



Vlaanderen
is wetenschap



19_077-1
WL rapporten

Scaldissluis

Openingswet vlinderkleppen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Scaldissluis

Openingswet vlinderkleppen

Verelst, K.; Vercruyssen, J.

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/2024/3241/089

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; Vercruyse, J. (2024). Scaldissluis: Openingswet vlinderkleppen. Versie 3.0. WL Rapporten, 19_077_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Oprachtgever:	De Vlaamse Waterweg regio West	Ref.:	WL2024R19_077_1
Trefwoorden (3-5):	Lock; Filling and emptying; Butterfly valves; Opening Law		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > sluisen > nivelleersysteem > numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	17	Bijlagen (p.):	3
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verelst, K.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vercruyse, J.	Getekend door: Jeroen Vercruyse (Signature) Getekend op: 2024-07-30 09:55:25 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
Projectleider:	Verelst, K.	Getekend door: Kristof Verelst (Signature) Getekend op: 2024-07-30 09:47:02 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Signature) Getekend op: 2024-07-30 09:28:59 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
-----------------	---------------	---

Abstract

De Scaldisluis is een sluis voor recreatievaart gelegen op de Nederschelde in Gent met een lengte van 40 m en een breedte van 5.50 m. Het nivelleersysteem omvat 6 vlinderkleppen diameter 0.45 m in de draaideuren van de sluis, dewelke geopend worden in 5 s. Door het Waterbouwkundig Laboratorium werd in 2006 het voorontwerp van het nivelleersysteem van de Scaldisluis uitgevoerd. De vlinderkleppen openen hierbij met een snelheid van 18 °/s, wat beduidend hoger is dan de maximale waarde van 1 °/s dewelke voorgesteld werd in het door WL uitgevoerde hydraulisch ontwerp van het nivelleersysteem van de sluis. Tijdens de ingebruikname in het openingsweekend is gebleken dat de openingswet van de vlinderkleppen door de schippers van de toeristenboten als nogal bruusk ervaren wordt. Om die reden vraagt de Vlaamse Waterweg regio West aan het Waterbouwkundig Laboratorium en afdeling Expertise Beton en Staal om te onderzoeken of het mogelijk is de openingswet aan te passen zodat de nivellering rustiger verloopt.

Om te onderzoeken of de openingswet aangepast kan worden zijn een aantal simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL uitgevoerd, zowel met de huidige openingswet als met een aangepaste openingswet. Met de huidige openingswet is, zowel voor vullen als voor ledigen, de configuratie gesimuleerd met één schip in de kolk op een aantal afstanden van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur. Hieruit volgt dat vanaf een afstand groter dan 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur de langskracht op het schip gedomineerd wordt door translatiegolven. Bij een afstand gelijk aan 1.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur is de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname duidelijk merkbaar aan de hand van de overwegend negatieve berekende langskracht op het schip. Vanaf een afstand van 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur nemen de extreme waarden voor de langskracht op het schip nog beperkt af. Bij ledigen zijn enkel translatiegolven aanwezig.

Op basis van de mogelijkheden voor aanpassen van de openingswet zijn voor de simulaties met de aangepaste openingswet vijf verschillende openingswetten beschouwd. Met deze openingswetten zijn simulaties uitgevoerd voor vullen en ledigen van de sluisdeur met één schip in de sluisdeur. Bij vullen is telkens een afstand gelijk aan 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 5.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur beschouwd. Bij ledigen is enkel de afstand gelijk aan 6.0 m beschouwd. Uit deze simulaties kan besloten worden dat bij het openen van de vlinderkleppen in de draaideuren van de Scaldisluis in 60 s of bij het openen van drie reeksen van twee vlinderkleppen na elkaar zowel bij vullen als bij ledigen langskrachten op het schip in de sluisdeur berekend worden die lager zijn dan het criterium voor recreatievaart of dit criterium beperkt overschrijden, indien de afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur groter is dan 3.0 m. De nivelleertijd bedraagt 3.4 min à 3.8 min, de stijgsnelheid van het waterpeil in de sluisdeur is beperkt hoger of juist gelijk aan het criterium. De overige gedefinieerde openingswetten geven bij alle beschouwde afstanden aanleiding tot berekende langskrachten die beduidend hoger zijn dan het criterium van 3.0 ‰ voor recreatievaart en kunnen bijgevolg niet toegepast worden. Om die reden worden de openingswetten waarbij de vlinderkleppen in de draaideuren geopend worden in 60 s of waarbij 3 reeksen vlinderkleppen na elkaar geopend worden, voorgesteld om toe te passen voor de vlinderkleppen van de draaideuren van de Scaldisluis.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Gegevens	2
2.1 Sluiskolk.....	2
2.2 Waterpeilen	2
2.3 Schepen.....	3
2.4 Criteria.....	3
3 Resultaten simulaties	4
3.1 Algemeen	4
3.2 Simulaties met huidige openingswet.....	6
3.3 Simulaties met aangepaste openingswet	10
4 Conclusie.....	15
5 Referenties	17
Bijlage 1 Figuren simulaties met aangepaste openingswet vlinderkleppen	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Afmetingen sluiscolk en nivelleersysteem.....	2
Tabel 2 – Scenario's voor waterpeilen in bovenpand en benedenpand bij simulaties nivelleersysteem uit De Mulder <i>et al.</i> (2006b).....	2
Tabel 3 – Afmetingen ontwerpschip uit De Mulder <i>et al.</i> (2006b)	3
Tabel 4 – Afvoercoëfficiënt vlinderkleppen	5
Tabel 5 – Overzicht simulaties met huidige openingswet (O1).....	7
Tabel 6 – Nivelleertijd, extreme waarde debiet, extreme waarde stijgsnelheid, minimale en maximale waarde van langskracht voor de simulaties met de huidige openingswet	8
Tabel 7 – Aangepaste openingswetten vlinderkleppen Scaldisluis	11
Tabel 8 - Nivelleertijd, extreme waarde debiet, extreme waarde stijgsnelheid, minimale en maximale waarde van langskracht voor de simulaties met de aangepaste openingswet	12
Tabel 9 – Aangepaste openingswetten vlinderkleppen Scaldisluis	16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiskolk met de huidige openingswet	7
Figuur 2 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor ledigen sluiskolk met de huidige openingswet en schip op 6 m verwijderd van de sluisdeur	8
Figuur 3 – Detail variatie langskracht [%] op het schip in functie van de tijd [s] voor simulatie met openingswet O4.....	14
Figuur 4 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiskolk met openingswet O2.....	B1
Figuur 5 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiskolk met openingswet O3.....	B1
Figuur 6 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiskolk met openingswet O4.....	B2
Figuur 7 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiskolk met openingswet O5.....	B2
Figuur 8 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiskolk met openingswet O5b	B3
Figuur 9 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor ledigen sluiskolk	B3

1 Inleiding

De Scaldisluis is een sluis voor recreatievaart gelegen op de Nederschelde in Gent. De sluis, gebouwd in 2012, heeft een lengte van 40 m en een breedte van 5.50 m. De sluis werd tijdens het openingsweekend van 3 en 4 november 2018 in gebruik genomen. Tijdens dit openingsweekend is gebleken dat de openingswet van de vlinderkleppen door de schippers van de toeristenboten als nogal bruusk ervaren wordt. Om die reden vraagt de Vlaamse Waterweg regio West (DVW; contactpersoon: Jeroen Verbelen) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) en Expertise Beton en Staal (EBS) om te onderzoeken of het mogelijk is de openingswet aan te passen zodat de nivellering rustiger verloopt.

Het voorontwerp van het nivelleersysteem van de Scaldisluis werd in 2006 door WL uitgevoerd. Dit voorontwerp is gerapporteerd in de memo's De Mulder *et al.* (2006a; b). In dit voorontwerp werden 6 vlinderkleppen diameter 0.40 m, 6 vlinderkleppen diameter 0.45 m, 6 vlinderkleppen diameter 0.50 m of 8 vlinderkleppen diameter 0.40 m voorgesteld als nivelleersysteem. Hierbij worden de vlinderkleppen geopend in 135 s à 233 s met een openingswet die bestaat uit 4 verschillende openingssnelheden. De openingssnelheid van de vlinderkleppen bedraagt maximaal 1°/s.

Navraag bij de opdrachtgever en bij EBS leert dat 6 vlinderkleppen diameter 0.45 m aanwezig zijn in de draaideuren van de sluis. Deze vlinderkleppen worden echter geopend in 5 s, wat overeenkomt met een openingssnelheid van 18 °/s. Dit is 18 keer sneller dan de maximale openingssnelheid uit het advies van WL uit 2006.

Om te onderzoeken of de openingswet aangepast kan worden, is de volgende onderzoeksstrategie voorgesteld:

- Door WL worden een aantal simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL uitgevoerd. Deze programma's berekenen de langskrachten op een schip in de kolk voor nivelleersystemen met openingen in de deuren. Hierbij wordt zowel de huidige openingswet als een tragere openingswet gesimuleerd, waarbij rekening wordt gehouden met de mogelijkheden die er zijn tot het vertragen van de openingswet.
- Op basis van de resultaten van de simulaties vindt een overleg plaats tussen WL, EBS en DVW om na te gaan wat de meest realistische mogelijkheden zijn voor het vertragen van de openingswet en wanneer deze op het terrein kan geïmplementeerd worden.
- Na implementatie van de nieuwe openingswet voert WL een meetcampagne uit in de Scaldisluis, waarbij deze nieuwe openingswet wordt toegepast.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS en LOCKFILL, wat overeenkomt met de eerste stap uit de voorgestelde onderzoeksstrategie.

De voor dit onderzoek gebruikte gegevens worden beschreven in hoofdstuk 2 van dit rapport. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de uitgevoerde simulaties. Hoofdstuk 4 bevat een overzicht van de conclusies van dit rapport.

