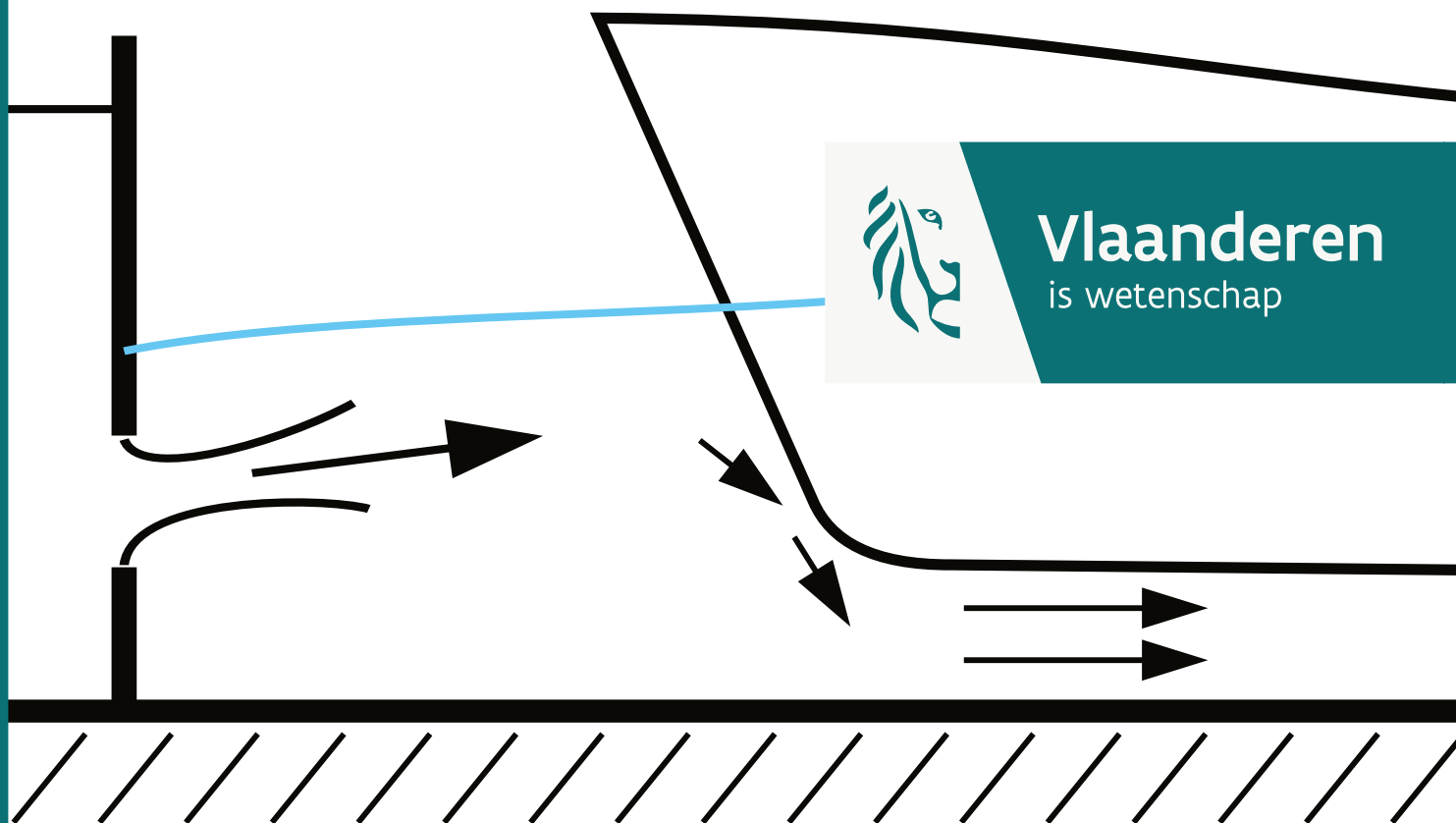




Vlaanderen
is wetenschap



15_007_4
WL rapporten

Verdere ontwikkeling VULSLUIS

Validatie VULSLUIS en LOCKFILL
voor enkele praktijkcases

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Verdere ontwikkeling VUL_SLUIS

Validatie VUL_SLUIS en LOCKFILL voor enkele praktijkcases

Verelst, K.; Vercruysse, J.; De Mulder, T.

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 2025
D/2025/3241/019

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; Vercruysse, J.; De Mulder, T. (2025). Verdere ontwikkeling VUL_SLUIS: Validatie VUL_SLUIS en LOCKFILL voor enkele praktijkcases. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_007_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2025R15_007_4
Trefwoorden (3-5):	Lock, filling and emptying, software, development		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > sluizen > Nivelleersysteem > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	135	Bijlagen (p.):	53
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

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

Controle

	Naam	Handtekening	
Revisor(en):	De Mulder, T.	Getekend door:De Mulder Tom Frans O Getekend op:2025-04-24 12:16:11 +02:0 Reden:I approve this document 	Getekend door:Jeroen Vercruysse (Signat Getekend op:2025-04-24 10:19:54 +02:00 Reden:Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
	Vercruysse, J.		
Projectleider:	Verelst, K.	Getekend door:Kristof Verelst (Signature) Getekend op:2025-04-24 10:05:44 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sig Getekend op:2025-04-24 10:27:02 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
-----------------	---------------	--

Abstract

In 2008 is door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) begonnen met het ontwikkelen van een eigen programma dat het nivelleren van een schutsluis via openingen in de deuren beschrijft. Dit programma is gebaseerd op literatuur met betrekking tot het programma LOCKFILL, wat ontwikkeld is door Deltares in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. De ontwikkeling van het programma VUL_SLUIS is gestart in het WL-project 00_077 en leidde tot twee verschillende versies van het programma, dewelke van elkaar verschillen in de formulering voor het berekenen van de langskrachten op het schip. De verdere ontwikkeling van het programma VUL_SLUIS heeft geleid tot VUL_SLUIS release 01.54.00, waarmee slechts één versie berekend wordt van de langskrachten op het schip in de sluiskolk.

In dit rapport is een validatie uitgevoerd van de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL voor zeven praktijkcases, dewelke simulaties uitgevoerd met LOCKFILL 3.02 in het kader van het ontwerp van een nivelleersysteem betreffen, schaalmodelonderzoek van krachten op een schip in een sluiskolk en terreinmetingen van waterspiegelhellingen in een sluiskolk. Voor al deze cases is de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk, de variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen, nivelleertijd, variatie in de tijd van waterspiegelhellingen in de sluiskolk of langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en berekend met LOCKFILL 5.03.00 vergeleken met de waarden uit het schaalmodelonderzoek of uit de terreinmeting.

Algemeen wordt voor alle cases een goede overeenkomst bekomen tussen variatie in de tijd van waterpeil in de sluiskolk en variatie in de tijd van debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en met LOCKFILL met deze uit het schaalmodelonderzoek of uit de terreinmeting. Tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL onderling worden ook geen of slechts beperkte verschillen vastgesteld. De nivelleertijd uit het schaalmodel of uit de terreinmeting wordt door VUL_SLUIS en LOCKFILL voor de meeste cases over- of onderschat met maximaal 5 %, met uitzondering van een beperkt aantal simulaties met over- of onderschattingen van 13 % à 29 %.

Bij de cases met betrekking tot terreinmetingen worden beduidend grote verschillen vastgesteld tussen de opgemeten waterspiegelhellingen en de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS of de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL. Deze verschillen worden vooral verklaard door de afwezigheid van de negatieve component in de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS of door het niet samenvallen van de locaties van boeg en hek van het schip in de kolk met de locaties waarvoor de waterspiegelhellingen opgemeten zijn.

Bij de cases met betrekking tot schaalmodelonderzoek wordt algemeen besloten dat het verloop van de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL grotendeels hetzelfde is als dit van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. Vooral de amplitude van de eerste piek van de berekende langskrachten (positief bij vullen, negatief bij ledigen) vertoont een goede overeenkomst met deze van de in het schaalmodel opgemeten langskrachten. Worden individuele simulaties vergeleken dan kunnen de positieve en de negatieve extrema door LOCKFILL en VUL_SLUIS beduidend over of onderschat worden. De gemiddelde afwijking is groter op het negatieve extremum dan op het positieve extremum. Hierbij wordt geen correlatie vastgesteld tussen de gemiddelde afwijking op de positieve en negatieve extrema van de langskracht en parameters zoals type nivellering en afstand tot de sluisdeur. Wel wordt een correlatie vastgesteld tussen de gemiddelde afwijking op het negatieve extremum en de blokkering van het schip in het dwarsprofiel van de sluiskolk. Algemeen kan niet besloten worden dat VUL_SLUIS een betere benadering geeft van de opgemeten langskrachten dan LOCKFILL, of omgekeerd.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	X
1 Inleiding	1
2 Validatie met resultaten modellering LOCKFILL voor Royerssluis.....	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Geselecteerde cases voor validatie.....	7
2.3 Resultaten validatie.....	14
2.4 Samenvatting resultaten	26
3 Validatie met resultaten schaalmodelstudie sluis Zemst.....	27
3.1 Algemeen	27
3.2 Geselecteerde cases voor validatie.....	28
3.3 Resultaten validatie.....	34
3.4 Samenvatting resultaten	42
4 Validatie met resultaten terreinmeting sluis Zemst.....	43
4.1 Algemeen	43
4.2 Geselecteerde cases voor validatie.....	44
4.3 Resultaten validatie.....	48
4.4 Samenvatting resultaten	56
5 Validatie met resultaten terreinmeting sluis Evergem	57
5.1 Algemeen	57
5.2 Geselecteerde cases voor validatie.....	60
5.3 Resultaten validatie.....	62
5.4 Samenvatting resultaten	73
6 Validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis.....	74
6.1 Algemeen	74
6.2 Geselecteerde cases voor validatie.....	77
6.3 Resultaten validatie.....	81
6.4 Samenvatting resultaten	90

7	Validatie met resultaten schaalmodel-onderzoek Nieuwe Sluis Terneuzen.....	92
7.1	Algemeen	92
7.2	Geselecteerde cases voor validatie.....	94
7.3	Resultaten validatie.....	97
7.4	Samenvatting resultaten.....	102
8	Validatie met resultaten schaalmodel-onderzoek Zeesluis IJmuiden	104
8.1	Algemeen	104
8.2	Geselecteerde cases voor validatie.....	105
8.3	Resultaten validatie.....	108
8.4	Samenvatting resultaten.....	112
9	Uitgebreide analyse van de resultaten van validatie	113
9.1	Relatie langskracht op een schip – end-to-end waterspiegelhelling in de sluiskolk.....	113
9.2	Afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wat betreft nivelleertijd	115
9.3	Afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wat betreft positief en negatief extremum van de langskracht	117
10	Conclusies.....	131
11	Referenties	134
	Bijlage 1: Tabellen en figuren voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL voor Royerssluis	
		B1
	Tabellen	B1
	Figuren	B4
	Bijlage 2 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten schaalmodelstudie sluis Zemst	B11
	Tabellen	B11
	Figuren	B15
	Bijlage 3 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Zemst	B21
	Tabellen	B21
	Figuren	B24
	Bijlage 4 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Evergem	B28
	Tabellen	B28
	Figuren	B31
	Bijlage 5 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis	B36
	Tabellen	B36
	Figuren	B40
	Bijlage 6 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten schaalmodelonderzoek Terneuzen	B46
	Tabellen	B46
	Figuren	B48

Bijlage 7 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten schaalmodelonderzoek IJmuiden	B50
Tabellen	B50
Figuren	B52

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Waarden algemene parameters VUL_SLUIS en LOCKFILL	4
Tabel 2 – Nivelleersystemen met hefschuiven uit Schwanenberg & Jongeling (2003).....	5
Tabel 3 – Nivelleersystemen met vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003).....	5
Tabel 4 – Overzicht simulaties gevoeligheidsanalyse uit Schwanenberg & Jongeling (2003).....	6
Tabel 5 – Toegepaste afvoercoëfficiënten voor openingen afgesloten met hefschuiven	7
Tabel 6 – Toegepaste afvoercoëfficiënt voor openingen afgesloten met vlinderkleppen	7
Tabel 7 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis; Simulatie A1 tot en met simulatie A14.....	8
Tabel 8 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis; Simulatie A15 tot en met simulatie A28	9
Tabel 9 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis; Simulatie B1 tot en met simulatie B12	10
Tabel 10 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis. Simulatie B13 tot en met simulatie B40	11
Tabel 11 – Openingswet vlinderkleppen	12
Tabel 12 – Vergelijking hoek boeg in verticaal vlak en hoek boeg in horizontaal vlak uit handleiding LOCKFILL met de waarden toegepast in de simulaties	13
Tabel 13 – Vergelijking openingssnelheden vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003) met de in de simulaties toegepaste openingssnelheden	13
Tabel 14 – Afmetingen sluis Zemst.....	27
Tabel 15 – Afmetingen (op schaal van prototype) sluiskolk in schaalmodelstudie	29
Tabel 16 – Afmetingen (op schaal van prototype) van schepen uit de schaalmodelstudie.....	29
Tabel 17 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten schaalmodelstudie sluis Zemst.....	31
Tabel 18 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt.....	32
Tabel 19 – Toegepaste openingswetten voor vlinderkleppen	32
Tabel 20 – Toegepaste openingswetten voor hefschuiven.....	33
Tabel 21 – Toegepaste openingswet voor simulatie 020	35
Tabel 22 – Openingswet vlinderkleppen uit Vercruysse <i>et al.</i> (2015) en Vercruysse <i>et al.</i> (2016b).....	45
Tabel 23 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt	46
Tabel 24 – Toegepaste openingswetten voor vlinderkleppen	46
Tabel 25 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Zemst	47
Tabel 26 – Verdeling nivellerings tijdens de terreinmeting	58
Tabel 27 – Bewegingswet hefschuiven.....	58
Tabel 28 – Openingssnelheid en openingsstap van de hefschuiven	59

Tabel 29 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt en openingswetten voor hefschuiven	60
Tabel 30 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Evergem	61
Tabel 31 – Karakteristieke peilen getijdhaven	74
Tabel 32 – Te nivelleren oppervlak.....	75
Tabel 33 – Geregistreerde nivellerings	76
Tabel 34 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt en openingswetten voor de vlinderkleppen	78
Tabel 35 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis; Simulatie 001 tot en met 011	79
Tabel 36 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis; Simulatie 012 tot en met 021	80
Tabel 37 – Karakteristieke waterpeilen in Westerschelde te Terneuzen.....	93
Tabel 38 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten schaalmodelproeven Nieuwe Sluis Terneuzen	95
Tabel 39 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt van de openingen in de roldeur	96
Tabel 40 – Toegepaste waarden voor de openingswet van de hefschuiven	96
Tabel 41 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten schaalmodelproeven IJmuiden	106
Tabel 42 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt van de openingen in de roldeur	107
Tabel 43 – Onderschatting (-)/overschatting (+) van negatief en positief extremum bij vergelijking van langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL meet deze uit terreinmeting of schaalmodelonderzoek	119
Tabel 44 – Nivelleertijd en extreme waarden langskracht voor simulatie A1 tot en met A28 berekend met LOCKFILL 3.02, VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00.....	B2
Tabel 45 – Nivelleertijd en extreme waarden langskracht voor simulatie B1 tot en met B40 berekend met LOCKFILL 3.02, VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00.....	B3
Tabel 46 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand en debiet uit schaalmodel.....	B11
Tabel 47 – Vergelijking nivelleertijd uit schaalmodel met nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B12
Tabel 48 – Vergelijking extreme waarden langskracht op schip uit schaalmodel met extreme waarden langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00.....	B13
Tabel 49 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand en debiet opgemeten tijdens terreinmeting	B21
Tabel 50 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.175 m opgemeten tijdens terreinmeting met nivelleertijd met restverval 0.175 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B22
Tabel 51 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten tijdens terreinmeting met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B22
Tabel 52 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00.....	B23

