir. Dimitri Debruyne

## 1 KLANT

Bedrijfsnaam	Vlaamse overheid, departement Mobiliteit en Openbare Werken
Kantooradres	Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
Contactpersoon	Ing. Jeroen Vercruysse
Telefoon	+32 3 224 63 28
Fax	/
E-mail	jeroen.vercruysse@mow.vlaanderen.be
Bijkomende opmerkingen	/

## 2 ANALIST

Bedrijfsnaam	Indurium Engineering Services NV
Kantooradres	Wijmenstraat 21T, B-9030 Mariakerke, Belgium
Officieel adres	Doornstraat 41, B-9940 Evergem, België
Contactpersoon	Dr. ir. Dimitri Debruyne
Telefoon	+32 9 336 47 25
E-mail	dd@indurium.be
Website	www.indurium.com

## 3 DOCUMENT HISTORIE

Revisie 0	10 januari 2023
	Basisdocument
Revisie 1	
Revisie 2	
Revisie 3	

## 4 TOELICHTING

De uitgangspunten voor de berekeningen van de levensduur en bijhorende toelaatbare spanningen voor de PE-HD terugslagkleppen zijn gebaseerd op de Europese norm EN 1778: "Karakteristieke waarden voor gelaste constructies van thermoplasten - Bepaling van de toelaatbare spanningen en moduli voor het ontwerpen van onderdelen van thermoplasten".

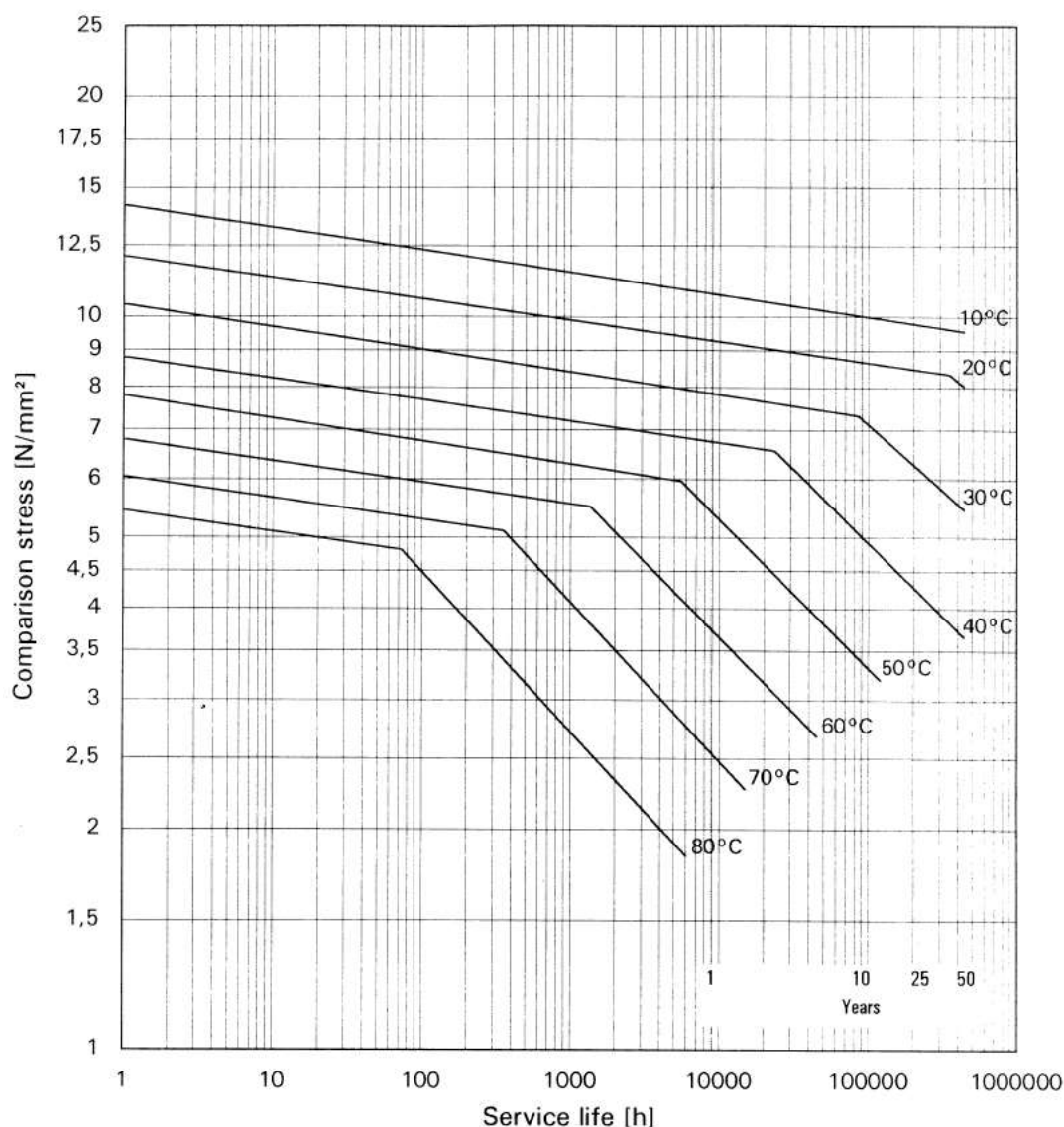
In wat volgt wordt uitgelegd hoe de maximaal te weerstande waterdrukken per locatie bepaald werden. Dit document dient samen met de daarvoor ontwikkelde Excel sheet gelezen te worden.