2 Gegevens

2.1 Sluiskolk

De afmetingen van de sluiskolk en het nivelleersysteem worden afgelezen op de plannen Herbosch-Kiere NV & SBE (2012a; b) en Tarkon, (2011). Tabel 1 geeft een overzicht van de afmetingen van de sluiskolk en het nivelleersysteem.

Tabel 1 – Afmetingen sluiskolk en nivelleersysteem

Lengte sluiskolk	40.07 m
Breedte sluiskolk	5.5 m
Bodempeil sluiskolk	+2.34 mTAW
Type sluisdeur	Draaideur
Nivelleersysteem	Vlinderkleppen in de draaideur
Aantal vlinderkleppen	6
Diameter vlinderkleppen	0.45 m
Peil bovenzijde vlinderkleppen	+ 3.395 mTAW

2.2 Waterpeilen

De Mulder *et al.* (2006b) vermeldt de 3 karakteristieke scenario's voor waterpeilen in bovenpand en benedenpand uit Tabel 2.

Tabel 2 – Scenario's voor waterpeilen in bovenpand en benedenpand bij simulaties nivelleersysteem uit De Mulder *et al.* (2006b)

	Waterpeil bovenpand	Waterpeil benedenpand	Verval	Max. waterhoogte in kolk	Min. waterhoogte in kolk	
	mTAW	mTAW	m	m	m	
I	+5.65	+4.45	1.20	3.31	2.11	streefpeilen
II	+5.90	+4.45	1.45	3.56	2.11	max. verval schutten
III	+5.61	+4.70	0.91	3.27	2.36	min. verval schutten

De simulaties voor dit advies zijn enkel uitgevoerd voor scenario I waarbij de streefpeilen in het bovenpand en het benedenpand aanwezig zijn.

2.3 Schepen

In De Mulder *et al.* (2006b) zijn de langskrachten op het schip begroot voor het ontwerpschip van de sluis. De afmetingen van dit ontwerpschip zijn gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 – Afmetingen ontwerpschip uit De Mulder *et al.* (2006b)

Lengte	14 m
Breedte	4.5 m
Diepgang	1.2 m
Blokcoëfficiënt	0.89
Waterverplaatsing	67.5 ton

Voor de simulaties voor dit advies wordt ook het ontwerpschip toegepast. In VUL_SLUIS en LOCKFILL dienen voor dit schip ook de hoek van de boeg in het verticale en het horizontale vlak opgegeven te worden. Hiervoor wordt een hoek van 90° in het verticale vlak en een hoek van 45° in het horizontale vlak beschouwd.

2.4 Criteria

De Mulder *et al.* (2006b) vermeldt volgende ontwerpcriteria voor het ontwerp van het nivelleersysteem van de sluis:

- Een nivelleertijd van maximaal 4 min (opgegeven door de opdrachtgever).
- De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiscolk mag maximaal 0.010 m/s bedragen (Lasard & Pulina, 1994). De langskracht op schip mag voor recreatievaart maximaal 3 ‰ bedragen (Beem *et al.*, 2000)

3 Resultaten simulaties

3.1 Algemeen

De hydraulische simulaties met het nivelleersysteem van de Scaldisluis zijn zowel uitgevoerd met het WL programma VUL_SLUIS (release 01.54.00) als met het programma LOCKFILL (release 5.03.00) van Deltares, waarop het programma VUL_SLUIS gebaseerd is. Beide programma's zijn specifiek ontwikkeld voor het simuleren van krachten op een schip in de kolk van een sluis met een nivelleersysteem met openingen in de sluisdeuren.

Het programma VUL_SLUIS is een (Matlab-) programma dat door WL is ontwikkeld op basis van de beschikbare literatuur in verband met het programma LOCKFILL en gevalideerd met meetgegevens uit de literatuur en met bijkomende meetgegevens van WL. Hierbij moet opgemerkt worden dat het programma VUL_SLUIS, vooral met betrekking tot de berekening van de krachten op een schip, nog steeds in ontwikkeling is. Sinds juli 2015 wordt door Deltares het programma LOCKFILL (Deltares, 2015) vrij ter beschikking gesteld. De berekeningsmethode van LOCKFILL is gebaseerd op schaalmodelonderzoek, desktop studies en eerder ontwikkelde berekeningsprogramma's. Het programma was ontwikkeld door Deltares in de periode 1989-1993 in opdracht van Rijkswaterstaat. Zowel VUL_SLUIS als LOCKFILL berekenen het debiet door de openingen in de deuren in functie van de tijd. Aan de hand van dit debiet wordt de langskracht op het schip in de sluis kolk berekend. Hierbij worden de volgende vijf componenten van de langskracht beschouwd: langskracht ten gevolge van translatiegolven, langskracht ten gevolge van impulsafname, langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, langskracht ten gevolge van wrijving en langskracht ten gevolge van dichtheitsverschillen. De component van de langskracht ten gevolge van dichtheitsverschillen kan enkel door LOCKFILL berekend worden. Deze is bij de ontwikkeling van VUL_SLUIS niet beschouwd. Hierbij wordt opgemerkt dat de programma's VUL_SLUIS en LOCKFILL niet gevalideerd zijn voor recreatievaart.

Bij het uitvoeren van de simulaties dient de afvoercoëfficiënt van de openingen in de deuren opgegeven te worden. Voor de simulaties in De Mulder *et al.* (2006b) werd de waarde voor de afvoercoëfficiënt van de vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003) toegepast. In 2014 werden door WL terreinmetingen uitgevoerd in de sluis van Zemst na renovatie van de middendeuren van de sluis (Vercruyssen *et al.*, 2015). Aan de hand van de opgemeten waterstandsmetingen in de sluis kolk en de opgemeten draaihoek van de vlinderkleppen werd voor de nieuwe vlinderkleppen diameter 1.40 m een iets hogere afvoercoëfficiënt berekend dan deze uit Schwanenberg & Jongeling (2003). Tabel 4 vergelijkt de afvoercoëfficiënt uit Schwanenberg & Jongeling (2003) met deze uit Vercruyssen *et al.* (2015). Voor de simulaties uitgevoerd voor dit advies is de afvoercoëfficiënt uit Schwanenberg & Jongeling (2003) toegepast.

Aan kolkzijde van de openingen in de draaideuren van de Scaldisluis zijn geen breekbalken aanwezig. In de inputfile van LOCKFILL en VUL_SLUIS dient een oppervlakte van de openingen na breekbalken en het peil van de bovenzijde van de breekbalken opgegeven te worden om de spreiding van de vulstraal te berekenen. Hiervoor wordt de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur ($= 0.95 \text{ m}^2$) toegepast en wordt als peil bovenzijde breekbalken het peil van de bovenzijde van de openingen in de sluisdeur (zie Tabel 1) beschouwd.

Een eerste reeks simulaties is uitgevoerd met de huidige openingswet. De resultaten van deze simulaties zijn beschreven in paragraaf 3.2. Daarna zijn simulaties uitgevoerd met een aangepaste openingswet voor de vlinderkleppen van de Scaldisluis (paragraaf 3.3).

Tabel 4 – Afvoercoëfficiënt vlinderkleppen

	Schwanenberg & Jongeling (2003)	Vercruyse <i>et al.</i> (2015)
0.00	0.00	0.000
0.10	0.01	0.020
0.20	0.02	0.045
0.30	0.06	0.085
0.40	0.12	0.170
0.50	0.19	0.270
0.60	0.29	0.410
0.70	0.40	0.560
0.80	0.52	0.690
0.90	0.62	0.740
0.96	0.66	0.740
1.00	0.68	0.740

3.2 Simulaties met huidige openingswet

De vlinderkleppen in de draaideur van de Scaldisluis worden op dit ogenblik geopend in 5 s. Deze 5 s betreft de totale openingsduur en omvat dus ook de aanloop en uitloop van de beweging van de vlinderkleppen. De gemiddelde openingssnelheid bedraagt 18 °/s. Een openingssnelheid van 5 s is vanuit hydraulisch oogpunt zeer snel waardoor de openingswet benaderd kan worden door de gemiddelde snelheid.

In De Mulder *et al.* (2006b) zijn de krachten op het schip in de sluiskolk berekend voor volgende combinaties van schepen in de sluiskolk:

- 1 schip met de boeg van het schip 1.0 m verwijderd van de sluisdeur,
- 1 schip met de boeg van het schip 9.5 m verwijderd van de sluisdeur,
- 2 schepen achter elkaar, waarbij de boeg van het eerste schip zich 1.0 m van de sluisdeur bevindt,
- 2 schepen achter elkaar, waarbij de boeg van het eerste schip zich 2.0 m van de sluisdeur bevindt.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- De simulaties in De Mulder *et al.* (2006b) zijn uitgevoerd voor een kolk lengte van 39 m, terwijl de kolk lengte van de Scaldisluis 40 m bedraagt.
- Een afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur van 1 m wordt als redelijk klein beschouwd. Echter *Richtlijnen Vaarwegen 2011* (Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011) en Hager (1979) vermelden voor recreatievaart een minimale stopstreepafstand, zowel voor de bovendeur als voor de benedendeur, gelijk aan 1.0 m.
- De simulaties in De Mulder *et al.* (2006b) zijn uitgevoerd met Delft3D. In tegenstelling tot VUL_SLUIS en LOCKFILL worden in Delft3D voornamelijk de componenten van de langskracht op het schip ten gevolge van translatiegolven en deels de componenten van de langskracht op het schip ten gevolge van impulsafname en wrijving berekend. De component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking wordt niet beschouwd.