Tabel 53 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B23
Tabel 54 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand en debiet opgemeten tijdens terreinmeting	B28
Tabel 55 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten tijdens terreinmeting met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B29
Tabel 56 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B29
Tabel 57 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00.....	B30
Tabel 58 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand in sluiskolk berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand in sluiskolk opgemeten tijdens terreinmeting	B36
Tabel 59 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen opgemeten tijdens terreinmeting	B37
Tabel 60 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.15 m opgemeten tijdens terreinmeting met nivelleertijd met restverval 0.15 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B38
Tabel 61 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00	B39
Tabel 62 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00.....	B39
Tabel 63 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met variatie in de tijd van waterstand en debiet uit schaalmodelonderzoek	B46
Tabel 64 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten in schaalmodel met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	B46
Tabel 65 – Vergelijking extreme waarden langskracht opgemeten in schaalmodel met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	B47
Tabel 66 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet in sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met variatie in de tijd van waterstand en debiet in sluiskolk opgemeten in schaalmodel.....	B50
Tabel 67 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten in schaalmodel met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	B50
Tabel 68 – Vergelijking extreme waarde langskracht op schip opgemeten in schaalmodel met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	B51

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Componenten van de langskracht op het schip in een sluiskolk bij vullen en bij ledigen (Bron: Beem <i>et al.</i> (2000))	1
Figuur 2 – Definitie hoek boeg in verticale vlak (α) en hoek boeg in horizontale vlak (β)	12
Figuur 3 – Invloed van aanpassing openingssnelheid op variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door de nivelleeropeningen voor simulatie A7 en A15 berekend met LOCKFILL 5.03.00	15
Figuur 4 – Variatie in de tijd van debiet door de nivelleeropeningen voor simulatie A7 berekend met LOCKFILL 3.02, LOCKFILL 5.03.0 en VUL_SLUIS release 01.54.00	15
Figuur 5 – Invloed tijdstap op variatie in de tijd van de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven voor simulatie A1.....	16
Figuur 6 – Variatie in de tijd van de componenten van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A1 (a), A2 (b), A3 (c), A4 (d), A5(e), A6 (f), A7 (g), A8 (h), A9 (i) en A10 (j)	17
Figuur 7 – Variatie in de tijd van de componenten van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A11 (a), A12 (b), A13 (c), A14 (d), A15 (e), A16 (f), A17 (g), A18 (h), A19 (i) en A20 (j)	18
Figuur 8 – Variatie in de tijd van de componenten van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A21 (a), A22 (b), A23 (c), A24 (d), A25 (e), A26 (f), A27 (g) en A28 (h).....	19
Figuur 9 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A1 (a), A2 (b), A3 (c), A4 (d), A5 (e), A6 (f), A7 (g), A8 (h), A9 (i) en A10 (j)	20
Figuur 10 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A11 (a), A12 (b), A13 (c), A14 (d), A15 (e), A16 (f), A17 (g), A18 (h), A19 (i) en A20 (j)	21
Figuur 11 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A21 (a), A22 (b), A23 (c), A24 (d), A25 (e), A26 (f), A27 (g) en A28 (h)	22
Figuur 12 – Vergelijking positieve en negatieve extrema en hun procentuele afwijking van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulaties A1 tot en met A28	23
Figuur 13 – Vergelijking positieve en negatieve extrema van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulaties B1 tot en met B16 en B33 tot en met B40.....	25
Figuur 14 – Afmetingen sluis Zemst (W&Z Afdeling Zeekanaal, 2006).	27
Figuur 15 – Links: Uitspreiding vulstraat bij afwezigheid breekbalken en gedeeltelijk geopende hefschuif – Rechts: Schematisatie van deze toestand in VUL_SLUIS en LOCKFILL	30
Figuur 16 - Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met de waterstand in de sluiskolk uit het schaalmodelonderzoek voor simulatie 020.....	34
Figuur 17 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit schaalmodel en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL	36

Figuur 18 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e) en 006 (f) .	37
Figuur 19 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 007 (a), 008 (b), 009 (c), 010 (d), 011 (e), 012 (f), 013 (g) en 014 (h)	38
Figuur 20 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 015 (a), 016 (b), 017 (c), 018 (d), 019 (e), 020 (f), 021 (g) en 022 (h)	39
Figuur 21 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 023.....	40
Figuur 22 – Vergelijking minimale en maximale waarde langskracht op het schip uit schaalmodelstudie met de langskracht berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL.....	40
Figuur 23 – Procentuele verschillen tussen minimale en maximale waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de minimale en maximale waarde van de langskracht opgemeten in het schaalmodel.....	41
Figuur 24 – Locatie waterstandsmetingen in sluis van Zemst.....	43
Figuur 25 – Variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil tijdens de beschouwde nivellerings.....	44
Figuur 26 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit terreinmeting en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL	49
Figuur 27 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met waterspiegelhelling terreinmeting voor simulatie 002 (a), 004 (b), 008 (c), 010 (d), 011 (e), 012 (f) en 013 (g).....	50
Figuur 28 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	51
Figuur 29 – Procentuele verschillen tussen minimale en maximale waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de minimale en maximale waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting	51
Figuur 30 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS met waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b), 003 (c) en 004 (d).....	52
Figuur 31 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS met waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 005 (a), 006 (b), 007 (c), 008 (d), 009 (e), 010 (f) en 011 (g).....	53
Figuur 32 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS met waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 012 (a) en 013 (b)	54
Figuur 33 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS	54
Figuur 34 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting.....	55
Figuur 35 – Kolkafmetingen tweede sluis Evergem	57
Figuur 36 – Locatie druksensoren tijdens terreinmeting sluis Evergem	58
Figuur 37 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit terreinmeting en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL	63

Figuur 38 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b), 006 (c), 009 (d), 011 (e) en 013 (f)	64
Figuur 39 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	65
Figuur 40 – Procentuele verschillen tussen minimale en maximale waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de minimale en maximale waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting	65
Figuur 41 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L14 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e), 006 (f), 007 (g) en 008 (h)	66
Figuur 42 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L14 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 009 (a), 010 (b), 011 (c), 012 (d), 013 (e), 014 (f), 015 (g) en 016 (h)	67
Figuur 43 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L12 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 002 (a), 003 (b), 004 (c), 005 (d), 006 (e), 007 (f) en 008 (g)	68
Figuur 44 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L12 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 009 (a), 010 (b), 012 (c), 013 (d), 014 (e), 015 (f) en 016 (g)	69
Figuur 45 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS	70
Figuur 46 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting	71
Figuur 47 – Bovenaanzicht Vandammesluis	74
Figuur 48 - Locatie druksensoren tijdens terreinmeting Vandammesluis	75
Figuur 49 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit terreinmeting en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL	82
Figuur 50 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 005 (b), 007 (c), 014 (d) en 018 (e)	84
Figuur 51 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	84
Figuur 52 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting	84
Figuur 53 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling H14 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 005 (b), 007 (c), 014 (d) en 018 (e)	86
Figuur 54 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling H24 en H57 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 007 (b) en 014 (c)	87
Figuur 55 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling H58 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 007 (b) en 014 (c)	88
Figuur 56 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS	88

Figuur 57 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting.....	89
Figuur 58 – Ontwerp Nieuwe Sluis Terneuzen	92
Figuur 59 – Afmetingen schaalmodel Nieuwe Sluis Terneuzen	93
Figuur 60 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit schaalmodelonderzoek en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL.....	98
Figuur 61 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van langskracht uit schaalmodelproeven voor simulaties 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e) en 006 (f)	99
Figuur 62 – Vergelijking extreme waarde langskracht op schip uit schaalmodelonderzoek met extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL.....	100
Figuur 63 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met de extreme waarde van de langskracht op het schip uit het schaalmodelonderzoek.....	101
Figuur 64 – Bovenaanzicht schaalmodel Zeesluis IJmuiden met aanduiding locatie waterstandssensoren	104
Figuur 65 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit schaalmodelonderzoek en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL.....	108
Figuur 66 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met variatie in de tijd van langskracht uit schaalmodelproeven voor simulaties 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e), 006 (f) en 007 (g).....	110
Figuur 67 – Vergelijking extreme waarde langskracht op schip uit schaalmodelonderzoek met extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL	111
Figuur 68 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de extreme waarde van de langskracht op het schip uit het schaalmodelonderzoek	111
Figuur 69 – Vergelijking positief en negatief extremum opgemeten end-to-end waterspiegelhelling en positief en negatief extremum opgemeten langskracht op elk van beide schepen uit schaalmodelonderzoek sluis Zemst	114
Figuur 70 – Vergelijking nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met nivelleertijd uit schaalmodel of terreinmeting	115
Figuur 71 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek sluis Zemst	120
Figuur 72 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum waterspiegelhelling uit terreinmeting voor resultaten simulaties terreinmeting sluis Zemst en resultaten simulaties terreinmeting sluis Evergem	121
Figuur 73 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum waterspiegelhelling uit terreinmeting voor resultaten simulaties terreinmeting Vandammesluis	122
Figuur 74 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek IJmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen.....	123
Figuur 75 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek IJmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van type nivellering	126

Figuur 76 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van blokkage dwarsprofiel sluiskolk door schip (in %)	127
Figuur 77 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van afstand schip tot vuldeur [in m]	128
Figuur 78 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van afstand onderzijde vulopening tot bodem sluiskolk	129
Figuur 79 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van verhouding totale oppervlakte openingen in sluisdeur tot initiële natte sectie sluiskolk (aangeduid met relatieve oppervlakte van de openingen)	130
Figuur 80 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A1 (a), A2 (b), A3 (c) en A4 (d)	B4
Figuur 81 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A5 (a), A6 (b), A7 (c) en A8 (d)	B5
Figuur 82 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A9 (a), A10 (b), A11 (c) en A12 (d)	B6
Figuur 83 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A13 (a), A14 (b), A15 (c) en A16 (d)	B7
Figuur 84 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A17 (a), A18 (b), A19 (c) en A20 (d)	B8
Figuur 85 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A21 (a), A22 (b), A23 (c) en A24 (d)	B9
Figuur 86 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A25 (a), A26 (b), A27 (c) en A28 (d)	B10
Figuur 87 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)	B15
Figuur 88 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)	B16

Figuur 89 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 008 (a), 009 (b), 010 (c) en 011 (d)	B17
Figuur 90 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 012 (a), 013 (b), 014 (c) en 015 (d)	B18
Figuur 91 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 016 (a), 017 (b), 018 (c) en 019 (d)	B19
Figuur 92 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 020 (a), 021 (b), 022 (c) en 023 (d)	B20
Figuur 93 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)	B24
Figuur 94 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)	B25
Figuur 95 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 008 (a), 009 (b) en 010 (c)	B26
Figuur 96 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 011 (a), 012 (b) en 013 (c)	B27
Figuur 97 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)	B31
Figuur 98 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)	B32
Figuur 99 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 008 (a), 009 (b), 010 (c) en 011 (d)	B33
Figuur 100 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 012 (a), 013 (b), 014 (c) en 015 (d)	B34
Figuur 101 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 016	B35
Figuur 102 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)	B40
Figuur 103 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)	B41

Figuur 104 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 008 (a), 009 (b), 010 (c) en 011 (d)	B42
Figuur 105 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 v met resultaten terreinmeting voor simulatie 012 (a), 013 (b), 014 (c) en 015 (d)	B43
Figuur 106 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 016 (a), 017 (b), 018 (c) en 019 (d)	B44
Figuur 107 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 020 (a) en 021 (b)	B45
Figuur 108 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)	B48
Figuur 109 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 004 (a), 005 (b) en 006 (c)	B49
Figuur 110 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)	B52
Figuur 111 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d).....	B53

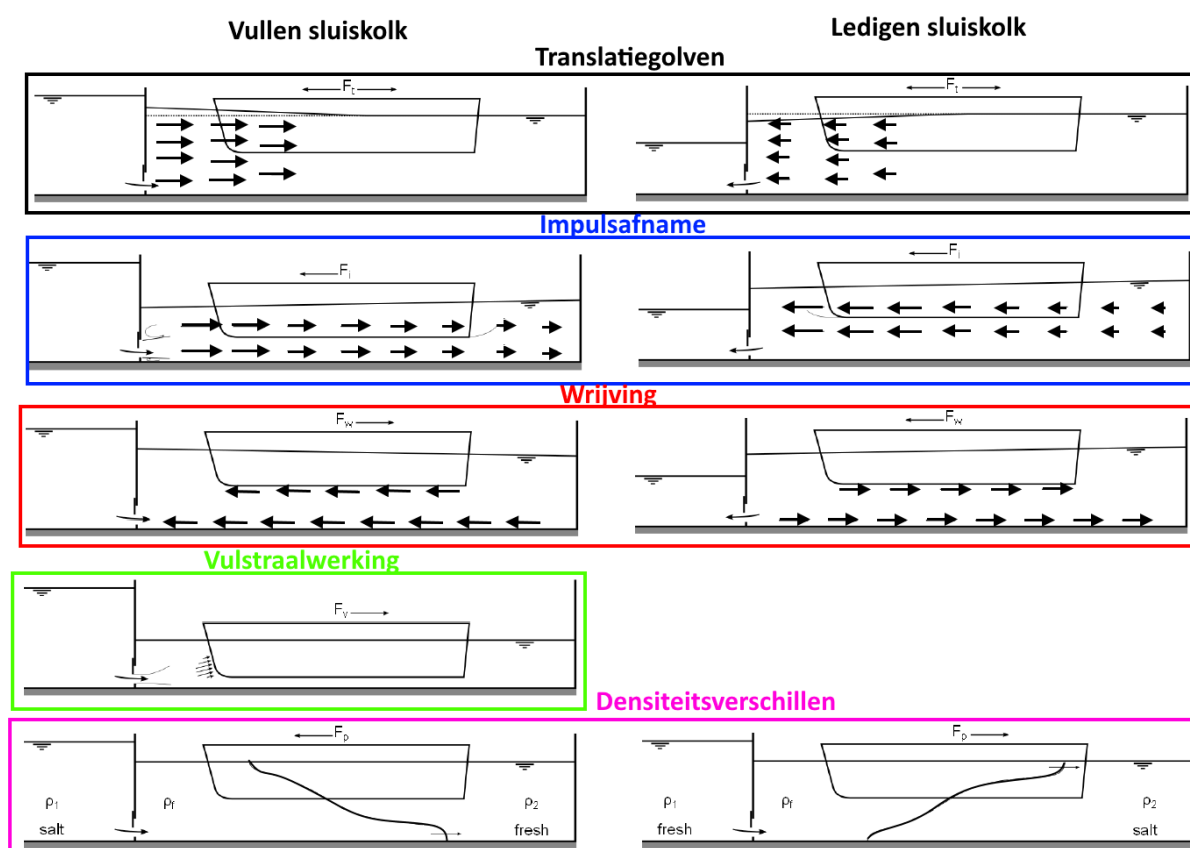
1 Inleiding

Voor het nivelleren van sluizen kan gebruik gemaakt worden van diverse systemen zoals bijvoorbeeld openingen in de sluisdeuren, (korte of lange) omloopriolen of lange omloopriolen met bodemroosters.