### 4.1 REFERENTIEKRUIPSTERKTE

De referentiekruipsterkte  $K$  van PE-HD is afhankelijk van zowel de temperatuur als de belastingsduur, zie Figuur 1.

Voor de hier beschouwde kleppen wordt een constante **werkingstemperatuur** van 20°C vooropgesteld. In realiteit zal deze temperatuur variëren in een interval tussen "grosso modo" 0°C (winter) en 25°C (zomer). Echter, omdat de referentiekruipsterkte bij lagere temperaturen iets groter is, wordt voor de eenvoud van de berekeningen dus een constante temperatuur van 20°C aangehouden, een licht conservatieve veronderstelling.

Verder wordt ook vooropgesteld dat de **minimumlevensduur** van de kleppen 30 jaar bedraagt, wat equivalent is met 262.980 uren. Gesteld dat de kleppen onderhevig zouden zijn aan een constante belasting dan zou de kruipsterkte over 30 jaar volgens Figuur 1 gelijk zijn aan 8.6 MPa.



**Figuur 1 – Referentiekruipsterkte K voor PE-HD in functie van de temperatuur en belastingsduur (zie Figuur A.1 van EN 1778)**

Echter, omdat op elke locatie de waterhoogte varieert in de tijd, dient rekening gehouden te worden met deze variabele belasting en haar effect op het kruipgedrag van de klep. Dit kan gebeuren – conform sectie 4.1.1.2 van EN 1778 – door de accumulatie van schade te bepalen over 30 jaar. Dit wordt verder uitgelegd in punt 4.2.

Om de schade bij variërende waterdrukken te berekenen is de vergelijking van de kruipsterktecurve uit Figuur 1 nodig. Deze kan wiskundig uitgedrukt worden als

$$\log(K) = a \cdot \log(t) + b$$

Hierin is K de referentiekruipsterkte uitgedrukt in MPa, t de belastingsduur uitgedrukt in uren en zijn a en b twee constanten, respectievelijk gelijk aan -0.0260435 en 1.07404.

## 4.2 ACCUMULATIE VAN SCHADE

Om het kruipgedrag van een klep onder variërende waterstanden en dus hydrostatische drukken te kunnen bepalen, dient gekend te zijn welk percentage van de tijd een klep onderhevig is aan een bepaalde druk gedurende zijn vooropgestelde levensduur.

Daartoe werden historische waterstanden op verschillende locaties gecombineerd met simulaties om te komen tot een statistische verdeling van waterstanden. Deze verdeling werd uitgedrukt in functie van de hoogte onder de kruin. Om tot een discreet spectrum te komen, geschikt om berekeningen op uit te voeren, werden de waterstanden in intervallen van 0.5 m verzameld. De tabel hieronder geeft als voorbeeld de situatie te Bovenzanden. Uit deze tabel kunnen we dan bijvoorbeeld aflezen we dat ongeveer 8.4% van de tijd (of 2.5 jaar) de waterstand op deze locatie zich bevindt tussen 2.5 en 3.0 m onder de kruin.