Aangezien de simulaties in De Mulder *et al.* (2006b) uitgevoerd zijn met een ander programma dan deze die voor dit onderzoek worden toegepast en de kolk lengte beperkt verschilt van de huidige kolk lengte van de Scaldisluis, zijn eerst een aantal simulaties voor vullen en ledigen van de sluiskolk uitgevoerd met de huidige openingswet van de vlinderkleppen. Deze simulaties zijn zowel met LOCKFILL als met VUL_SLUIS uitgevoerd. In LOCKFILL en VUL_SLUIS kan echter maar één schip ingegeven worden. Het simuleren van twee schepen achter elkaar als één star geheel zou fysisch niet correct zijn, aangezien de twee schepen in werkelijkheid flexibel de beweging van het wateroppervlak volgen. Om die reden zijn enkel simulaties uitgevoerd met één schip in de kolk.

Om na te gaan welke positie van het schip in de sluiskolk het meest nadelig is wat krachten op het schip betreft, worden verschillende afstanden tussen de boeg van het schip en de sluisdeur beschouwd. Voor vullen van de sluiskolk is de afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur als volgt gevarieerd:

- Eén simulatie is uitgevoerd met de minimale afstand van 1.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur.
- Eén simulatie is uitgevoerd met het schip in het midden van de sluiskolk (een afstand tussen boeg van het schip en sluisdeur van 13.0 m)
- Eén simulatie is uitgevoerd met een afstand van 5.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur.

Voor ledigen van de sluiskolk is enkel de afstand van 6.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur beschouwd. Deze afstand houdt rekening met het feit dat de opwaartse sluisdeur naar binnen draait en dat bijgevolg een schip niet kan afgemeerd worden binnen een afstand van 5.5 m van de sluisdeur. Als minimale afstand wordt om die reden een afstand gelijk aan 6.0 m beschouwd.

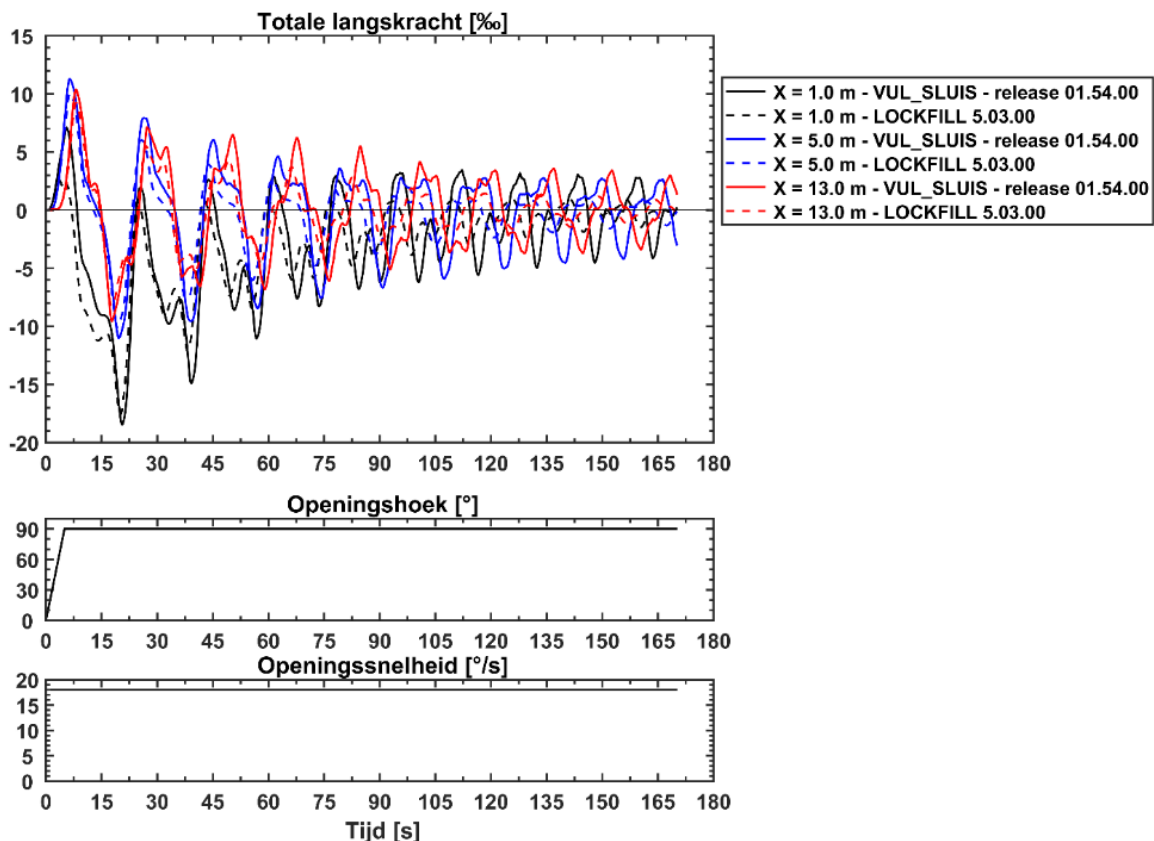
Tabel 5 geeft een overzicht van de simulaties uitgevoerd met de huidige openingswet.

Tabel 5 – Overzicht simulaties met huidige openingswet (O1)

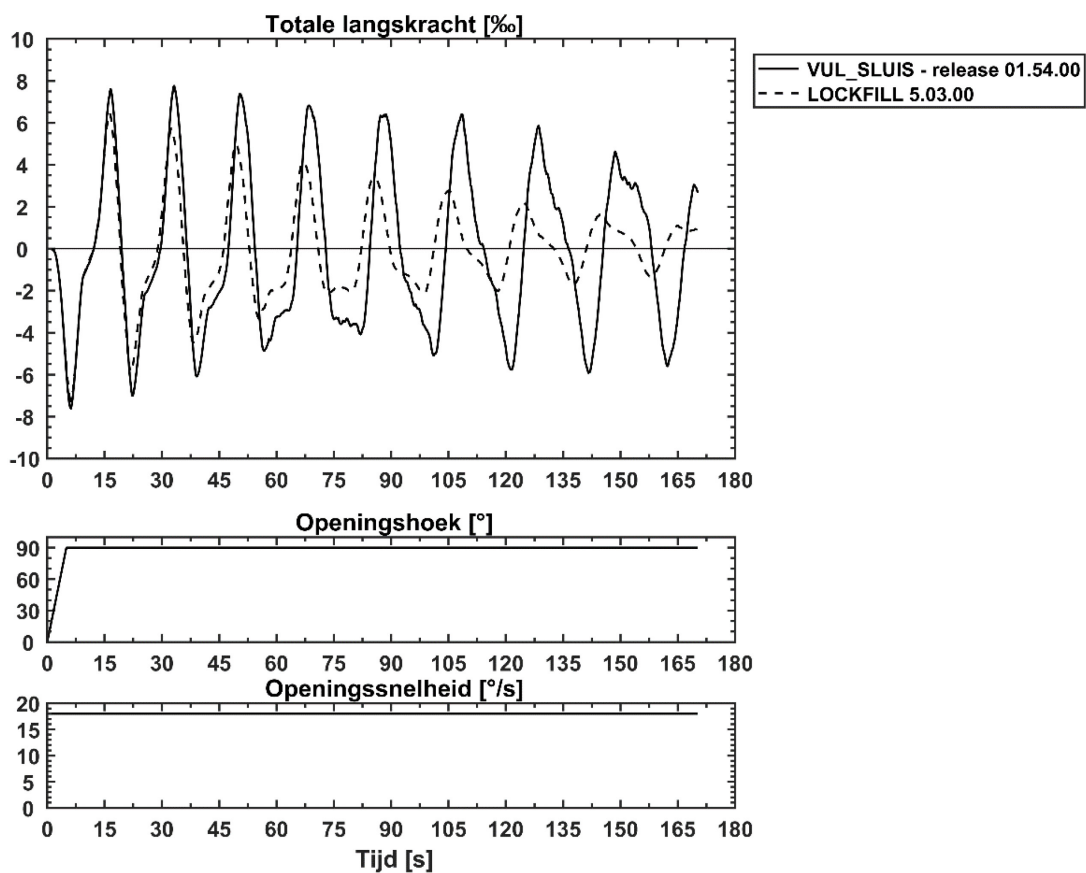
Type	Schip					Openingswet
	Aantal	Lengte	Breedte	Diepgang	Afstand boeg schip - sluisdeur	
Vullen	1 schip	14.0 m	4.5 m	1.2 m	1.0 m	Huidige openingswet (O1)
		14.0 m	4.5 m	1.2 m	5.0 m	
		14.0 m	4.5 m	1.2 m	13.0 m	
Ledigen	1 schip	14.0 m	4.5 m	1.2 m	6.0 m	

Voor deze simulaties geven Figuur 1 (vullen sluiscolk) en Figuur 2 (ledigen) een grafische voorstelling van de variatie in de tijd van de langskracht op het schip, de openingshoek en de openingsnelheid van de vlinderkleppen. Uit Figuur 1 volgt dat vanaf een afstand groter dan 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur de langskracht op het schip gedomineerd wordt door translatiegolven. Bij een afstand gelijk aan 1.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur is de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname duidelijk merkbaar aan de hand van de overwegend negatieve berekende langskracht op het schip. Bij ledigen (Figuur 2) zijn enkel translatiegolven aanwezig.

Een overzicht van de nivelleertijd, de extreme waarde van het debiet, de extreme waarde van de stijgsnelheid, en de minimale en maximale waarde van berekende langskracht op het schip is voor al deze simulaties gegeven in Tabel 6.