Bij vullen van een sluiscolk met openingen in de deuren worden volgende componenten van de langskracht op het schip onderscheiden (zie ook Figuur 1):

- De component ten gevolge van translatiegolven in de sluiscolk.
- De component ten gevolge van impulsafname van de stroming in de langsrichting van de colk.
- De component ten gevolge van wrijving van de stroming tegen het schip en de colkwanden.
- De component ten gevolge van het botsen van de straal uit de openingen tegen de boeg van het schip.
- De component ten gevolge van verschillen in dichtheid tussen het water aan de boeg en hek van het schip.

Bij ledigen zijn enkel de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven, impulsafname en wrijving aanwezig.



Figuur 1 – Componenten van de langskracht op het schip in een sluiscolk bij vullen en bij ledigen (Bron: Beem *et al.* (2000))

In 2008 is door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) begonnen met het ontwikkelen van een eigen programma, VUL_SLUIS genaamd, dat het nivelleren van een schutsluis via openingen in de deuren beschrijft. Dit programma is gebaseerd op literatuur met betrekking tot het programma LOCKFILL, wat ontwikkeld is door Deltares in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Het programma VUL_SLUIS beschrijft in geschematiseerde vorm het vul- en ledigingsproces van een schutsluis via openingen in de sluisdeuren. Het programma berekent de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk, het debiet door de openingen in de deuren en de verschillende componenten van de langskracht op het schip. Bij de ontwikkeling van dit programma is enkel het nivelleren via openingen in de sluisdeuren beschouwd. Nivelleren via korte omloopriolen, nivelleren via omloopriolen met woelkelder en de berekening van de component van de langskracht ten gevolge van dichtheidsverschillen zijn op dit ogenblik niet beschouwd bij de ontwikkeling van het programma VUL_SLUIS, maar zijn wel in beperkte mate mogelijk in LOCKFILL.

De ontwikkeling en een eerste validatie van het programma VUL_SLUIS is uitgevoerd in het WL-project 00_077. Binnen dit project zijn twee verschillende versies van het programma ontwikkeld, namelijk release 01.42.vA.08 en 01.42.vB.08. Deze beide releases geven identiek dezelfde resultaten wat betreft de variatie in de tijd van het debiet door de vulopeningen, de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en de optredende end-to-end waterspiegelhellingen. De verschillen tussen beide releases betreffen de formulering voor het berekenen van de langskrachten op het schip.

In het kader van de verdere ontwikkeling van het programma VUL_SLUIS, is reeds een eerste deelonderzoek uitgevoerd naar een aantal opmerkingen, aanbevelingen en verbeterpunten met betrekking tot de ontwikkeling van het programma VUL_SLUIS. Hierbij is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de invloed van een aantal algemene invoerparameters. Tevens werd de invloed onderzocht van 15 (beperkte) wijzigingen aan de code van het programma en werd een analyse uitgevoerd van de variatie in de tijd van een aantal interne (binnen het programma toegepaste) variabelen. Dit onderzoek is gerapporteerd in Verelst *et al.* (2017). Als resultaat van dit onderzoek is VUL_SLUIS release 01.53.01 ontwikkeld. Met deze release worden zowel versie A als versie B van het programma gesimuleerd. Daarna werd in Schindfessel & De Mulder (2017) een onderzoek uitgevoerd naar de berekening van debiet en impuls in de vulstraat. Het resultaat van dit onderzoek was een nieuwe versie van de subroutine vul_sluis_impuls_straal.m, dewelke geïmplementeerd is in VUL_SLUIS release 01.54.00. Deze laatste release berekent slechts één versie meer van de langskrachten op het schip in de sluiskolk.

Vervolgens is een systematische vergelijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL uitgevoerd voor een typesluis CEMT klasse Vb uit het Seine-Schelde- project (Vercruysse *et al.*, 2019) en zijn de langskrachten berekend met de beide versies van VUL_SLUIS release 01.53.00 en deze berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 vergeleken met deze berekend met LOCKFILL, met LOCKSIM en met Delft3D (Verelst *et al.*, 2019).

In voorliggend rapport wordt een validatie uitgevoerd van de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL voor enkele praktijkcases. Hiervoor zijn volgende cases beschouwd:

- Validatie aan de hand van simulaties met LOCKFILL uitgevoerd in het kader van het ontwerp van het nivelleersysteem van de Royerssluis (Hoofdstuk 2).
- Validatie aan de hand van de resultaten van de schaalmodelstudies. De schaalmodelstudies uitgevoerd voor de afwaartse sluiskolk van de sluis van Zemst (Hoofdstuk 3), voor de Nieuwe Sluis Terneuzen (Hoofdstuk 7) en voor de zeesluis van IJmuiden (Hoofdstuk 8) zijn hiervoor beschouwd.
- Validatie aan de hand van de resultaten van terreinmetingen. De terreinmetingen uitgevoerd in de afwaartse sluiskolk van de sluis van Zemst (Hoofdstuk 4), in de sluis van Evergem (Hoofdstuk 5) en de Vandammesluis (Hoofdstuk 6) zijn hiervoor beschouwd.

In de betreffende hoofdstukken worden voor deze cases de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk, de variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen, de variatie in de tijd van de opgemeten waterspiegelhellingen of langskracht en de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en berekend met LOCKFILL 5.03.00 vergeleken met de waarden uit de schaalmodelmetingen of deze uit de terreinmetingen.

In Hoofdstuk 9 wordt een meer uitgebreide analyse van de resultaten uitgevoerd. Aan de hand van een aantal overzichtsfiguren met betrekking tot nivelleertijd en positief en negatief extremum van de langskracht worden in dit hoofdstuk een aantal algemene besluiten geformuleerd in verband met de nauwkeurigheid van VUL_SLUIS en de nauwkeurigheid van LOCKFILL.

Hoofdstuk 10 vat de conclusies van dit rapport samen.

Met betrekking tot de validatie beschreven in dit rapport wordt het volgende opgemerkt:

- In het kader van een aantal ontwerpstudies voor nivelleersystemen voor nieuwe sluisen is voor een aantal praktijkcases in het verleden reeds een validatie uitgevoerd met een eerdere release van VUL_SLUIS. Sindsdien is verder gewerkt aan de ontwikkeling van VUL_SLUIS. In dit rapport zal enkel vergeleken worden met de resultaten van VUL_SLUIS release 01.54.00 en met de resultaten van LOCKFILL 05.03.00. Resultaten van vorige releases van VUL_SLUIS zullen in dit rapport niet vermeld worden. Tenzij in het rapport expliciet anders vermeld, wordt “VUL_SLUIS release 01.54.00” in de tekst eenvoudigweg VUL_SLUIS genoemd en “LOCKFILL release 05.03.00” eenvoudigweg LOCKFILL genoemd.
- Voor de verschillende cases wordt het debiet door de nivelleeropeningen bepaald aan de hand van

$$Q = \frac{dh}{dt} S$$

Met:

- Q	Totaal debiet door de nivelleeropeningen	[m ³ /s]
- dh/dt	Stijgsnelheid gemiddeld kolkpeil	[m/s]
- S	Kolkoppervlak	[m ²]

Bij cases met terreinmetingen wordt de stijgsnelheid van het gemiddeld kolkpeil over het algemeen berekend als de verhouding van het verschil in waterpeil tot het verschil in tijd tussen twee opeenvolgende metingen. Het gemiddeld kolkpeil wordt hierbij bepaald als het gemiddelde van het waterpeil van de verschillende divers dewelke in de sluiskolk aanwezig zijn.

Bij cases met schaalmodelproeven wordt eenzelfde methodologie toegepast. Hierbij wordt het gemiddeld waterpeil in de kolk bepaald als het gemiddelde van het waterpeil opgemeten door de verschillende sensoren dewelke in de sluiskolk aanwezig waren bij uitvoeren van de proeven. Bij de schaalmodelproeven van Zemst waren dit twee golvenmeters aan op- en afwaarts uiteinde van de kolk, bij de schaalmodelproeven voor Nieuwe Sluis Terneuzen en IJmuiden waren meerdere waterstandsmeters in de sluiskolk aanwezig.

- De variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL worden voor alle in dit rapport beschouwde cases vooreerst grafisch vergeleken met de opgemeten waterstanden (in schaalmodel of tijdens een terreinmeting) of de hieruit afgeleide debieten door de nivelleeropeningen. Daarnaast worden de waterstanden en debieten ook numeriek vergeleken. Hiervoor zijn volgende statistische parameters beschouwd (D’Agostino & Stephens, 1986; Schneggenburger, 1998):

$$1. \text{ Bias : } \quad \text{bias} = \bar{y} - \bar{x} \text{ met } \bar{x} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right) \text{ en } \bar{y} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right)$$

$$2. \text{ Root mean square error } \quad \text{rmse} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}}$$

$$3. \text{ Standaard afwijking op absolute fout } \quad \text{std} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N ((y_i - \bar{y}) - (x_i - \bar{x}))^2}{N-1}}$$

$$4. \text{ Correlatiecoëfficiënt R } \quad R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

Hierin zijn x_i en y_i de waarden van de beide vergeleken tijdsreeksen en $\bar{x}$ en $\bar{y}$ de gemiddelde waarden van de beide tijdsreeksen. Aangezien de tijdstap van de beschikbare meetgegevens (uit schaalmodelproeven of terreinmetingen) over het algemeen 1 s is, terwijl de tijdstap van de berekende waterstanden over het algemeen kleiner is (0.2 s, zie ook opmerking hieronder), worden de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende waterstanden en debieten geïnterpoleerd op een tijdreeks met tijdstap gelijk aan deze van de meetgegevens. Met betrekking tot de standaarddeviatie wordt opgemerkt dat gedeeld wordt door (N-1) in plaats van door N om een “unbiased” schatter van de standaarddeviatie te bekomen (Hogg *et al.*, 2019).

- Wat de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskrachten op het schip betreft worden de berekende langskrachten op het schip vooreerst grafisch vergeleken met de opgemeten langskrachten of waterspiegelhellingen. Echter bij een ontwerp van een nivelleersysteem van een sluis is het gebruikelijk om de extreme waarde van de berekende langskracht op het schip in de kolk te vergelijken met een criterium. Om die reden zullen de extreme waarden van de berekende langskrachten op het schip telkens ook vergeleken worden met de extreme waarden van de opgemeten langskrachten/waterspiegelhellingen. Naast een grafische vergelijking van de extreme waarden van de langskrachten/waterspiegelhellingen wordt ook de procentuele afwijking als volgt berekend:

$$\% \text{ afwijking} = \frac{\text{waarde parameter } X - \text{waarde parameter } Y}{\text{waarde parameter } Y} \times 100 \%$$

- In deze studie worden resultaten uit schaalmodelstudies beschouwd. Alle resultaten uit de betreffende schaalmodelstudies zijn aangeleverd/ter beschikking gesteld in prototype afmetingen. Voor details met betrekking tot verscaling van de aangeleverde/ter beschikking gestelde data wordt verwezen naar de rapporten van de betreffende schaalmodelstudies.
- In hoofdstuk 2 tot en met hoofdstuk 8 wordt voor elke uitgevoerde simulatie ook de input van VUL_SLUIS en LOCKFILL beschreven. Een aantal algemene inputparameters wordt slechts af en toe gewijzigd tijdens de validatie. Deze inputparameters worden in de overzichtstabellen met de input voor de verschillende beschouwde cases niet vermeld. Tenzij expliciet anders vermeld in hoofdstuk 2 tot en met hoofdstuk 8, geeft Tabel 1 een overzicht van de waarden die voor deze algemene inputparameters uit de invoerfile van VUL_SLUIS en LOCKFILL zijn beschouwd.

Tabel 1 – Waarden algemene parameters VUL_SLUIS en LOCKFILL

Tijdstap simulatie	0.2 s
Coëfficiënt drukopbouw ψ_1	0.8
Coëfficiënt ontwikkeling grenslaag ψ_3	0.9
Coëfficiënt CE_1 voor demping translatiegolven	0.07
Coëfficiënt CE_2 voor demping translatiegolven	0.40
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	0.005 m
Ruwheid romp schip	0.005 m

2 Validatie met resultaten modellering LOCKFILL voor Royerssluis

2.1 Algemeen

De Royerssluis is één van de verbindingen van de Schelde met het havengebied van de haven van Antwerpen op Rechteroever. De huidige sluis heeft een breedte van 22 m en een lengte van 180 m.

In 2002 werd door WL|Delft Hydraulics (nu: Deltares) een eerste ontwerp gemaakt van het nivelleersysteem in het kader van de vernieuwing van de Royerssluis (Schwanenberg & Jongeling, 2003). In de in 2002 uitgevoerde studie bleven de afmetingen van de huidige sluis behouden en was het de bedoeling dat het nivelleersysteem ingebouwd werd in de roldeuren van de sluis. In deze studie werden met behulp van het programma LOCKFILL simulaties uitgevoerd voor 5 configuraties nivelleersystemen met rechthoekige openingen afgesloten met hefschuiven en 5 configuraties nivelleersystemen met cirkelvormige openingen afgesloten met vlinderkleppen (Tabel 2 en Tabel 3).

Tabel 2 – Nivelleersystemen met hefschuiven uit Schwanenberg & Jongeling (2003)

Nivelleer-systeem	Aantal en breedte openingen	Hoogte openingen	Maximale doorstroomopening
R1	7 x 2.15 m	1.30 m	19.57 m ²
R2	5 x 2.60 m	1.30 m	16.90 m ²
R3	4 x 2.15 m	1.50 m	12.90 m ²
R4	4 x 1.60 m	1.50 m	9.60 m ²
R5	5 x 1.20 m	1.20 m	7.20 m ²

Tabel 3 – Nivelleersystemen met vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003)

Nivelleer-systeem	Aantal en diameter openingen	Maximale doorstroomopening
V1	8 x 1.80 m	20.35 m ²
V2	8 x 1.60 m	16.08 m ²
V3	6 x 1.60 m	12.31 m ²
V4	6 x 1.40 m	9.23 m ²
V5	5 x 1.40 m	7.70 m ²

De simulaties zijn zowel uitgevoerd voor een duwkonvooi CEMT Va in de sluiskolk als voor het binnenvaartschip JOWI in de sluiskolk.

De resultaten van deze simulaties zijn enkel grafisch gerapporteerd in figuren A1 tot en met A44 uit Schwanenberg & Jongeling (2003).