**Tabel 1 - Waarschijnlijkheid van waterstand te Bovenzanden uitgedrukt als hoogte onder de kruin (over 30 jaar)**

Hoogte onder kruin [m]	Waarschijnlijkheid
-0.75	0.0000855
-0.25	0.0080074
0.25	0.0579338
0.75	0.0771740
1.25	0.0707315
1.75	0.0687402
2.25	0.0744496
2.75	0.0842150
3.25	0.0910840
3.75	0.0915527
4.25	0.0930290
4.75	0.0948323
5.25	0.0940891
5.75	0.0766682
6.25	0.0172197
6.75	0.0001680
7.25	0.0000000
7.75	0.0000000
8.25	0.0000000
8.75	0.0000000
9.25	0.0000000
9.75	0.0000000
10.25	0.0000000
10.75	0.0000000
11.25	0.0000000

Als we vervolgens ook de diepte van (het middelpunt van) de klep kennen t.o.v. de kruin, dan kan eenvoudig de waarschijnlijkheid van een bepaalde (gemiddelde) waterdruk op de klep bepaald worden. Voortgaande op het bovenstaande voorbeeld zou dit betekenen dat voor een klep waarvan het middelpunt zich op 7.75 m diepte bevindt t.o.v. de kruin, dat deze klep ongeveer 8.4% van de tijd (of 2.5 jaar) een waterkolom van 5 m ondervindt.

Op die manier is nu – voor een bepaalde klepdiepte t.o.v. de kruin – voor elk van de intervallen een effectieve waterdruk gekend én een waarschijnlijkheid van optreden tijdens een periode van 30 jaar, t.t.z. de belastingsduur.

Stel dat we nu ook de maximum spanning in de klep zouden kennen voor die bepaalde waterkolomhoogte, dan kan de schade berekend worden dat deze veroorzaakt als

$$\text{Schade} = (\text{waarschijnlijkheid}) * (\text{gewenste levensduur}) / 10^{((\log(\text{spanning}) - b)/a)}$$

Als we in bovenstaand voorbeeld even veronderstellen dat de maximale spanning in de klep 6 MPa bedraagt bij een waterkolom van 5 m, dan zou dit betekenen dat de schade over 30 jaar veroorzaakt door de waterstand tussen 2.5 en 3 m onder de kruin gedurende 8.4% van de tijd gelijk is aan

$$9.59E-8 = 0.0842150 * 262980 / 10^{((\log(6)-1.0740964)/(-0.0260435))}$$

Echter, de spanning in de klep op een gegeven diepte is hier niet gekend; het is immers exact deze (maximaal toelaatbare) spanning die we wensen te bepalen, t.t.z. welke spanning mag maximaal heersen in een klep om exact de vooropgestelde levensduur van 30 jaar te behalen.

Hiertoe werd verder verondersteld dat de spanning in een klep lineair varieert met de waterkolomhoogte, een vrij realistische benadering. Als we dan bijvoorbeeld veronderstellen dat de spanning in de klep maximaal 1.2 MPa bedraagt bij een waterkolom van 1m, dan zal deze maximaal 6 MPa bedragen bij een waterkolom van 5 m (zoals in bovenstaand voorbeeld). Door vervolgens deze spanning bij 1 m te variëren, kan dan steeds de daaruit volgende schade voor elk interval berekend worden. Deze individuele schades worden dan gesommeerd en om de levensduur van 30 jaar te behalen dient deze geaccumuleerde schade lager dan 1 te blijven.

Voor het hier beschouwde voorbeeld van Bovenzanden – met een klepdiepte van 7.75 m – bleek dat wanneer een spanning van 1.2 MPa voor 1 m waterkolomhoogte verondersteld werd, een totale geaccumuleerde schade van 0.42 gevonden werd, zie Tabel 2. Wordt deze spanning verhoogd naar 1.3 MPa, dan bedraagt de geaccumuleerde schade reeds 9.05, of te veel.

Met andere woorden, een klep die op die locatie (Bovenzanden) op een diepte van 7.75 m (t.o.v. de kruin) geïnstalleerd wordt én 30 jaar moet blijven functioneren, mag bij een waterkolomhoogte van 1m, maximaal een spanning vertonen van 1.2 MPa. Of, equivalent, is de maximaal toelaatbare spanning gelijk aan 6 MPa bij een waterkolomhoogte van 5 m.