Figuur 1 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingsnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiscolk met de huidige openingswet



Figuur 2 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingsnelheid van de vlinderkleppen voor ledigen sluiscolk met de huidige openingswet en schip op 6 m verwijderd van de sluisdeur

Tabel 6 – Nivelleertijd, extreme waarde debiet, extreme waarde stijgsnelheid, minimale en maximale waarde van langskracht voor de simulaties met de huidige openingswet

Type	Afstand boeg schip - sluisdeur	Openingswet	Programma	Nivelleertijd		Extreme waarde stijgsnelheid	Extreme waarde debiet	Langskracht	
				s	min			min	max
Vullen/Ledigen	m	-	VUL_SLUIS/LOCKFILL	s	min	m/s	m ³ /s	%	%
Vullen	1.0	O1	VUL_SLUIS	170.2	2.8	0.014	3.115	-18.45	7.09
	1.0	O1	LOCKFILL	170.2	2.8	0.014	3.115	-17.58	2.53
	5.0	O1	VUL_SLUIS	170.2	2.8	0.014	3.115	-11.03	11.29
	5.0	O1	LOCKFILL	170.2	2.8	0.014	3.115	-10.08	10.02
	13.0	O1	VUL_SLUIS	170.2	2.8	0.014	3.115	-9.56	10.36
	13.0	O1	LOCKFILL	170.2	2.8	0.014	3.115	-8.26	9.22
Ledigen	6.0	O1	VUL_SLUIS	170.2	2.8	-0.014	-3.115	-7.62	7.76
	6.0	O1	LOCKFILL	170.2	2.8	-0.015	-3.115	-7.25	6.46

Rood: waarde hoger dan betreffende criterium; groen: waarde lager dan betreffende criterium

Uit Tabel 6 volgt dat de sluiscolk bij toepassing van de huidige openingswet genivelleerd wordt in 2.8 min. Dit is korter dan de richtwaarde van 4.0 min bepaald door de opdrachtgever. De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiscolk bedraagt 0.014 m/s, wat hoger is dan het criterium voor recreatievaart (0.010 m/s). Ook volgt uit de tabel dat met VUL_SLUIS algemeen iets hogere langskrachten op het schip berekend worden dan met LOCKFILL. De berekende minimale waarden verschillen maximaal 1.0 ‰. Tussen de berekende maximale waarden worden grotere verschillen vastgesteld. De berekende extreme waarden van de langskrachten op het schip zijn beduidend hoger dan het criterium van 3.0 ‰ voor recreatievaart. Bij een afstand van één meter tussen boeg van het schip en de sluisdeur wordt een extreme waarde van de langskracht op het schip berekend van -18.5 ‰. Deze waarde neemt af met de afstand tot de sluisdeur (-10 ‰ bij een afstand gelijk aan 13.0 m).

Uit de simulaties volgt dat vanaf een afstand gelijk aan 5.0 m de invloed van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname beperkt is ten opzichte van de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De extreme waarden voor de langskracht nemen bij afstanden groter dan 5.0 m beperkt af.

3.3 Simulaties met aangepaste openingswet

Deze paragraaf beschrijft de simulaties met de aangepaste openingswet voor de vlinderkleppen van de Scaldisluis.

Door EBS zijn volgende opties voorgesteld voor het aanpassen van de openingswet van de vlinderkleppen:

- Het behouden van de openingssnelheid van 18 °/s en het toepassen van tussenstops, i.e. één of meerdere tijdspannes waarin het openen van de vlinderklep gestopt wordt.
- Het behouden van de openingssnelheid van 18 °/s, maar in plaats van 6 vlinderkleppen worden een kleiner aantal vlinderkleppen geopend. De overige vlinderkleppen blijven gesloten.
- Het aanpassen van de openingssnelheid van de vlinderkleppen.

Hierbij wordt opgemerkt dat bij de laatste optie de aandrijving van de vlinderkleppen vervangen moeten worden, terwijl de aanpassingen van de eerste twee opties relatief eenvoudig op het terrein uitgevoerd kunnen worden.

Op basis hiervan zijn volgende aangepaste openingswetten gedefinieerd:

1. Openingswet O2: Openen van de vlinderkleppen met een snelheid van 1.5 °/s. Hierbij worden de vlinderkleppen geopend in 60 s.
2. Openingswet O3: De openingssnelheid van de vlinderkleppen blijft behouden op 18 °/s. Slechts vier vlinderkleppen worden geopend in plaats van zes. Hierbij blijft een even aantal vlinderkleppen gesloten om een symmetrische instroming in de sluiskolk te behouden en om geen dwarskrachten te doen ontstaan wanneer het schip aan één zijde van de kolk afgemeerd wordt.
3. Openingswet O4: Bij deze openingswet blijft de openingssnelheid van 18 °/s behouden, maar worden een aantal tussenstops ingevoerd. De openingswet wordt na 1 s gestopt gedurende 7 s, na 9 s gedurende 49 s, na 59 s gedurende 34 s en na 94 s gedurende 26 s. Hierbij stelt de vraag of zulke aansturing in praktijk mogelijk is.
4. Openingswet O5: Bij deze openingswet blijft de openingswet behouden, maar worden de vlinderkleppen geopend in reeksen van 2 vlinderkleppen. Eerst worden de eerste twee vlinderkleppen geopend, na 70 s worden 2 bijkomende vlinderkleppen geopend en na 100 s worden de laatste 2 vlinderkleppen geopend. Hierbij wordt opgemerkt dat per reeks telkens 2 vlinderkleppen beschouwd zijn om een symmetrische instroming in de sluiskolk te bekomen en om geen dwarskrachten te doen ontstaan wanneer het schip aan één zijde van de kolk afgemeerd wordt. De twee vlinderkleppen per reeks betreffen bijgevolg telkens één vlinderklep per kolkhelft. Bij het openen van de eerste reeks vlinderkleppen is na 2.5 s een tussenstop met een duur van 5.5 s beschouwd om de krachten op het schip te verlagen.
5. Openingswet O5b: Analoog aan openingswet O5 worden de vlinderkleppen in 3 reeksen van 2 vlinderkleppen geopend. De starttijdstippen van het openen van de verschillende reeksen vlinderkleppen zijn dezelfde als bij openingswet O5. Enkel de tussenstop bij het openen van de eerste reeks vlinderkleppen is niet meer aanwezig. Deze simulatie is uitgevoerd om de invloed van het weglaten van de tussenstop bij het openen van de eerste twee vlinderkleppen te onderzoeken.

Bij openingswetten O3, O5 en O5b wordt opgemerkt dat LOCKFILL en VUL_SLUIS veronderstellen dat de openingen in de sluisdeur gelijkmatig verdeeld zijn over de breedte van de sluiskolk. Indien dit niet het geval is kunnen geconcentreerde jets uit de openingen aanleiding geven tot het ontstaan van ongewenste (dwars)krachten op het schip. Bij de implementatie van een dergelijke openingswet is het om die reden noodzakelijk om een aantal testnivellerings zonder schip en vervolgens met schip uit te voeren.

Tabel 7 geeft een overzicht van de openingssnelheid van de verschillende beschouwde openingswetten.

Met deze openingswetten zijn simulaties uitgevoerd voor vullen en ledigen van de sluiskolk met één schip in de sluiskolk. Bij vullen is telkens een afstand gelijk aan 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 5.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur beschouwd. Bij ledigen is enkel de afstand 6.0 m beschouwd. Voor vullen zijn meerdere afstanden beschouwd om de invloed van de afstand tot de deur op de langskracht van het schip te onderzoeken.

Tabel 7 – Aangepaste openingswetten vlinderkleppen Scaldisluis

Openingswet O2		Openingswet O3		Openingswet O4		Openingswet O5			Openingswet O5b				
Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Reeks	Tijd	Openings-snelheid	Reeks	Tijd	Openings-snelheid		
0.00 s	1.5 °/s	0.00 s	18.0 °/s	0.00 s	18.0 °/s	1	0.00 s	18.0 °/s	1	0.00 s	18.0 °/s		
60.00 s	1.5 °/s	5.00 s	18.0 °/s	1.00 s	18.0 °/s		2.50 s	18.0 °/s		5.00 s	18.0 °/s		
				1.01 s	0.00 °/s		2.51 s	0.0 °/s					
				7.99 s	0.00 °/s		7.99 s	0.0 °/s					
				8.00 s	18.0 °/s		8.00 s	18.0 °/s					
				9.00 s	18.0 °/s		10.50 s	18.0 °/s					
				9.01 s	0.00 °/s		2	0.00 s		00.0 °/s	2	0.00 s	00.0 °/s
				57.99 s	0.00 °/s			60.99 s		00.0 °/s	60.99 s	00.0 °/s	
				58.00 s	18.0 °/s			70.00 s		18.0 °/s	70.00 s	18.0 °/s	
				59.00 s	18.0 °/s			75.00 s		18.0 °/s	75.00 s	18.0 °/s	
				59.01 s	0.00 °/s	3		0.00 s	00.0 °/s	3	0.00 s	00.0 °/s	
				92.99 s	0.00 °/s		99.99 s	00.0 °/s	99.99 s	00.0 °/s			
				93.00 s	18.0 °/s		100.00 s	18.0 °/s	100.00 s	18.0 °/s			
				94.00 s	18.0 °/s		105.00 s	18.0 °/s	105.00 s	18.0 °/s			
				94.01 s	0.00 °/s								
				119.99 s	0.00 °/s								
				120.00 s	18.0 °/s								
				121.00 s	18.0 °/s								

Voor het bepalen van de verschillende beschouwde openingswetten is ervoor gezorgd dat de extreme waarde van de langskracht op het schip bij een afstand gelijk aan 5.0 m en indien mogelijk ook bij een afstand gelijk aan 3.0 m berekend met VUL_SLUIS lager blijft dan het criterium van 3.0 ‰ voor recreatievaart. Daarna is gecontroleerd of de extreme waarde van de langskracht berekend met LOCKFILL ook voldoet aan het criterium. Hierbij moet opgemerkt worden dat in werkelijkheid mogelijk hogere waarden van de langskracht op het recreatievaartschip toegelaten zijn, alsook mogelijk hogere waarden voor de stijgsnelheid van het waterpeil in de sluisolk. Bij het ontwerp van sluizen voor beroepsvaart genivelleerd met openingen in de deuren wordt de openingswet namelijk bepaald voor beroepsvaart in de sluisolk. Voor beroepsvaart bedraagt de maximale waarde van de stijgsnelheid van het waterpeil in de kolk bij afwezigheid van vlottende bolders 0.017 m/s. Bij recreatievaart in een sluisolk voor beroepsvaart worden dan ook langskrachten op het schip berekend die hoger zijn dan het criterium van 3.0 ‰ voor recreatievaart. In de praktijk worden in de meeste sluizen, waarbij de openingswet van de schuiven of kleppen in de deuren voor beroepsvaart is afgeleid, geen speciale openingswetten voor recreatievaart toegepast en worden in deze sluizen ook meestal geen problemen met recreatievaart vastgesteld. Om die reden is voor de simulaties in deze paragraaf een beperkte overschrijding van het criterium voor recreatievaart met langskrachten tot ca. 4.0 ‰ ook nog als aanvaardbaar beschouwd.