Daarnaast is in Schwanenberg & Jongeling (2003) ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarin voor de nivelleersystemen R3 en V3, de afvoercoëfficiënt van de openingen, de afstand van het schip tot de sluisdeur, ruwheid, straaldoorsneden, straalrichting en straalpositie gewijzigd zijn. Een overzicht van de simulaties die in deze gevoeligheidsanalyse zijn uitgevoerd is gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 – Overzicht simulaties gevoeligheidsanalyse uit Schwanenberg & Jongeling (2003)

Verlaging afvoercoëfficiënt met 10 %	Simulatie B1, B2, B3 en B4
Verhoging afvoercoëfficiënt met 10 %	Simulatie B5, B6, B7 en B8
Afstand schip sluisdeur 5 m	Simulatie B9, B10, B11 en B12
Afstand schip sluisdeur 20 m	Simulatie B13, B14, B15 en B16
Straalpositie verlaagd met 0.5 m	Simulatie B17, B18, B19 en B20
Straalpositie verhoogd met 0.5 m	Simulatie B21, B22, B23 en B24
Wijziging straalrichting van 0° naar -5°	Simulatie B25, B26, B27 en B28
Wijziging straalrichting van 0° naar +5°	Simulatie B29, B30, B31 en B32
Verlaging straaldoorsnede met 10 %	Simulatie B33, B34, B35 en B36
Verhoging straaldoorsnede met 10 %	Simulatie B37, B38, B39 en B40
Wijziging ruwheid kolk van 0.005 m naar 0.002 m	Simulatie B41, B42, B43 en B44
Wijziging ruwheid kolk van 0.005 m naar 0.010 m	Simulatie B45, B46, B47 en B48

Naast een grafische rapportering (figuren B1 tot en met B48) zijn in het rapport voor de simulaties uit de gevoeligheidsanalyse ook tabellen aanwezig waarin de (in absolute waarde) maximale waarde van de langskracht op het schip gerapporteerd is.

Daarna is door WL in 2013 het ontwerp uitgevoerd van het nivelleersysteem voor de vernieuwde Royerssluis, dewelke een lengte heeft van 250.0 m en een breedte van 36.0 m. Zowel aan Scheldezijde als aan dokzijde worden hierbij 2 roldeuren voorzien. Eerst werd in 2013 het ontwerp uitgevoerd voor een nivelleersysteem met openingen in de roldeuren (Verelst *et al.*, 2013), waarna in 2014 het ontwerp uitgevoerd is voor een nivelleersysteem met korte omloopriolen (Vercruysse *et al.*, 2016a).

Voorafgaand aan de in 2013 uitgevoerde studie, waarbij openingen in de roldeuren werden beschouwd voor de vernieuwde Royerssluis, werd een bijkomende validatie van het programma VUL_SLUIS uitgevoerd. Deze validatie is uitgevoerd op basis van de in 2002 uitgevoerde studie, waarbij een aantal met LOCKFILL 3.02 uitgevoerde simulaties met behulp van VUL_SLUIS release 01.42.vA.02 en VUL_SLUIS release 01.42.vB.02 nagerekend zijn. Deze simulaties zijn opnieuw uitgevoerd met de laatste release van VUL_SLUIS (release 01.54.00). Ter vergelijking zijn alle simulaties ook uitgevoerd met de meest recente versie van LOCKFILL (5.03.00). In dit hoofdstuk worden enkel de resultaten van de simulaties met VUL_SLUIS release 01.54.00 en de resultaten van de simulaties met LOCKFILL 5.03.00 vergeleken met de resultaten uit Schwanenberg & Jongeling (2003), berekend met LOCKFILL 3.02.

Paragraaf 2.2 beschrijft de geselecteerde cases voor de validatie. De resultaten van de validatie worden beschreven in paragraaf 2.3. Een samenvatting van deze resultaten is gegeven in paragraaf 2.4.

2.2 Geselecteerde cases voor validatie

Voor de validatie van het programma VUL_SLUIS zijn alle simulaties uit Schwanenberg & Jongeling (2003) geselecteerd die uitgevoerd zijn voor vullen en ledigen van de sluisolk bij het maximale verval, i.e. een Scheldepeil van -1.00 m TAW en een dokpeil van + 4.40 m TAW. Voor dit verval zijn simulaties met de beide scheepstypes en alle bestudeerde configuraties van openingen in de roldeur beschouwd. Dit betekent dat simulatie A1 tot en met simulatie A28 uit Schwanenberg & Jongeling (2003) geselecteerd zijn voor de validatie. Wat de gevoeligheidsanalyse betreft, zijn enkel die cases geselecteerd waarvoor een verhoging of een verlaging van de betreffende parameter (met LOCKFILL 3.02) aanleiding gaf tot een beduidende wijziging van de nivelleertijd of de langskrachten op het schip in de sluisolk. Om die reden zijn enkel de simulaties met een wijziging van de afvoercoëfficiënt (simulatie B1 tot en met simulatie B8), een wijziging van de afstand van het schip tot de sluisdeur (simulatie B9 tot en met simulatie B16) en een wijziging van de straalddoorsnede (simulatie B33 tot en met simulatie B40) beschouwd voor de validatie.

Voor deze simulaties geven Tabel 7 tot en met Tabel 10 een overzicht van de inputparameters van de voor de validatie geselecteerde cases. Tabel 5 en Tabel 6 geven voor rechthoekige openingen afgesloten door hefschuiven, respectievelijk ronde openingen afgesloten door vlinderkleppen een overzicht van de in deze tabellen vermelde afvoercoëfficiënten van de openingen. De afvoercoëfficiënten H2 en V2, respectievelijk H3 en V3, zijn 10% lager, respectievelijk 10% hoger dan de afvoercoëfficiënten H1 en V1.

Tabel 5 – Toegepaste afvoercoëfficiënten voor openingen afgesloten met hefschuiven

Relatieve hefhoogte	Afvoercoëfficiënt H1	Afvoercoëfficiënt H2	Afvoercoëfficiënt H3
[m/m]	[-]	[-]	[-]
0.00	0.700	0.630	0.770
1.00	0.650	0.585	0.715

Tabel 6 – Toegepaste afvoercoëfficiënt voor openingen afgesloten met vlinderkleppen

Relatieve klepstand	Afvoercoëfficiënt V1	Afvoercoëfficiënt V2	Afvoercoëfficiënt V3
[°/90°]	[-]	[-]	[-]
0.00	0.000	0.000	0.000
0.10	0.005	0.005	0.006
0.20	0.023	0.021	0.025
0.30	0.061	0.055	0.067
0.40	0.115	0.104	0.127
0.50	0.190	0.171	0.209
0.60	0.290	0.261	0.319
0.70	0.400	0.360	0.440
0.80	0.520	0.468	0.572
0.90	0.620	0.558	0.682
0.96	0.660	0.594	0.726
1.00	0.680	0.612	0.748

Tabel 7 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis; Simulatie A1 tot en met simulatie A14

		Simulatie A1	Simulatie A2	Simulatie A3	Simulatie A4	Simulatie A5	Simulatie A6	Simulatie A7	Simulatie A8	Simulatie A9	Simulatie A10	Simulatie A11	Simulatie A12	Simulatie A13	Simulatie A14
type		Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen
sluishoofd		bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND															
Peil opwaarts pand	[mTAW]	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
SLUISKOLK															
Lengte sluiskolk	[m]	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5
Breedte sluiskolk	[m]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Bodempeil sluiskolk	[mTAW]	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP		JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va
Lengte	[m]	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00
Breedte schip	[m]	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40
Diepgang	[m]	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50
Massa	[ton]	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800
Hoek boeg in de verticale	[°]	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluiskolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44
HEFSCHUIVEN															
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	1.30	1.30	n.v.t.	n.v.t.	1.30	1.30	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50
Type vulopeningen	[-]	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig
Totale breedte openingen	[m]	15.05	15.05	n.v.t.	n.v.t.	13.00	13.00	n.v.t.	n.v.t.	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.	6.40	6.40
Afvoercoëfficiënt		H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1
Openingssnelheid vh	[m/s]	0.0031	0.0031	n.v.t.	n.v.t.	0.0032	0.0032	n.v.t.	n.v.t.	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.	0.0078	0.0078
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiskolk (bij begin nivellering)	[-]	0.167	0.167	n.v.t.	n.v.t.	0.144	0.144	n.v.t.	n.v.t.	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.	0.082	0.082
VLINDERKLEPPEN															
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.
Diameter cirkelvormige opening	[m]	n.v.t.	n.v.t.	1.80	1.80	n.v.t.	n.v.t.	1.60	1.60	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek gesloten stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek open stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.
Minimale klephoek	[°]	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid $v_{h1} / v_{h2} / v_{h3}$	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	0.335 / 0.105 / 0.090	0.335 / 0.105 / 0.090	n.v.t.	n.v.t.	0.370 / 0.100 / 0.090	0.370 / 0.100 / 0.090	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiskolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	0.174	0.174	n.v.t.	n.v.t.	0.137	0.137	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105	n.v.t.	n.v.t.
Breekbalken		J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-3.83	-3.83	-3.43	-3.43	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	27.40	27.40	24.42	24.42	23.66	23.66	19.30	19.30	18.06	18.06	14.77	14.77	13.44	13.44
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 8 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis; Simulatie A15 tot en met simulatie A28

		Simulatie A15	Simulatie A16	Simulatie A17	Simulatie A18	Simulatie A19	Simulatie A20	Simulatie A21	Simulatie A22	Simulatie A23	Simulatie A24	Simulatie A25	Simulatie A26	Simulatie A27	Simulatie A28
type		Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Ledigen	Ledigen	Ledigen	Ledigen	Ledigen	Ledigen	Ledigen	Ledigen
sluishoofd		bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd	Benedenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND															
Peil opwaarts pand	[mTAW]	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
SLUISKOLK															
Lengte sluiskolk	[m]	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5
Breedte sluiskolk	[m]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Bodempeil sluiskolk	[mTAW]	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP		JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va
Lengte	[m]	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00
Breedte schip	[m]	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40
Diepgang	[m]	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50
Massa	[ton]	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800
Hoek boeg in de verticale	[°]	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluiskolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23	0.22
HEFSCHUIVEN															
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	1.20	1.20	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.	1.20	1.20	n.v.t.	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.
Totale breedte openingen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	6.00	6.00	n.v.t.	n.v.t.	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.	6.00	6.00	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt		n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid vh	[m/s]	n.v.t.	n.v.t.	0.0095	0.0095	n.v.t.	n.v.t.	0.0100	0.0100	n.v.t.	n.v.t.	0.0100	0.0100	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiskolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	0.061	0.061	n.v.t.	n.v.t.	0.055	0.055	n.v.t.	n.v.t.	0.031	0.031	n.v.t.	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN															
Aantal vlinderkleppen	[-]	6	6	n.v.t.	n.v.t.	5	5	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	5	5
Diameter cirkelvormige opening	[m]	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40
Klephoek gesloten stand	[°]	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0
Klephoek open stand	[°]	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90
Minimale klephoek	[°]	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0
Afvoercoëfficiënt	[-]	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1
Openingssnelheid $v_{h1} / v_{h2} / v_{h3}$	[°/s]	0.510 / 0.130 / 0.130	0.510 / 0.130 / 0.130	n.v.t.	n.v.t.	0.570 / 0.640 / 0.640	0.570 / 0.640 / 0.640	n.v.t.	n.v.t.	0.620 / 1.000 / 1.000	0.620 / 1.000 / 1.000	n.v.t.	n.v.t.	0.625 / 1.000 / 1.000	0.625 / 1.000 / 1.000
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiskolk (bij begin nivellering)	[-]	0.079	0.079	n.v.t.	n.v.t.	0.066	0.066	n.v.t.	n.v.t.	0.052	0.052	n.v.t.	n.v.t.	0.033	0.033
Breekbalken		J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-3.83	-3.83	-3.93	-3.93	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83	-3.93	-3.93	-3.83	-3.83
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	11.08	11.08	10.08	10.08	9.24	9.24	18.06	18.06	14.77	14.77	10.08	10.08	9.24	9.24
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 9 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis; Simulatie B1 tot en met simulatie B12

		Simulatie B1	Simulatie B2	Simulatie B3	Simulatie B4	Simulatie B5	Simulatie B6	Simulatie B7	Simulatie B8	Simulatie B9	Simulatie B10	Simulatie B11	Simulatie B12
type		Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen
sluishoofd		bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND													
Peil opwaarts pand	[mTAW]	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
SLUISKOLK													
Lengte sluisolk	[m]	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5
Breedte sluisolk	[m]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Bodempeil sluisolk	[mTAW]	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP		JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va
Lengte	[m]	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00
Breedte schip	[m]	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40
Diepgang	[m]	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50
Massa	[ton]	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800
Hoek boeg in de verticale	[°]	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44
HEFSCHUIVEN													
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.
Totale breedte openingen	[m]	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt		H2	H2	n.v.t.	n.v.t.	H3	H3	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid v _h	[m/s]	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN													
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8
Diameter cirkelvormige opening	[m]	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40
Klephoek gesloten stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0
Klephoek open stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90
Minimale klephoek	[°]	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	V2	V2	n.v.t.	n.v.t.	V3	V3	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1
Openingssnelheid v _{h1} / v _{h2} / v _{h3}	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105
Breekbalken													
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	18.06	18.06	14.77	14.77	18.06	18.06	14.77	14.77	18.06	18.06	14.77	14.77
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 10 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL Royerssluis. Simulatie B13 tot en met simulatie B40

		Simulatie B13	Simulatie B14	Simulatie B15	Simulatie B16	Simulatie B33	Simulatie B34	Simulatie B35	Simulatie B36	Simulatie B37	Simulatie B38	Simulatie B39	Simulatie B40
type		Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen
sluishoofd		bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd	bovenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND													
Peil afwaarts pand	[mTAW]	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
SLUISKOLK													
Lengte sluiskolk	[m]	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5
Breedte sluiskolk	[m]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Bodempeil sluiskolk	[mTAW]	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33	-6.33
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP		JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va	JOWI	Duwkonvooi CEMT Va
Lengte	[m]	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00	135.50	110.00
Breedte schip	[m]	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40	16.84	11.40
Diepgang	[m]	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50	3.20	4.50
Massa	[ton]	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800	6500	4800
Hoek boeg in de verticale	[°]	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluiskolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44	0.46	0.44
HEFSCHUIVEN													
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.	1.50	1.50	n.v.t.	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.
Totale breedte openingen	[m]	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.	8.60	8.60	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt		H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid vh	[m/s]	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.	0.0043	0.0043	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiskolk (bij begin nivellering)	[-]	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.	0.110	0.110	n.v.t.	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN													
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8
Diameter cirkelvormige opening	[m]	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40	n.v.t.	n.v.t.	1.40	1.40
Klephoek gesloten stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0
Klephoek open stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90
Minimale klephoek	[°]	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8	n.v.t.	n.v.t.	8	8
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1
Openingssnelheid vh1 / vh2 / vh3	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130	n.v.t.	n.v.t.	0.395 / 0.115 / 0.130	0.395 / 0.115 / 0.130
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiskolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105	n.v.t.	n.v.t.	0.105	0.105
Breekbalken		J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83	-3.63	-3.63	-3.83	-3.83
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	18.06	18.06	14.77	14.77	14.45	14.45	11.82	11.82	21.67	21.67	17.72	17.72
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

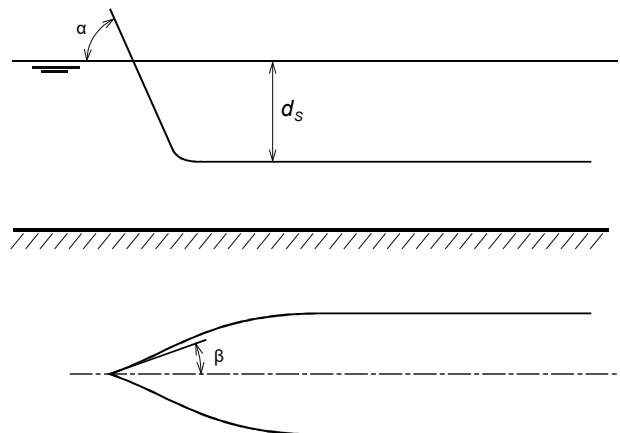
Bij deze tabellen wordt het volgende opgemerkt:

- In Schwanenberg & Jongeling (2003) is voor rechthoekige openingen een openingswet met een constante openingssnelheid v_h toegepast. Voor ronde openingen met vlinderkleppen is de openingswet uit Tabel 11 toegepast. De getalwaarden voor v_h , v_{h1} , v_{h2} en v_{h3} zijn vermeld in de tabellen.