**Tabel 2 - Geaccumuleerde kruipschade over 30 jaar voor een klepdiepte van 7.75m, uitgaande van een maximale spanning in de klep van 1.2 MPa bij 1m waterdruk.**

Hoogte onder kruin [m]	Probabiliteit	Schade
-0.75	8.55E-05	0
-0.25	0.008007	0
0.25	0.057934	0.380886
0.75	0.077174	0.035878
1.25	0.070731	0.001911
1.75	0.06874	8.59E-05
2.25	0.07445	3.29E-06
2.75	0.084215	9.59E-08
3.25	0.091084	1.82E-09
3.75	0.091553	1.98E-11
4.25	0.093029	1.19E-13
4.75	0.094832	3.27E-16
5.25	0.094089	2.96E-19

5.75	0.076668	4.58E-23
6.25	0.01722	1.64E-28
6.75	0.000168	2.77E-37
7.25	0	0
7.75	0	0
8.25	0	0
8.75	0	0
9.25	0	0
9.75	0	0
10.25	0	0
10.75	0	0
11.25	0	0
<b>SOM</b>	<b>0.99998</b>	<b>0.418764</b>

Met de bovenstaande rekenwijze kan dus eenvoudig voor verschillende klepdieptes en verschillende locaties (of dus andere probabiliteiten van waterstanden) een maximaal toelaatbare spanning in de klep berekend worden.

### 4.3 VEILIGHEIDSFACTOREN

De in punt 4.2 bekomen maximaal toelaatbare spanningen dienen echter nog gecorrigeerd te worden, rekening houdende met een aantal veiligheidsfactoren zoals gedefinieerd in EN 1778.

Een reductie van de kruipsterkte ter hoogte van de lassen wordt in rekening gebracht via een lasfactor  $f_l$ . Uitgaande van extrusielassen bedraagt deze factor 0,6 voor PE-HD volgens Tabel 2 in EN 1178.

In deze toepassing worden geen chemische interacties met het milieu verondersteld die de kruipsterkte verder zouden kunnen reduceren ( $A_{2K} = 1$  volgens sectie 5.1.1. van EN 1778). Vermits we ook een gemiddelde werkingstemperatuur van 20 graden veronderstellen, is er geen verdere reductie van de sterkte nodig volgens sectie 5.2 van EN 1778 ( $A_1 = 1$ ).

Gezien tenslotte de waterniveaus slechts geleidelijk schommelen wordt een statische veiligheidsfactor van  $S = 1.3$  toegepast.

De combinatie van deze factoren leidt uiteindelijk tot een correctiefactor gelijk aan  $0.6/1.3$  of  $0.4615385$ . Deze correctiefactor dient dan toegepast te worden op de in punt 4.2 bekomen spanningswaarden.

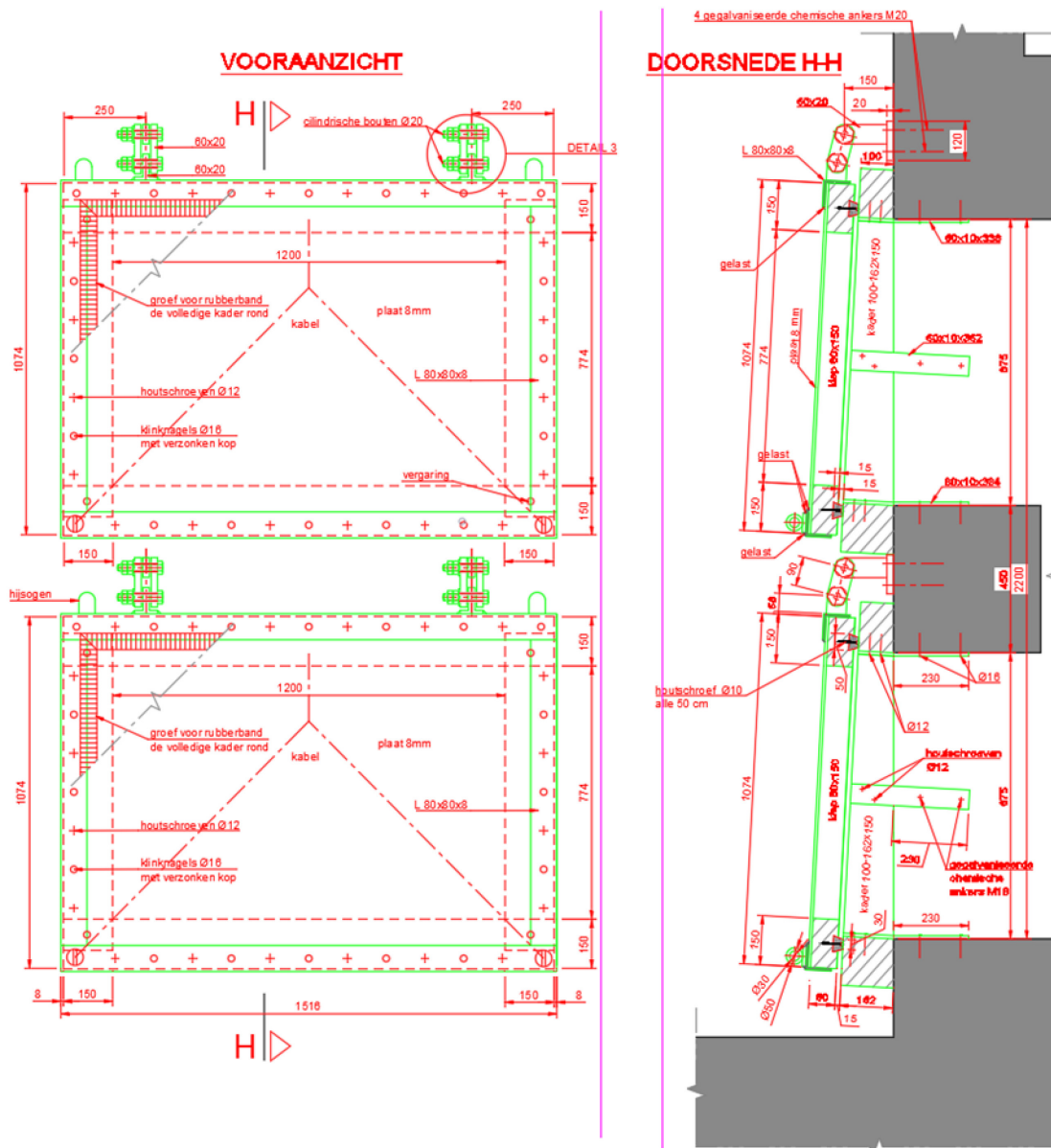
Nog steeds het bovenstaand voorbeeld volgend betekent dit dat de maximum toelaatbare spanning in onze klep (op een diepte van 7.75 m te Bovenzanden) gelijk is aan  $6 * 0.4615385$  of  $2.77$  MPa en dit bij een waterkolomhoogte van 5 m.