De simulatie met openingswetten O5 en O5b zijn enkel uitgevoerd met VUL_SLUIS. In LOCKFILL is het niet mogelijk om het openen van verschillende reeksen vlinderkleppen na elkaar op een eenvoudige wijze toe te passen in de standaard inputfiles. Om die reden zijn deze simulaties niet met LOCKFILL uitgevoerd.

Voor alle uitgevoerde simulaties is in Figuur 4 tot en met Figuur 9 in Bijlage 1 een grafische voorstelling gegeven van de variatie in de tijd van de langskracht op het schip, de openingshoek en de openingsnelheid van de vlinderkleppen. Tabel 8 geeft voor alle uitgevoerde simulaties een overzicht van de nivelleertijd, de extreme waarde van het debiet, de extreme waarde van de stijgsnelheid en de minimale en maximale waarde van de berekende langskracht op het schip.

Tabel 8 – Nivelleertijd, extreme waarde debiet, extreme waarde stijgsnelheid, minimale en maximale waarde van langskracht voor de simulaties met de aangepaste openingswet

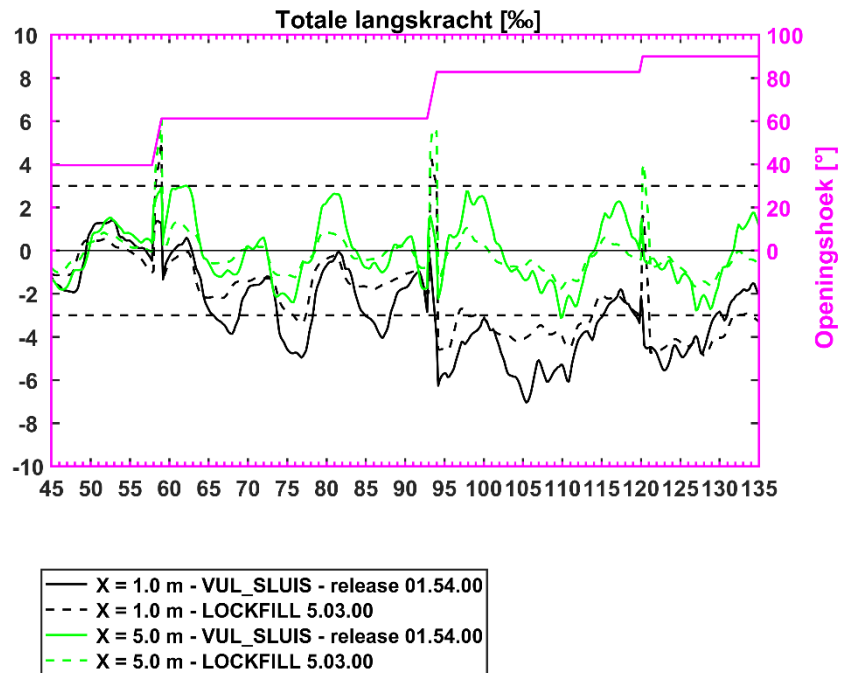
Type	Openingswet	Afstand boegschip - sluisdeur	Programma	Nivelleertijd		Extreme waarde stijgsnelheid	Extreme waarde debiet	Langskracht	
				s	min			m/s	m ³ /s
Vullen	O2	1	VUL_SLUIS	204.4	3.4	0.012	2.7	-8.24	0.55
	O2	1	LOCKFILL	204.6	3.4	0.013	2.7	-7.49	0.52
	O2	2	VUL_SLUIS	204.4	3.4	0.012	2.7	-4.60	0.57
	O2	2	LOCKFILL	204.6	3.4	0.013	2.7	-5.94	0.55
	O2	3	VUL_SLUIS	204.4	3.4	0.012	2.7	-2.10	0.80
	O2	3	LOCKFILL	204.6	3.4	0.013	2.7	-3.25	0.63
	O2	5	VUL_SLUIS	204.4	3.4	0.012	2.7	-0.82	1.10
	O2	5	LOCKFILL	204.6	3.4	0.013	2.7	-1.09	0.92
	O3	1	VUL_SLUIS	254.0	4.2	0.009	2.1	-11.83	5.26
	O3	1	LOCKFILL	254.2	4.2	0.010	2.1	-12.55	1.99
	O3	2	VUL_SLUIS	254.0	4.2	0.009	2.1	-8.92	6.72
	O3	2	LOCKFILL	254.2	4.2	0.010	2.1	-10.99	3.14
	O3	3	VUL_SLUIS	254.0	4.2	0.009	2.1	-7.93	7.36
	O3	3	LOCKFILL	254.2	4.2	0.010	2.1	-8.06	5.77
	O3	5	VUL_SLUIS	254.0	4.2	0.009	2.1	-7.46	7.59
	O3	5	LOCKFILL	254.2	4.2	0.010	2.1	-6.62	6.90
	O4	1	VUL_SLUIS	232.0	3.9	0.011	2.4	-7.04	2.03
	O4	1	LOCKFILL	242.6	4.0	0.011	2.3	-4.87	5.05
	O4	2	VUL_SLUIS	232.0	3.9	0.011	2.4	-5.61	2.20
	O4	2	LOCKFILL	242.6	4.0	0.011	2.3	-3.95	5.14
	O4	3	VUL_SLUIS	232.0	3.9	0.011	2.4	-3.51	2.79
	O4	3	LOCKFILL	242.6	4.0	0.011	2.3	-2.94	5.77
	O4	5	VUL_SLUIS	232.0	3.9	0.011	2.4	-3.13	3.01
	O4	5	LOCKFILL	242.6	4.0	0.011	2.3	-1.76	6.09
	O5	1	VUL_SLUIS	228.2	3.8	0.011	2.3	-5.69	2.54
	O5	2	VUL_SLUIS	228.2	3.8	0.011	2.3	-4.73	2.68
	O5	3	VUL_SLUIS	228.2	3.8	0.011	2.3	-3.06	2.89
	O5	5	VUL_SLUIS	228.2	3.8	0.011	2.3	-2.59	2.98
	O5b	1	VUL_SLUIS	226.8	3.8	0.010	2.3	-6.91	3.66
	O5b	2	VUL_SLUIS	226.8	3.8	0.010	2.3	-5.63	3.71
	O5b	3	VUL_SLUIS	226.8	3.8	0.010	2.3	-4.12	3.84
	O5b	5	VUL_SLUIS	226.8	3.8	0.010	2.3	-3.87	3.83
Ledigen	O2	6	VUL_SLUIS	204.4	3.4	-0.012	-2.7	-0.83	0.37
	O2	6	LOCKFILL	204.6	3.4	-0.013	-2.7	-0.68	0.29
	O3	6	VUL_SLUIS	254.0	4.2	-0.009	-2.1	-5.02	5.07
	O3	6	LOCKFILL	254.2	4.2	-0.010	-2.1	-4.78	4.29
	O4	6	VUL_SLUIS	232.0	3.9	-0.011	-2.4	-4.36	3.91
	O4	6	LOCKFILL	242.6	4.0	-0.011	-2.3	-5.54	1.16
	O5	6	VUL_SLUIS	228.2	3.8	-0.011	-2.3	-2.86	2.71
	O5b	6	LOCKFILL	226.8	3.8	-0.010	-2.3	-2.82	2.67

Rood: waarden hoger dan betreffende criterium; groen: waarden lager dan betreffende criterium

Op basis van Tabel 8 wordt het volgende vastgesteld:

- Bij toepassen van openingswet O2 worden voor de afstanden gelijk aan 3.0 m en 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur extreme waarden van de langskrachten berekend die lager zijn dan het criterium van 3.0 ‰ of dit criterium beperkt overschrijden. Voor kleinere afstanden tussen boeg van het schip en sluisdeur worden beduidend hogere extreme waarden van de langskracht berekend (waarden gelijk aan 5 à 8 ‰). Voor deze simulaties bedraagt de nivelleertijd 3.4 min, wat lager is dan de richttijd van 4.0 min. De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiskolk bedraagt 0.012 à 0.013 m/s, wat beperkt hoger is dan de toegelaten waarde van 0.010 m/s. Figuur 2 in Bijlage 1 met de grafische voorstelling van de variatie in de tijd van de berekende langskracht op het schip toont dat bij toepassen van deze vertraagde openingswet de langskracht op het schip niet meer gedomineerd wordt door translatiegolven, maar door de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname.
- Bij toepassen van openingswet O3, i.e. het openen van vier vlinderkleppen met een snelheid van 18 °/s, is de stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiskolk juist lager dan het criterium van 0.010 m/s. De nivelleertijd is juist hoger dan de richttijd van 4.0 min, opgegeven door de opdrachtgever. Voor alle afstanden worden langskrachten van 6 ‰ tot 13 ‰ berekend die beduidend hoger zijn dan het criterium van 3.0 ‰. Aangezien de nivelleertijd al langer is dan 4.0 min en aangezien telkens een even aantal vlinderkleppen gesloten blijft, is geen simulatie meer uitgevoerd, waarbij enkel twee vlinderkleppen met een snelheid van 18 °/s worden geopend.
- Uit Figuur 6 in Bijlage 1 volgt dat bij het toepassen van een openingswet met tussenstop bij het opnieuw openen van de vlinderkleppen langskrachten op het schip berekend worden die beduidend hoger zijn dan de langskrachten op het schip berekend tijdens de tussenstop (zie Figuur 3). De verklaring hiervoor is dat door het opnieuw openen van de vlinderkleppen met een hoge openingssnelheid van 18 °/s een bijkomende golf de sluiskolk ingestuurd wordt, die door de blokkering door het schip vertraagd afgevoerd wordt naar het hek van het schip. Hierdoor ontstaat ter plaatse van de boeg een hogere waterstand dan ter plaatse van het hek, nemen de langskrachten op het schip toe en beweegt het schip van de deur weg. De sluiskolk wordt bij de simulaties met openingswet O4 genivelleerd in juist 4.0 min. De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiskolk overschrijdt met 0.011 m/s beperkt het criterium.
- Bij toepassen van openingswet O5 worden voor de afstanden gelijk aan 3.0 m en 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur extreme waarden van de langskrachten berekend die lager zijn dan het criterium van 3.0 ‰ of die dit criterium juist overschrijden. Voor kleinere afstanden tussen boeg van het schip en sluisdeur worden beduidend hogere extreme waarden van de langskracht berekend (4.7 ‰ en 5.7 ‰). Voor deze simulaties bedraagt de nivelleertijd 3.8 min, wat juist lager is dan de richttijd van 4.0 min. De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiskolk bedraagt 0.011 m/s, wat beperkt hoger is dan de toegelaten waarde van 0.010 m/s.
- Het weglaten van de tussenstop bij het openen van de eerste twee vlinderkleppen bij openingswet O5b zorg ervoor dat de stijgsnelheid van het waterpeil juist gelijk is aan het criterium van 0.010 m/s. De invloed op de nivelleertijd is verwaarloosbaar (een stijging met 0.4 s). Voor de afstanden tussen boeg van het schip en de sluisdeur gelijk aan 3.0 m en 5.0 m stijgt de maximale waarde van de berekende langskracht op het schip tot ca. 4.0 ‰, wat hoger is dan het criterium maar vermoedelijk nog als aanvaardbaar beschouwd kan worden.
- Bij ledigen van de sluiskolk worden dezelfde nivelleertijden en stijgsnelheden van het waterpeil berekend als bij vullen. Bij toepassen van openingswetten O2 en O5 worden langskrachten op het schip berekend die lager zijn dan het criterium. Bij toepassen van openingswetten O3 en O4 worden extreme waarden van de langskrachten op het schip berekend van 4.4 ‰ à 5.5 ‰, wat nog beduidend hoger is dan het criterium.

Figuur 3 – Detail variatie langskracht [%] op het schip in functie van de tijd [s] voor simulatie met openingswet O4



Op basis van deze vaststellingen kan besloten worden dat enkel bij het openen van de vlinderkleppen in de draaideuren van de Scaldisluis in 60 s (openingswet O2) of bij het openen van 3 reeksen van twee vlinderkleppen na elkaar (openingswetten O5 en O5b) zowel bij vullen als bij ledigen langskrachten op het schip in de sluiskolk berekend worden die lager zijn dan het criterium voor recreatievaart (3.0 ‰) of dit criterium beperkt overschrijden, indien de afstand tussen de boeg van het schip en de sluisdeur groter is dan 3.0 m. Bij afstanden kleiner dan 3.0 m worden langskrachten op het schip berekend die beduidend hoger zijn dan het criterium. De nivelleertijd bedraagt hierbij 3.4 min (openingswet O2) en 3.8 min (openingswetten O5 en O5b). De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiskolk is bij toepassen van openingswetten O2 en O5 beperkt hoger dan het criterium (0.013 m/s, respectievelijk 0.011 m/s in plaats van 0.010 m/s) en is bij toepassen van openingswet O5b juist gelijk aan het criterium. Een vertraging van openingswet O2 is nog mogelijk, zodat de extreme waarde van de stijgsnelheid ook lager dan het criterium wordt. Hierbij zal ook de berekende langskracht op het schip ook nog afnemen.

Bij openingswet O5 moet nog opgemerkt worden dat de programma's VUL_SLUIS en LOCKFILL niet alle stromingsverschijnselen in beschouwing nemen van de eerder geconcentreerde jets bij het openen van verschillende reeksen vlinderkleppen na elkaar. Hierdoor kunnen te hoge (dwars) krachten op het schip ontstaan, dewelke niet met deze programma's berekend worden.

Het openen van vier vlinderkleppen met een openingsnelheid van 18 °/s (openingswet O3) of een openingswet met tussenstops (openingswet O4) geven bij alle beschouwde afstanden aanleiding tot berekende langskrachten die beduidend hoger zijn dan het criterium van 3.0 ‰ voor recreatievaart en kunnen bijgevolg niet toegepast worden.

4 Conclusie

De Scaldisluis is een sluis voor recreatievaart gelegen op de Nederschelde in Gent. De sluis, gebouwd in 2012, heeft een lengte van 40 m en een breedte van 5.50 m en werd tijdens het openingsweekend van 3 en 4 november 2018 in gebruik genomen. Tijdens dit openingsweekend is gebleken dat de openingswet van de vlinderkleppen door de schippers van de toeristenboten als nogal bruusk ervaren wordt. Om die reden vraagt de Vlaamse Waterweg regio West (DVW; contactpersoon: Jeroen Verbelen) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) en Expertise Beton en Staal (EBS) om te onderzoeken of het mogelijk is de openingswet aan te passen zodat de nivellering rustiger verloopt.

Door WL werd in 2006 het voorontwerp van het nivelleersysteem van de Scaldisluis uitgevoerd. In dit voorontwerp werden 6 vlinderkleppen diameter 0.40 m, 6 vlinderkleppen diameter 0.45 m, 6 vlinderkleppen diameter 0.50 m of 8 vlinderkleppen diameter 0.40 m voorgesteld als nivelleersysteem. Hierbij worden de vlinderkleppen geopend in 135 s à 233 s met een openingswet die bestaat uit vier verschillende openingssnelheden. De openingssnelheid van de vlinderkleppen bedraagt maximaal 1 °/s. Navraag bij de opdrachtgever en bij EBS leert dat 6 vlinderkleppen diameter 0.45 m aanwezig zijn in de draaideuren van de sluis, dewelke echter geopend worden in 5 s, wat overeenkomt met een openingssnelheid van 18 °/s en beduidend hoger is dan de waarden uit het advies van WL uit 2006.

Om te onderzoeken of de openingswet aangepast kan worden zijn een aantal simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL uitgevoerd, zowel met de huidige openingswet als met een aangepaste openingswet. Met de huidige openingswet (openingswet O1) is, zowel voor vullen als voor ledigen, de configuratie gesimuleerd met één schip in de kolk op een aantal afstanden van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur. Hieruit volgt dat vanaf een afstand groter dan 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur de langskracht op het schip gedomineerd wordt door translatiegolven. Bij een afstand gelijk aan 1.0 m tussen boeg van het schip en de sluisdeur is de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname duidelijk merkbaar aan de hand van de overwegend negatieve berekende langskracht op het schip. Vanaf een afstand van 5.0 m tussen boeg van het schip en sluisdeur nemen de extreme waarden voor de langskracht op het schip nog beperkt af. Bij ledigen zijn enkel translatiegolven aanwezig.

Aan de hand van de mogelijkheden voor aanpassen van de openingswet zijn simulaties uitgevoerd met vijf verschillende openingswetten, telkens voor vullen en ledigen van de sluisdeur met één schip in de kolk. De eerste openingswet betreft het openen van de vlinderkleppen in 60 s met een openingssnelheid gelijk aan 1.5 °/s (Openingswet O2). Daarna zijn openingswetten beschouwd waarbij de openingssnelheid behouden blijft op 18 °/s, maar waarbij slechts 4 vlinderkleppen geopend worden in plaats van zes, waarbij een aantal tussenstops ingevoerd zijn of waarbij 3 reeksen van twee vlinderkleppen na elkaar geopend worden met en respectievelijk zonder tussenstop (openingswet O5, respectievelijk O5b).

Uit deze simulaties kan besloten worden dat bij het openen van vier vlinderkleppen met een openingssnelheid van 18 °/s of het toepassen van een openingswet met tussenstops bij alle beschouwde afstanden aanleiding geeft tot berekende langskrachten die beduidend hoger zijn dan het criterium voor recreatievaart. Deze openingswetten kunnen bijgevolg niet toegepast worden. Bij het openen van de vlinderkleppen in de draaideuren van de Scaldisluis in 60 s (openingswet O2) of bij het openen van drie reeksen van twee vlinderkleppen na elkaar (openingswetten O5 en O5b) worden zowel bij vullen als bij ledigen langskrachten op het schip in de sluisdeur berekend die lager zijn dan het criterium voor recreatievaart of dit criterium beperkt overschrijden, indien de afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur groter is dan 3.0 m. De nivelleertijd bedraagt 3.4 min bij toepassen van openingswet O2 en 3.8 min bij toepassen van openingswetten O5 en O5b. De stijgsnelheid van het waterpeil in de sluisdeur is bij toepassen van deze openingswetten beperkt hoger of juist gelijk aan het criterium.