Tabel 11 – Openingswet vlinderkleppen

Tijdstip	0 s	120 s	160 s	1000 s
Openingssnelheid	v_{h1}	v_{h1}	v_{h2}	v_{h3}

- Voor het duwkonvoi CEMT Va en het binnenvaartschip JOWI vermelden Schwanenberg & Jongeling (2003) geen waarden voor de hoek van de boeg in het horizontale vlak en de hoek van de boeg in het verticale vlak. De definitie van deze hoeken voor een schip is grafisch voorgesteld in Figuur 2. De handleiding van LOCKFILL (Deltares, 2015) vermeldt voor een duwkonvoi een waarde voor de hoek van de boeg in het verticale vlak gelijk aan 30° en een waarde voor de hoek van de boeg in het horizontaal vlak van 90° . Voor de overige scheepstypes vermeldt de handleiding van LOCKFILL een waarde voor de hoek van de boeg in het verticale vlak gelijk aan 90° en een waarde voor de hoek van de boeg in het horizontaal vlak van 45° . Bij het opnieuw uitvoeren van de simulaties met LOCKFILL 5.03.00 is gebleken dat bij toepassen van deze waarden de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking niet correct berekend werd. Na aanpassing van de hoek van de boeg in het verticale vlak naar 63° en aanpassing van de hoek van de boeg in het horizontaal vlak naar 45° voor de beide scheepstypes werd een exacte overeenkomst bekomen tussen de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend met LOCKFILL 5.03.00 met de langskracht berekend met LOCKFILL 3.02. Tabel 12 vergelijkt voor de beide scheepstypes de waarden voor de hoek van de boeg in het horizontaal vlak en de waarde voor de hoek van de boeg in het verticaal vlak uit de handleiding van LOCKFILL met deze toegepast in de simulaties in dit rapport.



Figuur 2 – Definitie hoek boeg in verticale vlak (α) en hoek boeg in horizontale vlak (β)

- De simulaties met vlinderkleppen zijn initieel uitgevoerd met de openingssnelheden die vermeld staan in Schwanenberg & Jongeling (2003). Deze simulaties gaven aanleiding tot een te snelle nivellering van de sluiscolk. Om die reden is voornamelijk tussen $t=0$ s en $t=120$ s de openingssnelheid van de vlinderkleppen verlaagd. Tabel 13 vergelijkt de openingssnelheden uit Schwanenberg & Jongeling (2003) met de openingssnelheden, die in de simulaties voor onderhavig rapport zijn toegepast.

Tabel 12 – Vergelijking hoek boeg in verticaal vlak en hoek boeg in horizontaal vlak uit handleiding LOCKFILL met de waarden toegepast in de simulaties

Type schip	Waarden uit handleiding LOCKFILL		Waarden toegepast in simulaties	
	Hoek boeg verticaal vlak	Hoek boeg horizontaal vlak	Hoek boeg verticaal vlak	Hoek boeg horizontaal vlak
Duwkonvooi	30°	90°	63°	45°
JOWI	90°	45°	63°	45°

Tabel 13 – Vergelijking openingssnelheden vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003) met de in de simulaties toegepaste openingssnelheden

Simulatie	Openingssnelheid uit Schwanenberg & Jongeling (2003)				Aangepaste openingssnelheid			
	0 s	120 s	160 s	600 s / 900 s*	0 s	120 s	160 s	600 s / 900 s*
A3 en A4	0.380 °/s	0.380 °/s	0.110 °/s	0.110 °/s	0.335 °/s	0.335 °/s	0.105 °/s	0.090 °/s
A7 en A8	0.410 °/s	0.410 °/s	0.110 °/s	0.110 °/s	0.370 °/s	0.370 °/s	0.105 °/s	0.090 °/s
A11 en A12	0.440 °/s	0.440 °/s	0.130 °/s	0.130 °/s	0.395 °/s	0.395 °/s	0.115 °/s	0.130 °/s
A15 en A16	0.570 °/s	0.570 °/s	0.130 °/s	0.130 °/s	0.510 °/s	0.510 °/s	0.130 °/s	0.130 °/s
A19 en A20	0.640 °/s	0.640 °/s	0.640 °/s	0.640 °/s	0.570 °/s	0.570 °/s	0.640 °/s	0.640 °/s
A23 en A24	1.000 °/s	1.000 °/s	1.000 °/s	1.000 °/s	0.620 °/s	0.620 °/s	1.000 °/s	1.000 °/s
A27 en A28	1.000 °/s	1.000 °/s	1.000 °/s	1.000 °/s	0.625 °/s	0.625 °/s	1.000 °/s	1.000 °/s

* Bij simulatie A3, A4, A7 en A8 is in de inputfile 600 s beschouwd als laatste tijdstip in de tabel, voor de overige simulaties is dit 900 s.

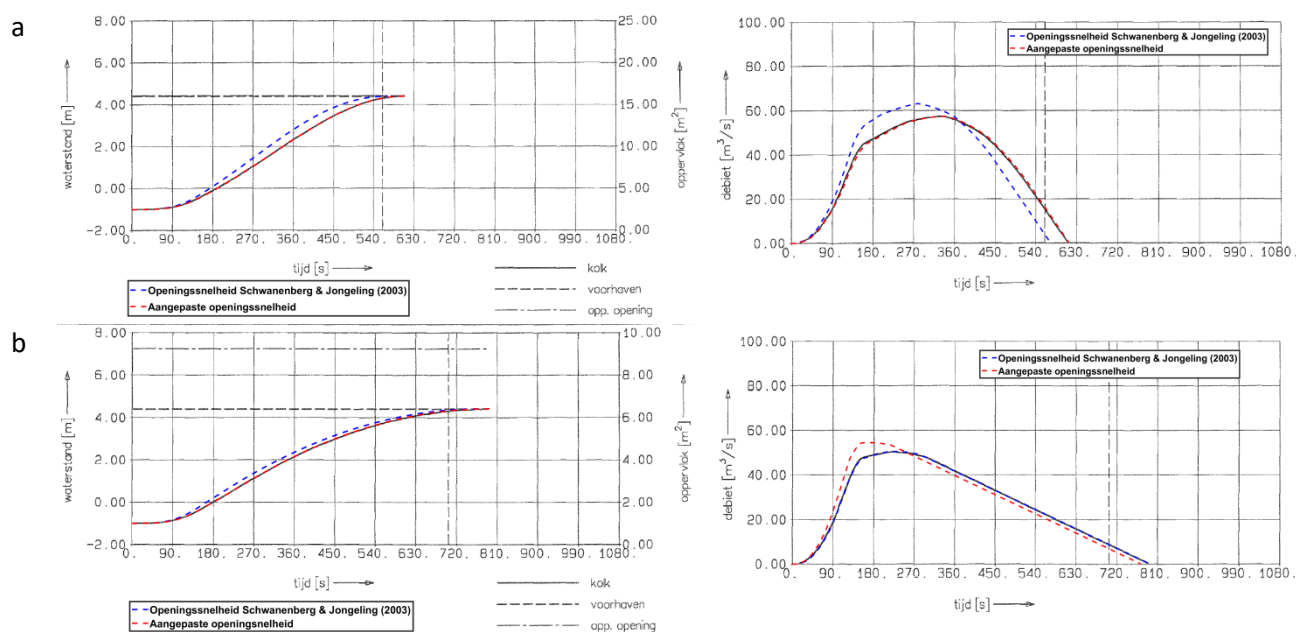
2.3 Resultaten validatie

Voor de simulaties A1 tot en met A28 vermelden Schwanenberg & Jongeling (2003) enkel de grafische voorstellingen van de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk, de oppervlakte van de openingen, het debiet door de openingen en de langskracht op het schip. Buiten de nivelleertijd (tot een resterval van 10 cm) worden in het rapport voor deze simulaties geen getalwaarden vermeld voor andere karakteristieke grootheden zoals de extreme waarde van het debiet door de openingen of de extreme waarde van de langskracht op het schip.

Om die reden zijn voor simulaties A1 tot en met A28 de figuren uit Schwanenberg & Jongeling (2003) gedigitaliseerd en is in eerste instantie een grafische vergelijking van de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk, het debiet door de nivelleeropeningen en de langskracht op het schip uitgevoerd.

Figuur 80 tot en met Figuur 86 in Bijlage 1 vergelijken de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en berekend met LOCKFILL 5.03.00 met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Uit deze figuren volgt dat met VUL_SLUIS release 01.54.00 en met LOCKFILL 5.03.00 een waterstand in de sluiskolk berekend wordt die exact samenvalt met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij de simulaties met vlinderkleppen dient opgemerkt te worden dat de standaard output van LOCKFILL 5.03.00 eigenlijk het product van de afvoercoëfficiënt en de oppervlakte van de openingen betreft. In VUL_SLUIS en LOCKFILL 3.02 betreft dit echter de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur. Dit verklaart voor simulaties met vlinderkleppen het verschil tussen de variatie in de tijd van de oppervlakte van de openingen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL 3.02 met deze berekend met LOCKFILL 5.03.00. Ook wat het debiet door de nivelleeropeningen betreft wordt zowel voor de simulaties met hefschuiven als voor de simulaties met vlinderkleppen met VUL_SLUIS release 01.54.00 en met LOCKFILL 5.03.00 eenzelfde variatie in de tijd berekend als met LOCKFILL 3.02.

In paragraaf 2.2 werd vermeld dat bij de simulaties met vlinderkleppen de openingssnelheid van de vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003) aangepast diende te worden om een goede overeenkomst te bekomen tussen de met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 berekende variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen en deze berekend met LOCKFILL 3.02. Figuur 3 vergelijkt voor simulatie A7 en A15 de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met LOCKFILL 5.03.00 met de openingssnelheid uit Schwanenberg & Jongeling (2003) met deze berekend met de aangepaste openingssnelheid en met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Uit deze figuur volgt dat met de aangepaste openingssnelheden van de vlinderkleppen een correcte benadering van de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de openingen in de sluisdeur bekomen wordt.

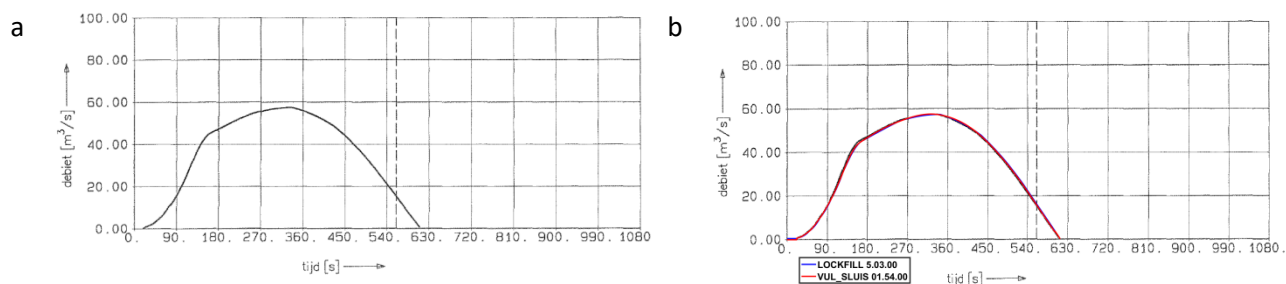


a: Simulatie A7; b: Simulatie A15.

Links: variatie in de tijd van waterstand in sluiskolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen.

Figuur 3 – Invloed van aanpassing openingsnelheid op variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door de nivelleeropeningen voor simulatie A7 en A15 berekend met LOCKFILL 5.03.00

In Verelst *et al.* (2017) werd reeds opgemerkt dat bij simulaties met vlinderkleppen de minimale klephoek in LOCKFILL 5.03.00 niet correct geïmplementeerd is. Uit Tabel 7 en Tabel 8 in paragraaf 2.2 volgt dat bij alle simulaties met vlinderkleppen een waarde voor de minimale klephoek gelijk aan 8° aanwezig is in de inputfile. Figuur 4 vergelijkt de variatie in de tijd van het debiet door de openingen voor simulatie A7, berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, berekend met LOCKFILL 5.03.00 en berekend met LOCKFILL 3.02. Uit deze figuur volgt dat bij de simulatie met VUL_SLUIS de minimale klephoek op een juiste wijze toegepast wordt en dat het debiet tussen $t = 0$ s en $t = 21.6$ s gelijk is aan $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij de simulatie met LOCKFILL 5.03.00 wordt echter gedurende deze periode een heel klein van nul verschillend debiet berekend, dat gelijk is aan het debiet door de vlinderklep bij een openingshoek van de vlinderklep gelijk aan 8° .



a: Variatie in de tijd van debiet voor simulatie A7 uit Schwanenberg & Jongeling (2003)

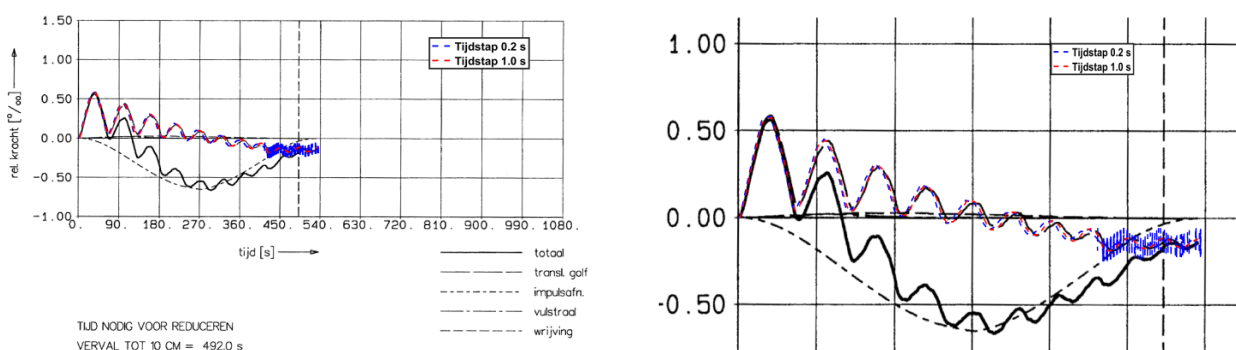
b: Variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen berekend met LOCKFILL 5.03.00 en VUL_SLUIS release 01.54.00

Figuur 4 – Variatie in de tijd van debiet door de nivelleeropeningen voor simulatie A7 berekend met LOCKFILL 3.02, LOCKFILL 5.03.0 en VUL_SLUIS release 01.54.00

Figuur 6 tot en met Figuur 8 vergelijken de variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip berekend met LOCKFILL 5.03.00 met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij deze figuren wordt opgemerkt dat bij simulaties met vlinderkleppen door LOCKFILL een “spike” berekend wordt in de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De verklaring voor deze spike is niet gevonden. Het vergroten van de tijdstap van de simulatie tot de standaardwaarde van 1.0 s, aanbevolen in de manual van LOCKFILL, verkleint deze “spike”, maar doet deze niet verdwijnen.