# 10 Bijlage C: Dimensionering traditionele terugslagklep

## 10.1 Beschrijving

Bij de Vlaamse Waterweg – afdeling Regio Centraal worden bij uitwateringssluizen traditioneel terugslagkleppen gebruikt zoals weergegeven in Figuur 18. Een standaard koker van een uitwateringssluis meet 3 m bij 2,2 m. Er zijn 4 kleppen benodigd om 1 koker af te sluiten.



Figuur 18 – Tekening traditionele terugslagklep (bron EBS)

Een klep bestaat uit een staalplaat met dikte 8 mm die via stalen hoekprofielen 80x80x8 mm wordt bevestigd op een houten kader met dwarsafmetingen 80x150 mm. De klep wordt dubbel scharnierend bevestigd aan de betonconstructie. In normale omstandigheden slaat de klep bij een waterdruk vanuit de tijrivier volledig aan tegen een houten kader. Wanneer er tijdens de uitwatering een obstakel onder de klep raakt, kan dit bij een waterdruk vanuit de rivier gekneld raken tussen klep en kader. De klep slaat dan niet volledig aan en induceert via hefboomwerking grote krachten op het scharnier. Het dubbele scharnier laat enige bewegingsvrijheid toe van de klep, waardoor deze krachten gemilderd worden.

In wat volgt, zal enkel een klep van de onderste rij beschouwd worden, aangezien deze door de waterdruk zwaarder worden belast.

## 10.2 Berekening eigengewicht van de klep

- Staalplaat 8 mm:  $1,500 \text{ m} \cdot 1,074 \text{ m} \cdot 0,008 \text{ m} \cdot 78,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1,012 \text{ kN}$

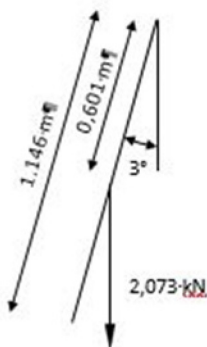
- Stalen L-profielen 80x80x8 mm:  $(2 \cdot 1,516 \text{ m} + 2 \cdot 0,930 \text{ m}) \cdot 96,3 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 10^{-3} = 0,471 \text{ kN}$

- Houten kader 80x150 mm:  $(2 \cdot 1,500 \text{ m} + 2 \cdot 0,774 \text{ m}) \cdot 0,150 \text{ m} \cdot 0,080 \text{ m} \cdot 10,80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,590 \text{ kN}$