Tabel 9 – Aangepaste openingswetten vlinderkleppen Scaldisluis

Openingswet O2		Openingswet O5			Openingswet O5b		
Tijd	Openings-snelheid	Reeks	Tijd	Openings-snelheid	Reeks	Tijd	Openings-snelheid
0.00 s 60.00 s	1.5 °/s 1.5 °/s	1	0.00 s	18.0 °/s	1	0.00 s	18.0 °/s
			2.50 s	18.0 °/s		5.00 s	18.0 °/s
			2.60 s	0.0 °/s			
			7.99 s	0.0 °/s			
			8.00 s	18.0 °/s			
			10.50 s	18.0 °/s			
		2	0.00 s	00.0 °/s	2	0.00 s	00.0 °/s
			60.99 s	00.0 °/s		60.99 s	00.0 °/s
			70.00 s	18.0 °/s		70.00 s	18.0 °/s
			75.00 s	18.0 °/s		75.00 s	18.0 °/s
		3	0.00 s	00.0 °/s	3	0.00 s	00.0 °/s
			99.99 s	00.0 °/s		99.99 s	00.0 °/s
			100.00 s	18.0 °/s		100.00 s	18.0 °/s
			105.00 s	18.0 °/s		105.00 s	18.0 °/s

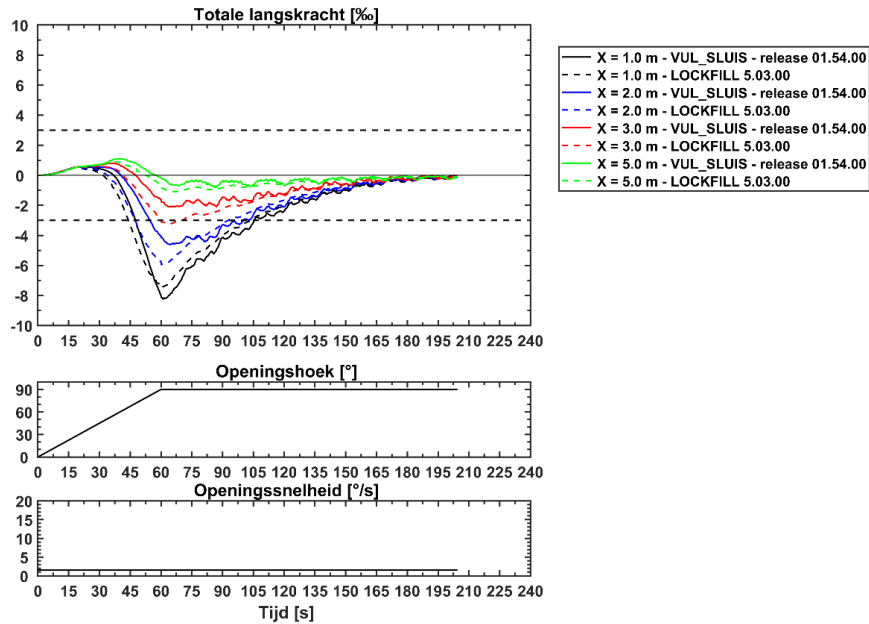
Bijgevolg wordt voorgesteld om openingswet O2 of openingswet O5 (of O5b) toe te passen voor de vlinderkleppen van de draaideuren van de Scaldisluis. Hierbij stelt zich de vraag welke van deze beide openingswetten van de vlinderkleppen het eenvoudigst op het terrein te realiseren is. Bij openingswet O5 wordt nog opgemerkt dat de programma's VUL_SLUIS en LOCKFILL niet alle stromingsverschijnselen in beschouwing nemen van de eerder geconcentreerde jets bij het openen van verschillende reeksen vlinderkleppen na elkaar. Hierdoor kunnen te hoge (dwars) krachten op het schip ontstaan, dewelke niet door deze programma's berekend worden. Bij de implementatie van een dergelijke openingswet is het om die reden noodzakelijk om een aantal testnivelleringen zonder schip en vervolgens met schip uit te voeren.

Het is aanbevolen om na toepassen van een nieuwe openingswet voor de vlinderkleppen van de draaideuren van de Scaldisluis een terreinmeting uit te voeren waarbij de helling van het schip opgemeten wordt. De helling van de waterstand in de kolk tussen opwaarts en afwaarts uiteinde en de helling van het schip in de kolk zijn beiden een goede maat voor de optredende langskracht op het schip. Op basis van de opgemeten hellingen kan nagegaan worden of deze lager zijn dan het criterium van 3.0 ‰ voor recreatievaart. Tijdens deze terreinmeting dient ook een toeristenbootje in de sluis kolk aanwezig te zijn en wordt de afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur gevarieerd. Op deze wijze worden de ervaringen van de schipper meegenomen in de beoordeling en wordt nagegaan of voor de toegepaste openingswet van de vlinderkleppen de hierboven vermelde minimale afstand tussen boeg van schip en sluisdeur van 3.0 m echt noodzakelijk is. Aangezien de programma's VUL_SLUIS en LOCKFILL, waarmee de simulaties voor dit advies zijn uitgevoerd, niet gevalideerd zijn voor recreatievaart, kan de meetcampagne ook gebruikt worden als validatie voor deze programma's.

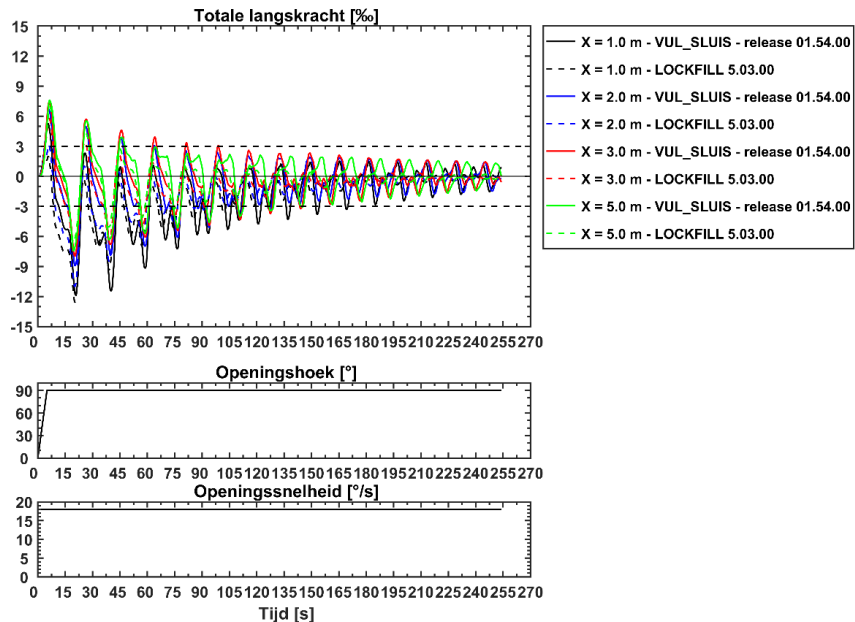
5 Referenties

- Beem, R.C.A.; Boogaard, A.; Glerum, A.; de Graaf, M.A.; Henneberque, S.D.; Hiddinga, P.H.; Kranenburg, D.; van der Meer, M.T.J.; Nagtegaal, G.; Van der Paverd, M.; Smink, L.M.C.; Vrijburcht, A.; Weijers, J. (2000).** Ontwerp van schutsluizen: deel 1. Bouwdienst Rijkswaterstaat: Utrecht. ISBN 90-369-3305-6
- De Mulder, T.; Verelst, K.; Willems, M. (2006a).** Memo voorontwerp vul- en ledigingssysteem Scaldisluis. Addendum 1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- De Mulder, T.; Verelst, K.; Willems, M. (2006b).** Memo voorontwerp vul- en ledigingssysteem Scaldisluis. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Deltares. (2015).** LOCKFILL. User and Technical manual. version 0.00 8 July 2015
- Hager. (1979).** Empfehlungen für die Gestaltung von Wassersportanlagen an Binnenwasserstrassen. Verkehrsblatt-Verlag
- Herbosch-kiere NV; SBE. (2012).** As built. Bekistingsplan. Grondplan - Dwarsdoorsnedes A-A tem D-D. Plan nr. HK-C0471-SBE-02h
- Herbosch-Kiere NV; SBE. (2012).** As built. Bekistingsplan. Langsdoorsnedes 1-1 tem 6-6 Plan nr. HK-C0471-SBE-03d
- Lasard, S.; Pulina, B. (1994).** Dimensioning and design of Boat passages and locks for boats for pleasure and entertainment, *in: (1994). 28th International Navigation Congress (P.I.A.N.C.), Section I, subject 5,. Sevilla, Spain, May 1994*
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2011).** Richtlijnen Vaarwegen 2011. RVW 2011
- Schwanenberg, D.; Jongeling, T.H.G. (2003).** Vul- en ledigingssysteem Royerssluis: deelopdracht I. Eerste ontwerp. Q2887. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Tarkon. (2011).** Draaideur. Plan nr. G42 rev. J
- Vercruyse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2015).** Zeekanaal Brussel Schelde - sluis Zemst: terreinmeting na renovatie middendeur. *WL Rapporten, 14_035.* Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