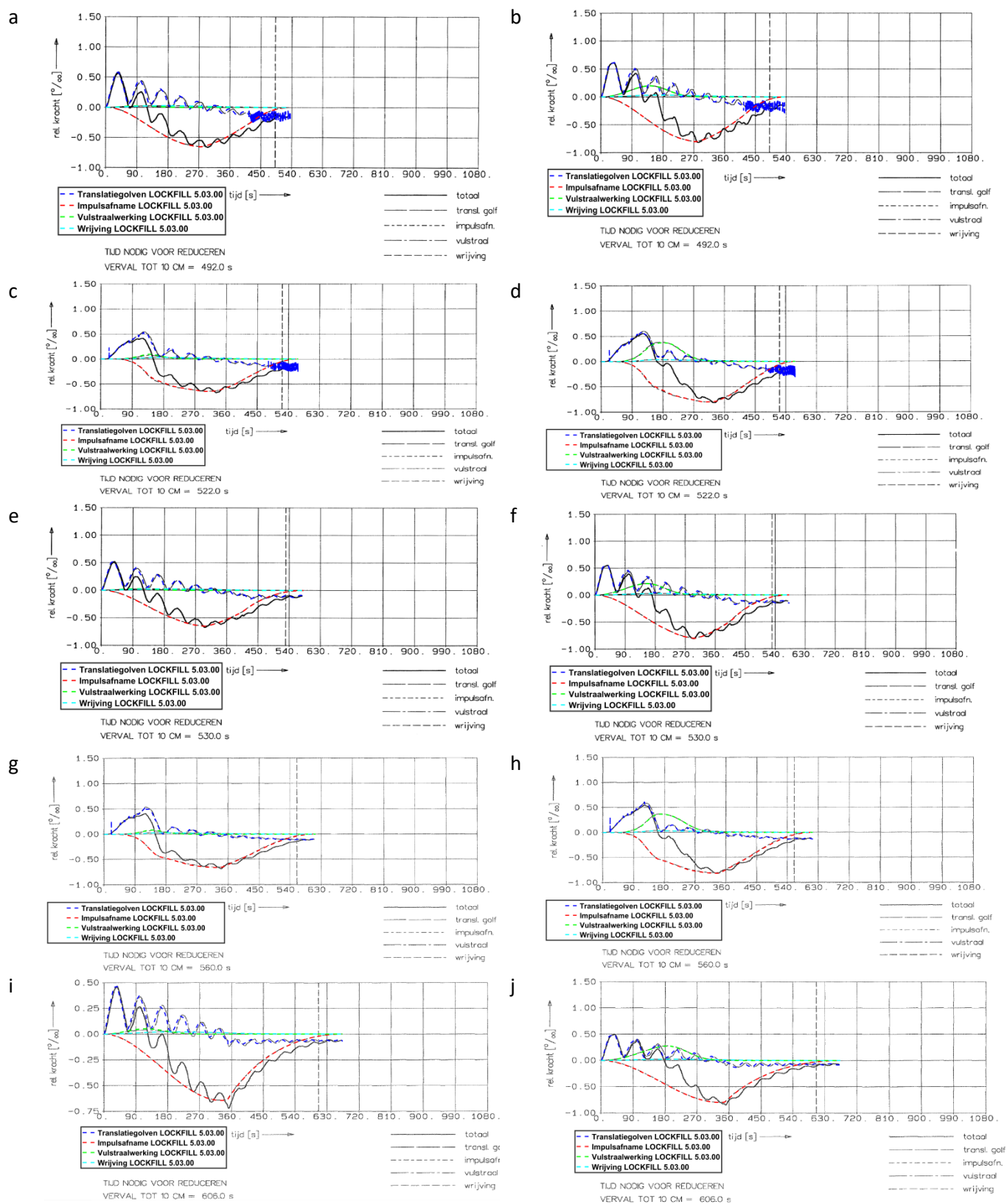
Uit Figuur 6 tot en met Figuur 8 volgt dat de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van wrijving berekend met LOCKFILL 5.03.00 exact samenvalt met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Wat de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven betreft, worden enkele zeer beperkte verschillen in langskracht berekend tussen LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02. Bij de simulatie voor vullen van een sluis (simulaties A1 tot en met A20) worden bij simulaties met hefschuiven een iets kleinere periode van de langskracht ten gevolge van translatiegolven berekend met LOCKFILL 5.03.00 dan met LOCKFILL 3.02. Bij simulaties voor vullen van een sluis met openingen in de deuren afgesloten met vlinderkleppen worden beperkte verschillen in amplitude en periode berekend tussen de beide versies van LOCKFILL. Bij de simulaties voor ledigen van een sluis (simulaties A21 tot en met A28) worden bij sommige simulaties met LOCKFILL 5.03.00 vooral bij volledige geopende schuiven langskrachten ten gevolge van translatiegolven berekend, die meer gedempt zijn en een iets kleinere periode hebben dan deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij andere simulaties worden met LOCKFILL 5.03.00 langskrachten ten gevolge van translatiegolven berekend, die eenzelfde amplitude hebben als deze berekend met LOCKFILL 3.02, maar die beperkt verschillen in periode.

Uit Figuur 6 volgt dat bij simulatie A1, A2, A3 en A4 een schommelend verloop van de langskrachten ten gevolge van translatiegolven berekend worden naar het einde van de nivellering toe. De simulaties met VUL_SLUIS release 01.54.00 en met LOCKFILL 5.03.00 zijn uitgevoerd met een tijdstap van 0.2 s. De handleiding van LOCKFILL (Deltares, 2015) raadt aan om een tijdstap van 1.0 s toe te passen en vermeldt dat kleinere tijdstappen mogelijk zijn, maar niet noodzakelijk voordeliger zijn. Om die reden is simulatie A1 opnieuw uitgevoerd met een tijdstap van 1.0 s. Figuur 5 toont de invloed van de tijdstap op de variatie in de tijd van de langskrachten ten gevolge van translatiegolven voor deze simulatie. Uit deze figuur volgt dat met een tijdstap van 1.0 s het schommelend verloop van de langskrachten ten gevolge van translatiegolven aan het einde van de nivellering niet meer aanwezig is. Het detail van Figuur 5 toont dat met een tijdstap van 1.0 s met LOCKFILL 5.03.00 langskrachten ten gevolge van translatiegolven berekend worden met een beperkt grotere periode dan bij een tijdstap van 0.2 s. De periode van de langskrachten ten gevolge van translatiegolven vertoont bij een tijdstap van 1.0 s een iets betere overeenkomst met de periode van de langskrachten berekend met LOCKFILL 3.02.

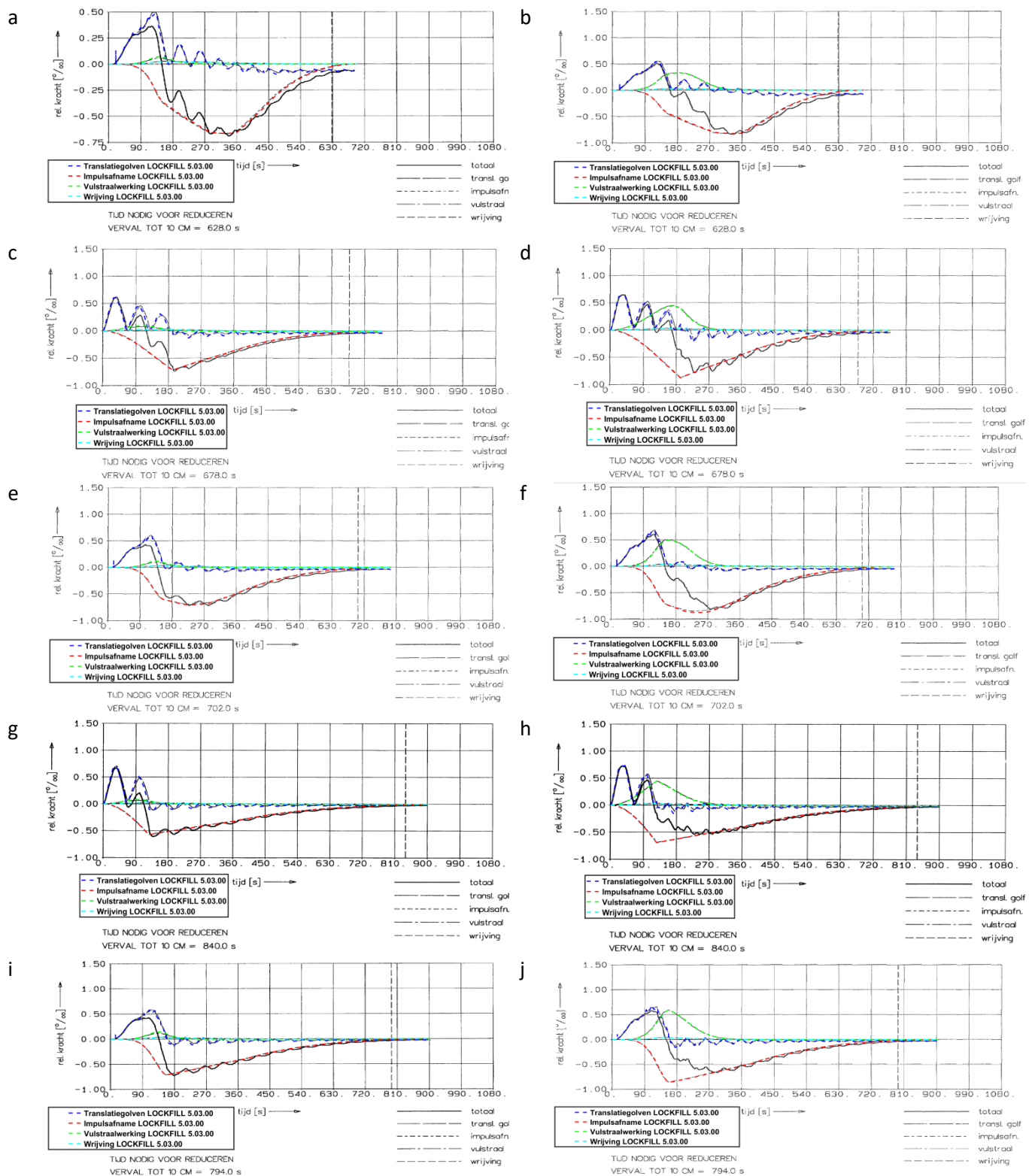


Rechter figuur is detail van linker figuur; Langskrachten zijn berekend met LOCKFILL 3.02 (zwarte lijnen) en LOCKFILL 5.03.00 (blauwe en rode lijnen).

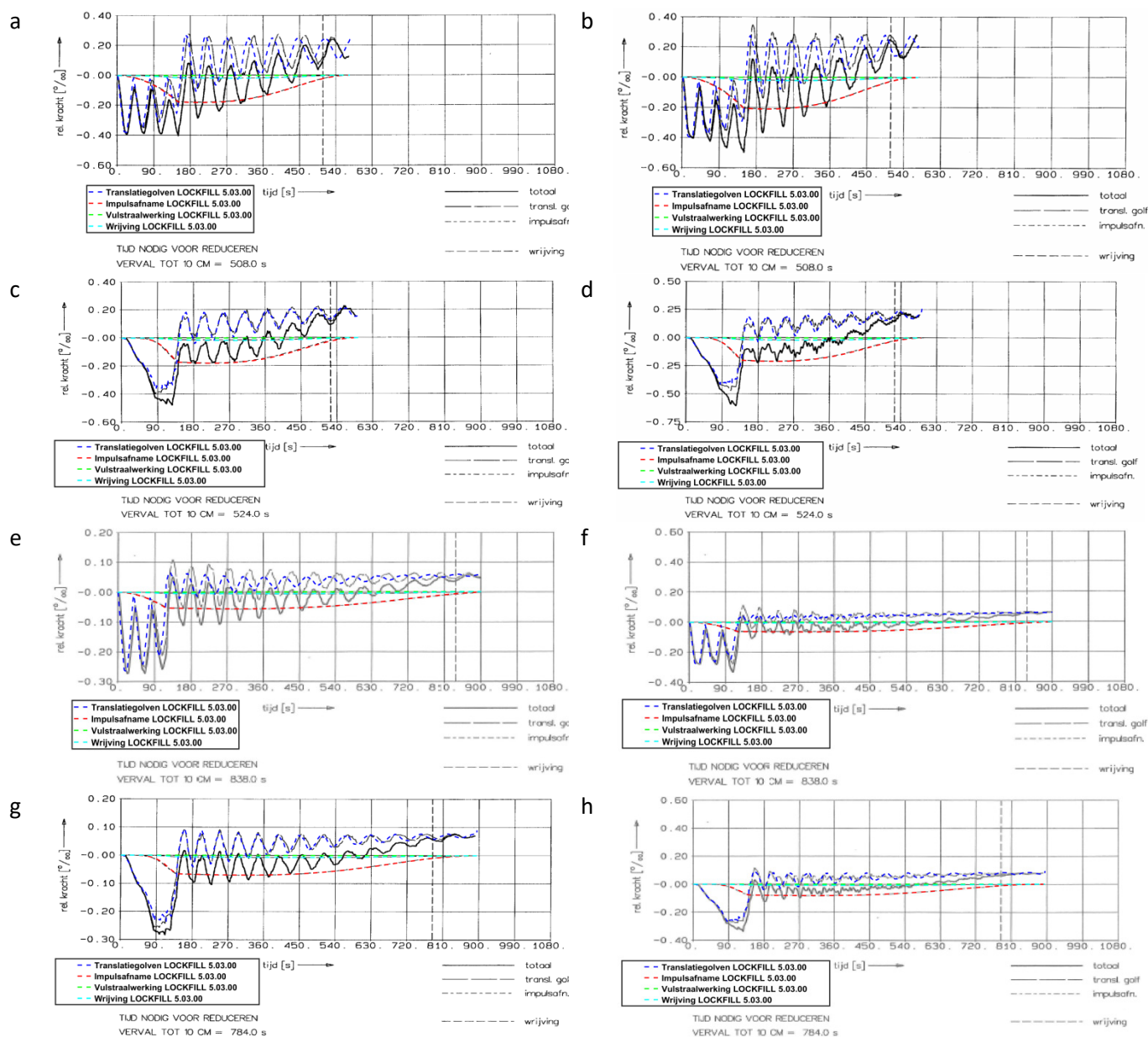
Figuur 5 – Invloed tijdstap op variatie in de tijd van de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven voor simulatie A1



Figuur 6 – Variatie in de tijd van de componenten van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A1 (a), A2 (b), A3 (c), A4 (d), A5 (e), A6 (f), A7 (g), A8 (h), A9 (i) en A10 (j)