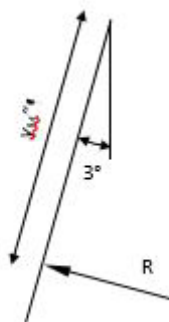
Totaal eigengewicht: 2,073 kN

## 10.3 Benodigde waterdruk om de klep te openen

De benodigde waterdruk vanuit polderzijde om de klep te openen wordt gevonden door het momentenevenwicht uit te schrijven rond het scharnier. Op de klep werkt het eigengewicht en de waterdruk. Er wordt geen tegendruk vanuit rivierzijde beschouwd.



Het weerstand biedende moment is:  $2,073 \text{ kN} \cdot 0,601 \text{ m} \cdot \sin 3^\circ = 0,0652 \text{ kNm}$



De hydrostatische druk R op een vlakke wand is:  $R = \rho \cdot g \cdot \eta_G \cdot A$

waarin:  $\rho$ : volumieke massa

$g$ : zwaartekrachtsversnelling

$\eta_G$ : diepte van het zwaartepunt G van A onder het vrij oppervlak

A: oppervlak

Het aangrijpingspunt M van R wordt gevonden als:  $y_M'' = y_G + \frac{I_G}{A \cdot y_G}$

waarin:  $y_G$ : coördinaat van het zwaartepunt G van A volgens helling klep

$I_G$ : traagheidsmoment van de klep om een horizontale as door G

Het aandrijvende moment wordt dan:  $R \cdot y_M''$

Na uitwerking en gelijkstelling van het weerstandbiedende en het aandrijvende moment bekomt men een 4<sup>de</sup>-graadsvergelijking in  $h$ , de hoogte van de waterkolom aan polderzijde waarbij de klep opent zonder tegendruk vanuit rivierzijde.

Oplossen van de vergelijking naar  $h$  geeft een waterhoogte van 0,088 m.

Om de invloed van de helling van de klep na te gaan werd dezelfde berekening herhaald voor een hellingshoek van 6°. De klep opent dan bij een waterhoogte van 0,125 m.

## 10.4 Maximaal opneembare waterdruk

Er wordt uitgegaan van een staalsoort S355 voor de staalplaat en een kwaliteit D70 voor de houten kader. Op de materiaaleigenschappen worden de gebruikelijke partiële veiligheidsfactoren toegepast, namelijk 1,00 voor staal en 1,30 voor gezaagd hout.

De staalplaat wordt samen met de houten kader gemodelleerd in de software SCIA Engineer 18.1.

Er worden een aantal situaties bestudeerd:

- perfecte aanslag
- aanslag bovenrand en obstakel aan 2 zijden halverwege de klep
- aanslag bovenrand en obstakel aan 1 zijde halverwege de klep
- geen aanslag en obstakel aan 2 zijden halverwege de klep
- geen aanslag en obstakel aan 1 zijde halverwege de klep
- aanslag bovenrand en obstakel over volledige onderrand
- aanslag bovenrand en obstakel in 1 hoek onderrand
- geen aanslag en obstakel over volledige onderrand
- geen aanslag en obstakel in 1 hoek onderrand

Een obstakel wordt hierbij gemodelleerd als een vast steunpunt. Er is dus geen rekening gehouden met een bepaalde diameter of afmeting van obstakel.

Voor elke situatie wordt een waterdruk op de rivierzijde van de klep aangebracht, startend bij 4,6 m en in stappen van 0,5 m opgevoerd tot 8,1 m waterkolom. We gaan na tot welke druk de vloeigrens van het staal en de sterkte van het hout niet overschreden worden. In principe dient op de waterdruk een partiële factor gelijk aan 1,35 toegepast te worden voor de situatie van perfecte aanslag. De situaties met een obstakel worden beschouwd als accidentele belastingsgevallen. Hier wordt een factor 1,00 op de waterdruk toegepast.

Er wordt geen oplossing gevonden voor de situatie met perfecte aanslag en partiële belastingsfactor 1,35. Als we de factor op 1,00 stellen kan de klep een waterdruk van 5,6 m aan.

In de situaties met een obstakel aan 1 zijde of in 1 hoek is er geen oplossing waarbij de materiaalsterkte niet overschreden wordt.

Bij een obstakel aan 2 zijden of over de onderrand kan de klep een waterdruk van 5,6 m opnemen.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**  
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

[waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)