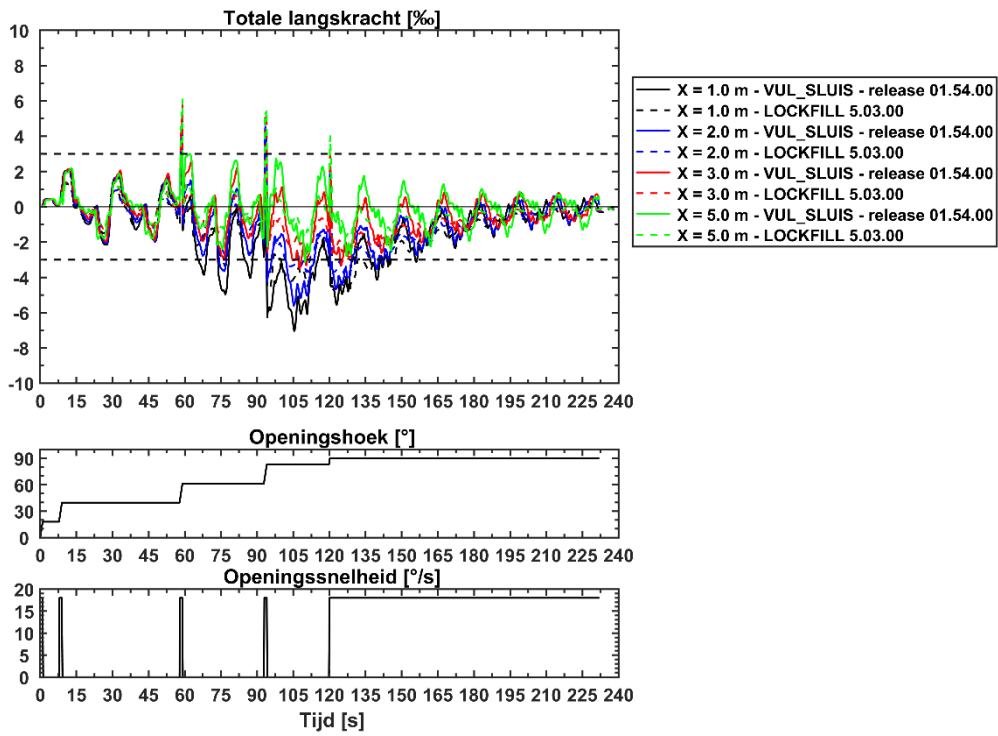
Bijlage 1 Figuren simulaties met aangepaste openingswet vlinderkleppen



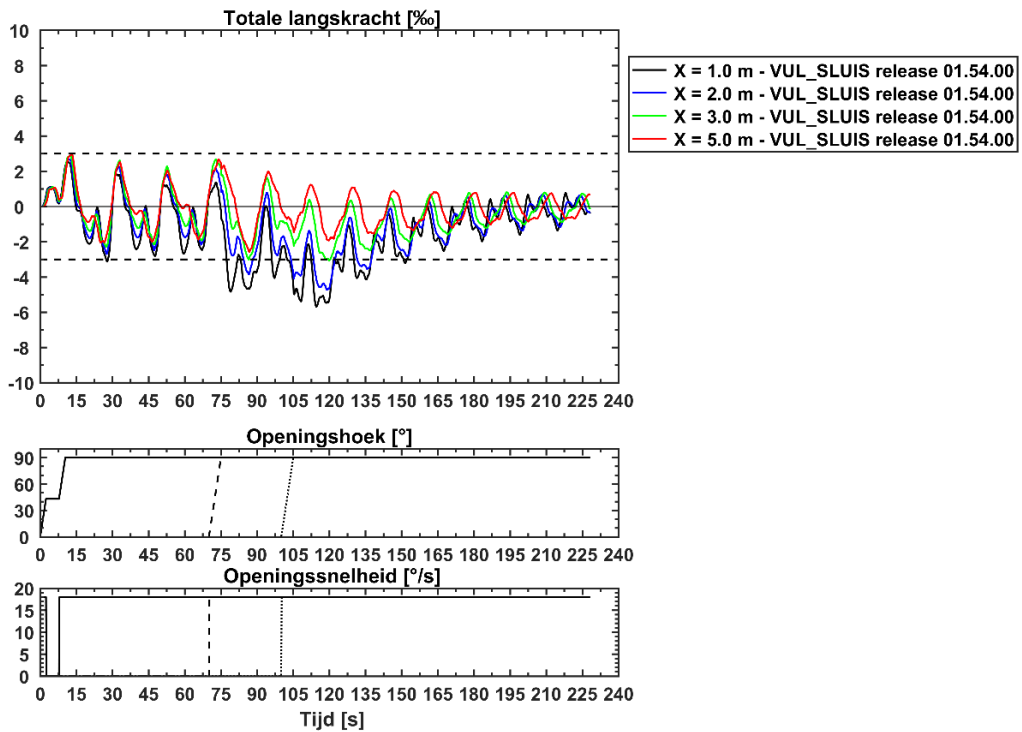
Figuur 4 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiscolk met openingswet O2



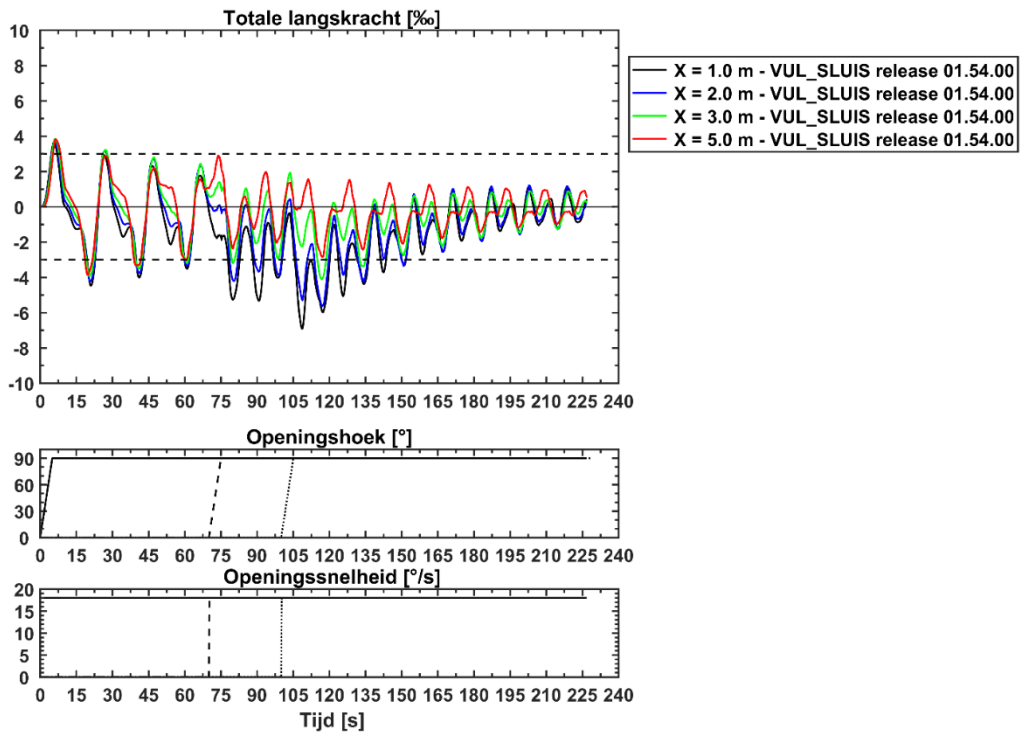
Figuur 5 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingssnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiscolk met openingswet O3



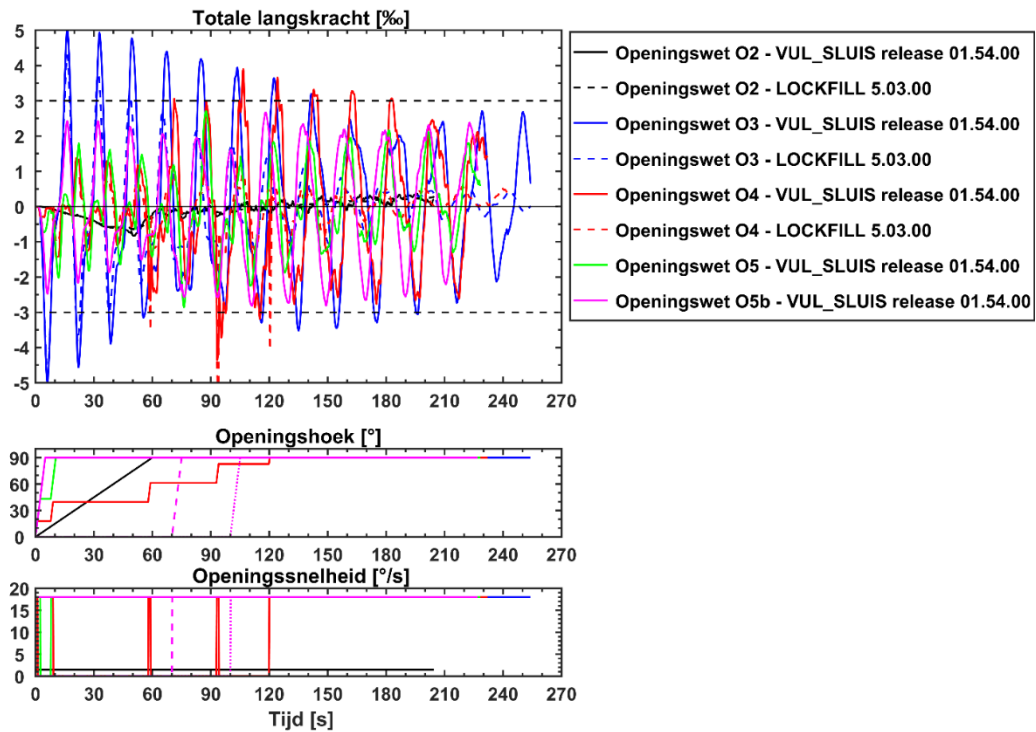
Figuur 6 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingsnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiscolk met openingswet O4



Figuur 7 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingsnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiscolk met openingswet O5



Figuur 8 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingsnelheid van de vlinderkleppen voor vullen sluiscolk met openingswet O5b



Figuur 9 – Variatie in de tijd van langskracht op het schip, openingshoek en openingsnelheid van de vlinderkleppen voor ledigen sluiscolk

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

www.waterbouwkundiglaboratorium.be