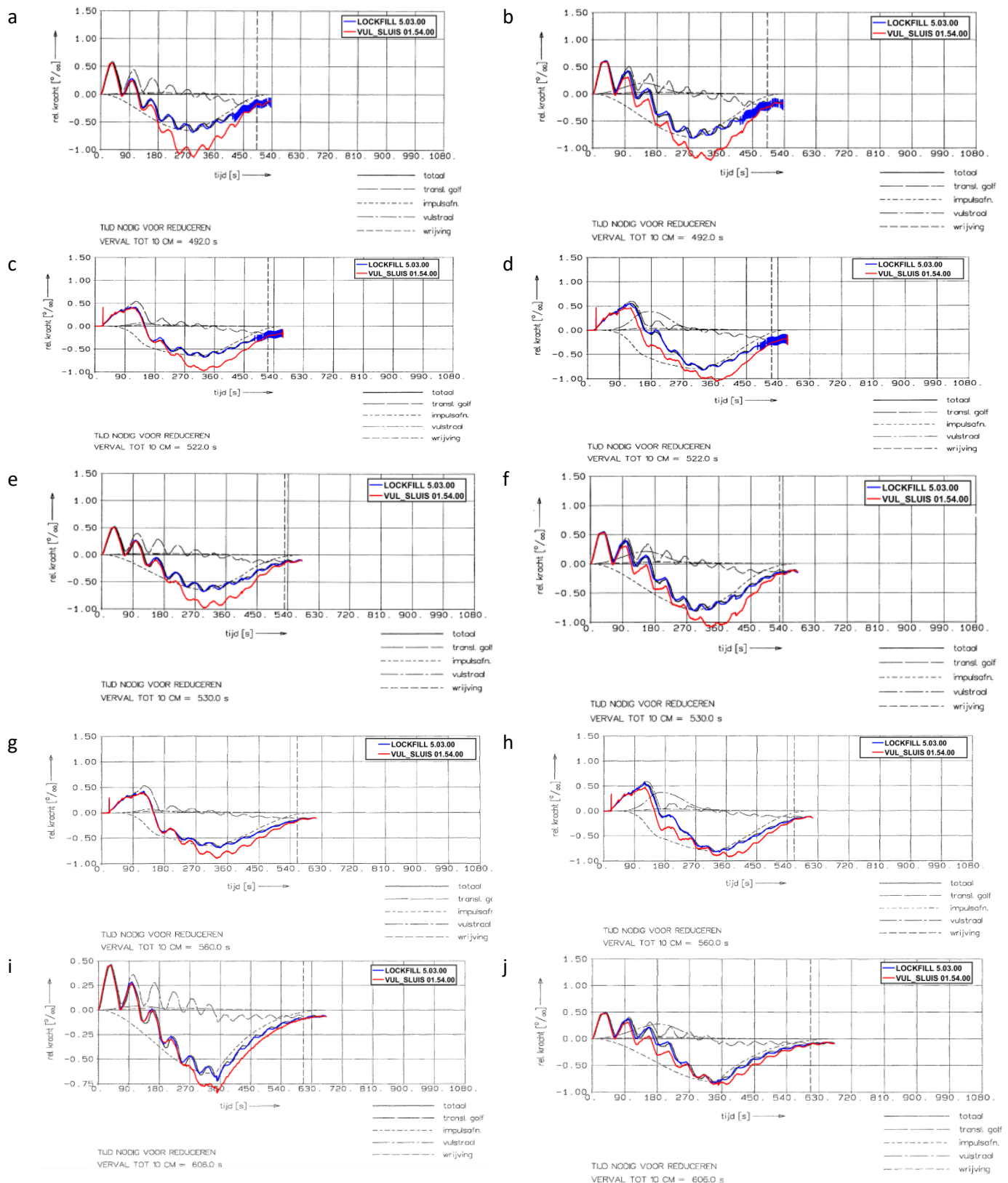


Figuur 7 – Variatie in de tijd van de componenten van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A11 (a), A12 (b), A13 (c), A14 (d), A15 (e), A16 (f), A17 (g), A18 (h), A19 (i) en A20 (j)

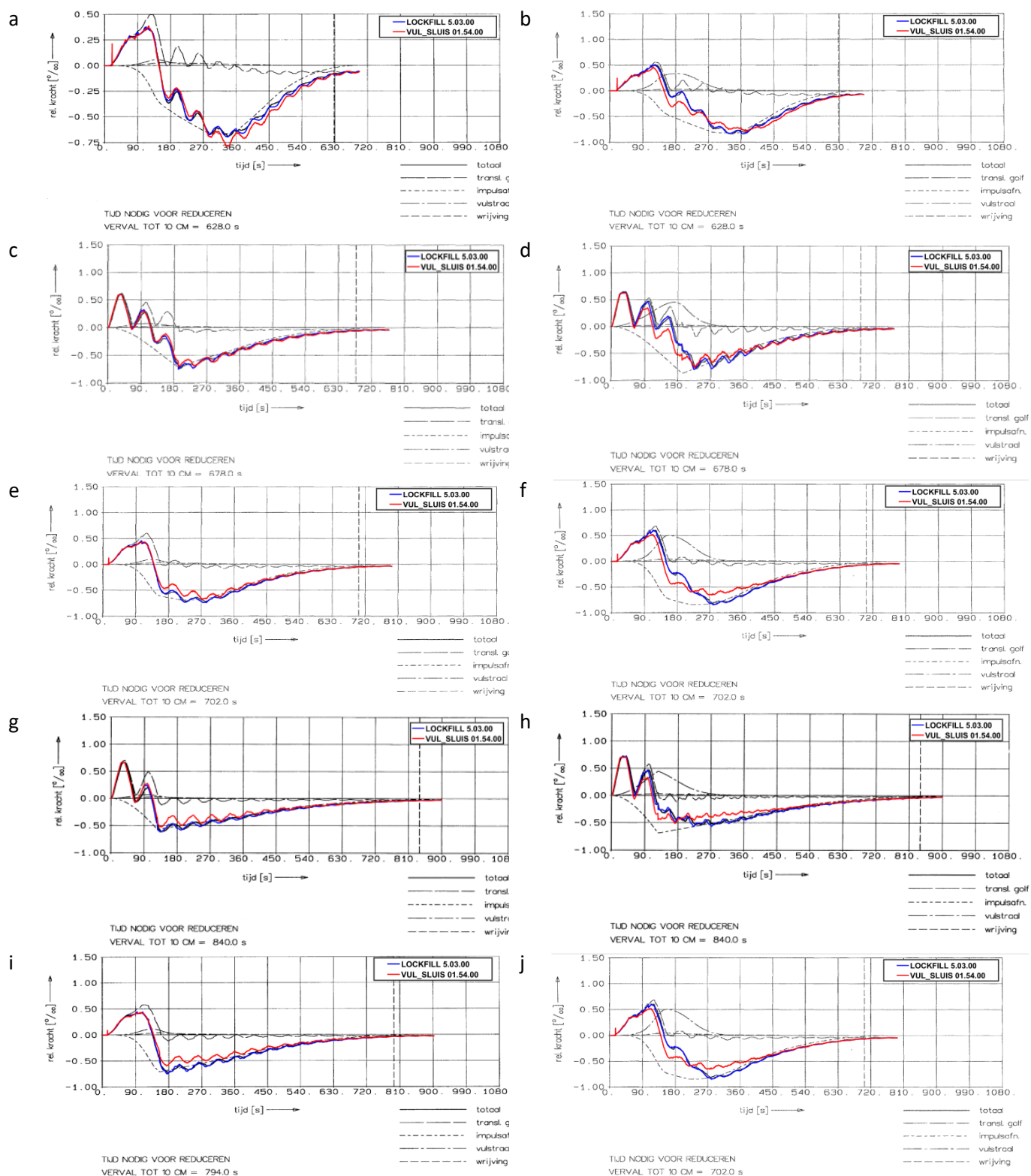


Figuur 8 – Variatie in de tijd van de componenten van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A21 (a), A22 (b), A23 (c), A24 (d), A25 (e), A26 (f), A27 (g) en A28 (h).

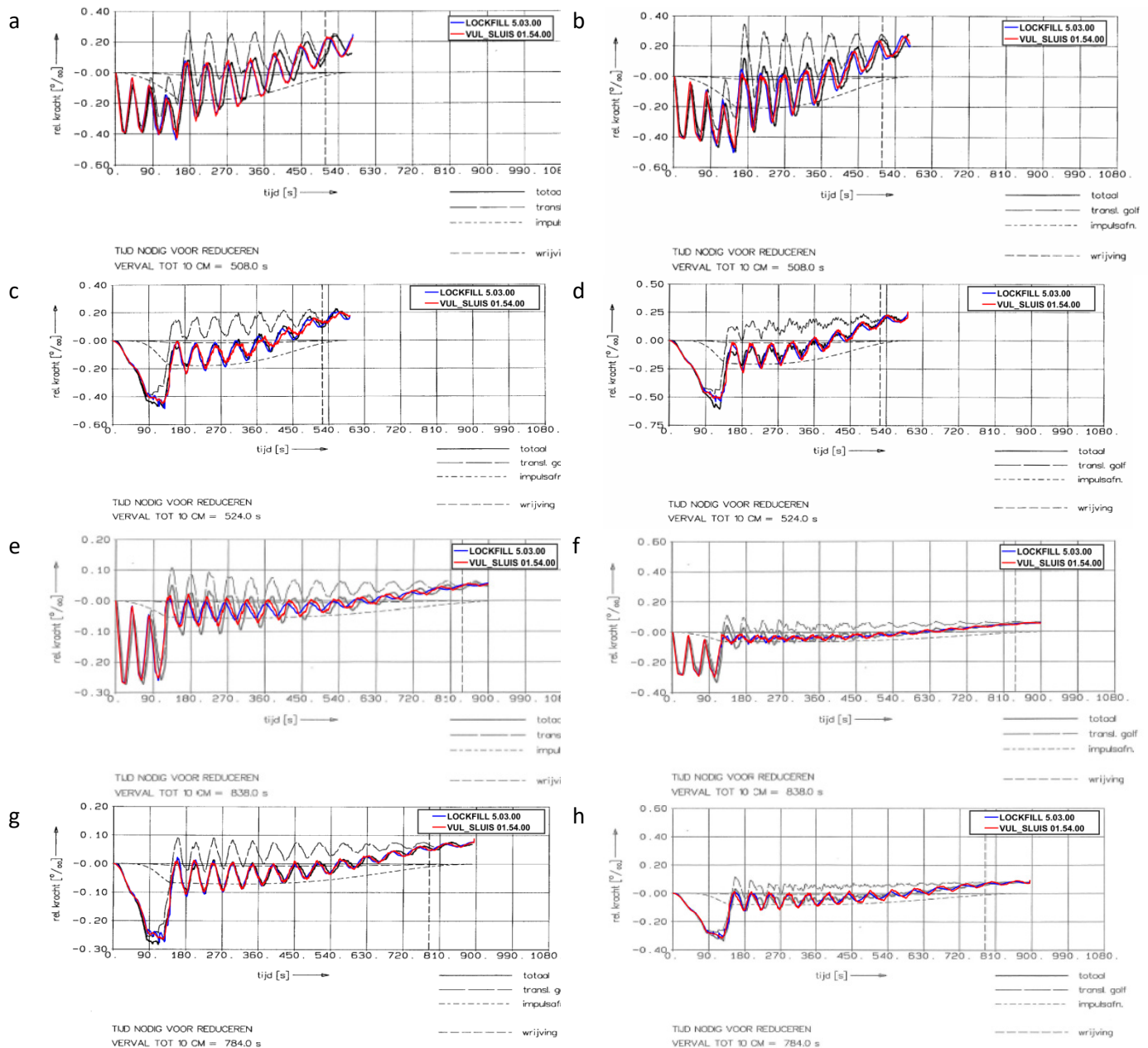
Voor simulatie A1 tot en met simulatie A28 vergelijken Figuur 9 tot en met Figuur 11 de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL 5.03.00 met deze berekend met LOCKFILL 3.02.



Figuur 9 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A1 (a), A2 (b), A3 (c), A4 (d), A5 (e), A6 (f), A7 (g), A8 (h), A9 (i) en A10 (j)



Figuur 10 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A11 (a), A12 (b), A13 (c), A14 (d), A15 (e), A16 (f), A17 (g), A18 (h), A19 (i) en A20 (j)



Figuur 11 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A21 (a), A22 (b), A23 (c), A24 (d), A25 (e), A26 (f), A27 (g) en A28 (h)

In Figuur 9 tot en met Figuur 11 wordt het volgende vastgesteld:

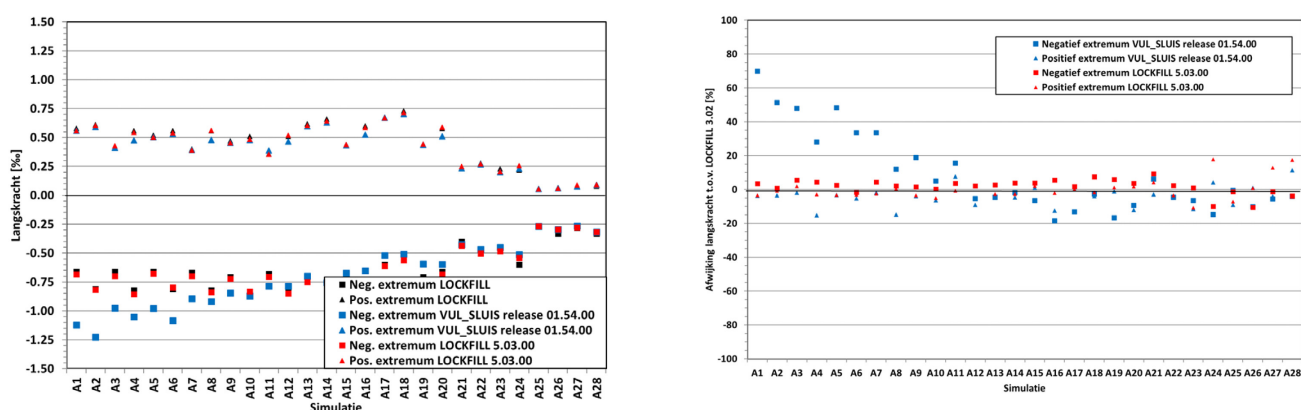
- De variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met LOCKFILL 5.03.00 vertoont een goede overeenkomst met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij een aantal simulaties is de periode van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 beperkt verschillend van deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij ledigen van de sluis worden voor een aantal simulaties beperkte verschillen in amplitude en periode van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02.
- De eerste piek van de totale langskracht berekend met LOCKFILL 3.02, waarbij de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven dominant aanwezig is, wordt zeer goed benaderd door VUL_SLUIS. Dit geldt zowel voor de eerste positieve piek bij vullen van een sluis, als voor de eerste negatieve piek bij ledigen van een sluis.

- Bij vullen van een sluis is de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname de dominante component voor de negatieve waarden van de totale langskracht op het schip. Met VUL_SLUIS worden voor vullen van een sluis negatieve waarden van de langskracht op het schip berekend, die bij sommige simulaties (in absolute waarde) groter zijn en bij andere simulaties (in absolute waarde) kleiner zijn dan deze berekend met LOCKFILL 3.02.
- Bij ledigen van een sluis wordt met VUL_SLUIS een totale langskracht op het schip berekend, die een goede overeenkomst vertoont met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij volledig geopende schuiven wordt bij een aantal simulaties een beperkt verschil in periode van de langskracht berekend en bij een aantal simulaties een verschil in demping van de totale langskracht op het schip in vergelijking met de langskracht berekend met LOCKFILL 3.02
- De eerder vastgestelde spikes in de component ten gevolge van translatiegolven bij een simulatie met LOCKFILL met vlinderkleppen, worden ook vastgesteld bij de simulaties met VUL_SLUIS en vlinderkleppen. Een verklaring voor deze spikes is niet gevonden.

Naast de hierboven uitgevoerde grafische vergelijking zijn voor simulaties A1 tot en met A28 de positieve en negatieve extrema van de langskracht gedigitaliseerd uit de grafische voorstellingen van de variatie in de tijd van de langskracht. Hierbij moet opgemerkt worden dat op de gedigitaliseerde waarden een zekere aflezingsfout aanwezig is.

Voor elk van de uitgevoerde simulaties is in Tabel 44 in Bijlage 1 een overzicht gegeven van de nivelleertijd en de positieve en negatieve extrema van de langskracht berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02. Wat de berekende nivelleertijd betreft, volgt uit deze tabel dat met VUL_SLUIS en met LOCKFILL 5.03.00 een nivelleertijd berekend wordt, die maximaal 2 s van elkaar verschillen. De verschillen tussen de nivelleertijd berekend met LOCKFILL 3.02 en deze berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en met LOCKFILL 5.03.00 verschilt maximaal 4 s.

Een grafische voorstelling van de positieve en negatieve extrema van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 is gegeven in Figuur 12. In deze figuur is ook de procentuele afwijking tussen de met LOCKFILL 3.02 berekende waarden en deze berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL 5.03.00 grafisch voorgesteld.



Links: Vergelijking positieve en negatieve extrema van de berekende langskracht; Rechts: procentuele afwijking van positieve en negatieve extrema van de berekende langskracht ten opzichte van deze berekend met LOCKFILL 3.02

Figuur 12 – Vergelijking positieve en negatieve extrema en hun procentuele afwijking van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulaties A1 tot en met A28

De vergelijking van de extreme waarden van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 met deze berekend met LOCKFILL 5.03.00 leert het volgende:

- Bij simulaties voor vullen van een sluiskolk (simulaties A1 tot en met A20) worden met LOCKFILL 5.03.00 extreme waarden van de langskracht op het schip berekend die in absolute waarde tot 5 % verschillen met deze berekend met LOCKFILL 3.02. De positieve extrema worden hierbij beperkt overschat door LOCKFILL 5.03.00, de negatieve extrema beperkt onderschat. De grotere afwijkingen bij ledigen van een sluis berekend met LOCKFILL 5.03.00 kunnen verklaard worden door de hierboven reeds vastgestelde verschillen tussen de amplitude of de periode van de langskrachten ten gevolge van translatiegolven berekend met LOCKFILL 5.03.00 en deze berekend met LOCKFILL 3.02.
- Met LOCKFILL 5.03.00 worden bij simulaties voor ledigen van een sluiskolk (simulaties A21 tot en met A28) langskrachten op het schip berekend waarbij het positieve extremum (in absolute waarde) tot 18 % kan verschillen met dit berekend met LOCKFILL 3.02 en het negatieve extremum (in absolute waarde) tot 10 %. Hierbij worden zowel de positieve als het negatieve extrema overschat door LOCKFILL 5.03.00.

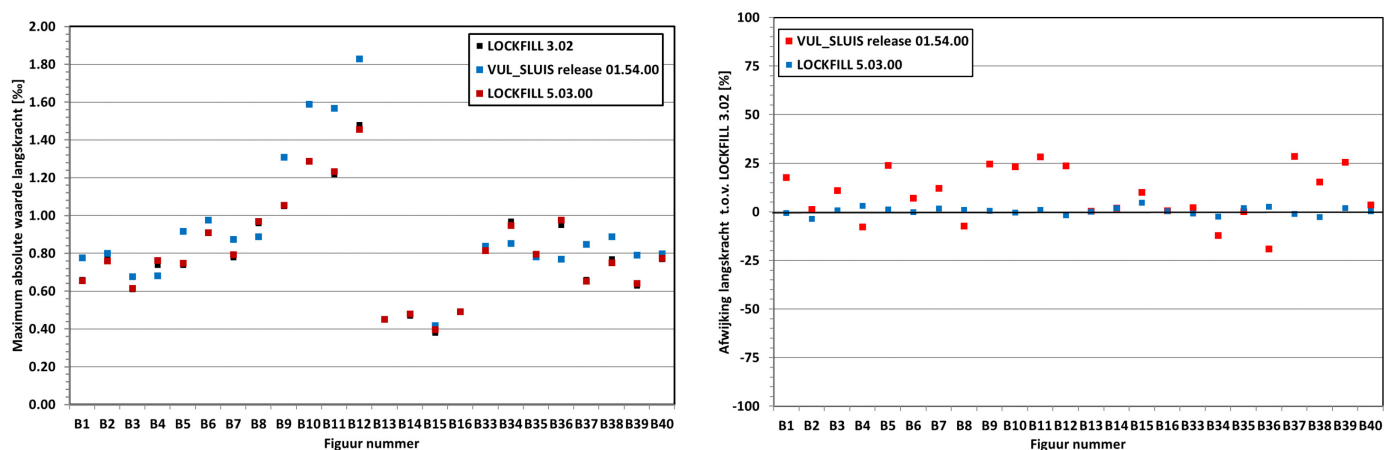
Uit een vergelijking van de extreme waarde van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS met deze berekend met LOCKFILL 3.02 volgt het volgende:

- Bij simulaties met betrekking tot vullen van een sluiskolk (simulaties A1 tot en met A20) worden met VUL_SLUIS extreme waarden van de langskracht op het schip berekend die tot 70 % kunnen verschillen van deze berekend met LOCKFILL 3.02. Hierbij worden bij simulatie A1 tot en met A7 met VUL_SLUIS de negatieve extrema overschat en de positieve extrema onderschat. Bij simulatie A8 tot en met A28 worden met VUL_SLUIS de positieve en de negatieve extrema zowel overschat als onderschat. Uit Figuur 12 volgt dat de afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wat de negatieve extrema betreft, afneemt tussen simulatie A1 en simulatie A28. Bij simulatie A1 is de oppervlakte van de openingen in de sluisdeur (ca. 20 m²) groter dan deze voor simulatie A28 (ca. 7 m²). Hieruit volgt dat bij een kleinere relatieve oppervlakte van de openingen in de sluisdeur (ten opzichte van de natte sectie van de sluiskolk) de afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL kleiner wordt.
- Bij simulaties met betrekking tot ledigen van een sluiskolk (simulaties A21 tot en met A28) worden met VUL_SLUIS extreme waarden van de langskracht berekend, die (in absolute waarde) tot 15 % kunnen verschillen met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Hierbij worden de positieve extrema berekend met LOCKFILL 3.02 zowel overschat als onderschat door VUL_SLUIS. De negatieve extrema berekend met VUL_SLUIS zijn, met uitzondering van simulatie A21, een onderschatting van deze berekend met LOCKFILL.

Naast de simulaties A1 tot en met A28 zijn ook de simulaties B1 tot en met B16 en B33 tot en met B40 uit de gevoeligheidsanalyse in Schwanenberg & Jongeling (2003) opnieuw uitgevoerd met VUL_SLUIS en LOCKFILL 5.03.00. Van deze simulaties zijn naast de grafische voorstelling van de berekende waterstand in de sluiskolk, het debiet door de nivelleeropeningen en de langskrachten op het schip, ook de getalwaarden van de (in absolute waarde) maximale waarde van de totale langskracht op het schip in Schwanenberg & Jongeling (2003) gerapporteerd. In deze paragraaf zal voor deze simulaties geen grafische vergelijking van de variatie in de tijd van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 uitgevoerd worden, maar wordt enkel de nivelleertijd en de (in absolute waarde) maximale waarde van de totale langskracht op het schip vergeleken.

Tabel 45 in Bijlage 1 geeft voor simulatie B1 tot en met B16 en B33 tot en met B40 een overzicht van de nivelleertijd en de (in absolute waarde) maximale waarde van de totale langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02. Uit deze tabel volgt dat de nivelleertijd van de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS maximaal 2 s verschilt van de nivelleertijd van de simulaties uitgevoerd met LOCKFILL 5.03.00. De nivelleertijden van de simulaties uitgevoerd met LOCKFILL 3.02 verschilt maximaal 3 s met de nivelleertijd van de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS en met deze van de simulaties uitgevoerd met LOCKFILL 5.03.00.

Figuur 13 vergelijkt voor al deze simulaties de positieve en negatieve extrema van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02. In deze figuur is ook de procentuele afwijking tussen de met LOCKFILL 3.02 berekende waarden en deze berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL 5.03.00 grafisch voorgesteld. Controle van de getalwaarden in Tabel 45 leert dat voor simulaties waarbij de in absolute waarde maximale waarde van de totale langskracht van LOCKFILL 3.02 afkomstig is van het positieve, respectievelijk het negatieve, extremum, deze waarde in VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 ook afkomstig is van het positieve, respectievelijk negatieve extremum.



Links: Vergelijking positieve en negatieve extrema van de berekende langskracht; Rechts: procentuele afwijking van positieve en negatieve extrema van de berekende langskracht ten opzichte van deze berekend met LOCKFILL 3.02

Figuur 13 – Vergelijking positieve en negatieve extrema van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulaties B1 tot en met B16 en B33 tot en met B40

Uit Tabel 45 in Bijlage 1 en Figuur 13 volgt enerzijds dat de in absolute waarde maximale waarde van de langskracht op het schip berekend met LOCKFILL 5.03.00 maximaal 5 % verschilt van deze berekend met LOCKFILL 3.02. Hierbij worden deze extrema zowel overschat als onderschat door LOCKFILL 5.03.00. Met VUL_SLUIS worden voor bijna alle simulaties tot 28 % hogere in absolute waarde maximale waarden van de totale langskracht op het schip berekend. Enkel voor simulaties B4, B8, B34 en B36 worden respectievelijk 7 %, 8 %, 12 % en 19 % lagere in absolute waarde maximale waarden van de langskracht op het schip berekend.

2.4 Samenvatting resultaten

Uit vorige paragraaf wordt algemeen het volgende besloten:

- Wat variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen betreft, vallen de waarden berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL 5.03.00 exact samen met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Enkel bij de simulaties met vlinderkleppen wordt bij het begin van de simulatie een heel klein van nul verschillend debiet berekend omwille van de niet correcte implementatie van de minimale klephoek in LOCKFILL 5.03.00.
- De variatie in de tijd van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van wrijving berekend met LOCKFILL 5.03.00 valt exact samen met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Wat de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven betreft, worden enkele zeer beperkte verschillen in langskracht berekend tussen LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02.
- De variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip berekend met LOCKFILL 5.03.00 vertoont een goede overeenkomst met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij een aantal simulaties is de periode van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 beperkt verschillend van deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij ledigen van de sluiskolk volgen voor een aantal simulaties beperkte verschillen in amplitude en periode tussen de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en deze berekend met LOCKFILL 3.02. De procentuele afwijking tussen de extreme waarden van de langskracht berekend met LOCKFILL 5.03.00 en deze berekend met LOCKFILL 3.02 bedraagt, zowel voor het positieve als voor het negatieve extremum 5 % bij vullen van een sluiskolk, 18 % voor het positieve extremum bij ledigen van een sluiskolk en 10 % voor het negatieve extremum bij ledigen van een sluiskolk.
- De eerste piek van de totale langskracht berekend met VUL_SLUIS is een zeer goede benadering van de eerste piek van de totale langskracht berekend met LOCKFILL 3.02. Dit geldt zowel voor de eerste positieve piek bij vullen van een sluis, als voor de eerste negatieve piek bij ledigen van een sluis. Bij deze eerste piek is de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven dominant aanwezig.
- Bij vullen van een sluis worden met VUL_SLUIS negatieve waarden van de langskracht op het schip berekend, die bij sommige simulaties (in absolute waarde) groter zijn dan deze berekend met LOCKFILL 3.02 en bij andere simulaties (in absolute waarde) kleiner zijn. Bij ledigen van een sluis wordt met VUL_SLUIS een totale langskracht op het schip berekend, die een goede overeenkomst vertoont met deze berekend met LOCKFILL 3.02. Bij volledig geopende schuiven wordt bij een aantal simulaties een beperkt verschil in periode van de langskracht berekend en bij een aantal simulaties een verschil in demping van de totale langskracht op het schip in vergelijking met de langskracht berekend met LOCKFILL 3.02.
- Met VUL_SLUIS worden voor vullen van een sluiskolk extreme waarden van de langskracht op het schip berekend die tot 70 % kunnen verschillen van deze berekend met LOCKFILL 3.02. Hierbij worden de positieve en negatieve extrema zowel overschat als onderschat door VUL_SLUIS. Daarnaast volgt uit de simulaties ook een kleinere afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL bij een kleinere relatieve oppervlakte van de openingen in de sluisdeur (ten opzichte van de natte sectie van de sluiskolk). Bij ledigen worden met VUL_SLUIS extreme waarden van de langskracht berekend, die (in absolute waarde) tot 15 % kunnen verschillen met deze berekend met LOCKFILL 3.02.

3 Validatie met resultaten schaalmodelstudie sluis Zemst

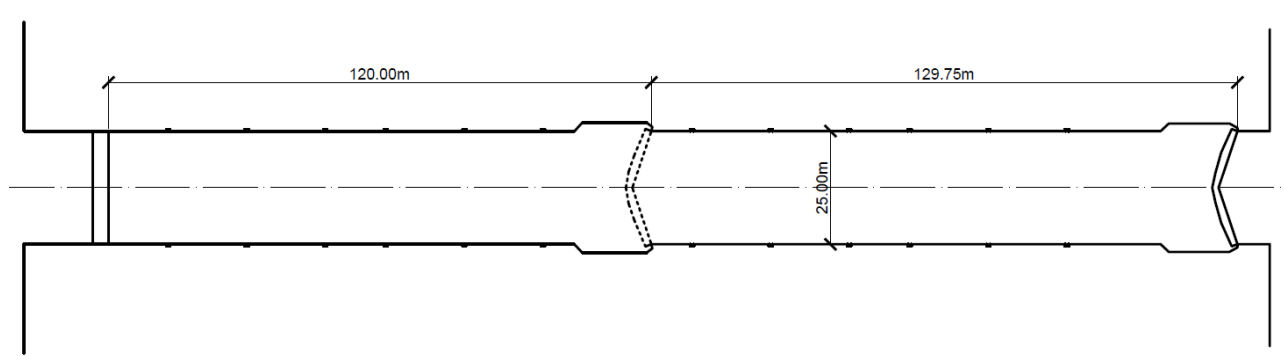
3.1 Algemeen

De sluis van Zemst is gelegen op het Zeekanaal Brussel-Schelde en wordt beheerd door de afdeling Regio Centraal van de Vlaamse Waterweg nv. Deze sluis heeft een verval van ca. 8.9 m en beschikt over een set middendeuren die het mogelijk maken om bij waterschaarste schepen met behulp van een halve kolk te verschutten. In tegenstelling tot het boven- en benedenhoofd van de sluis, dewelke uitgerust zijn met korte omloopriolen, was de middendeur van de sluis origineel uitgerust met 4 vlinderkleppen met een diameter 0.90 m. Omwille van de beperkte afmetingen van deze vlinderkleppen duurde het vullen van de afwaartse kolkhelft met dit nivelleersysteem hierdoor ca. 45 min. Door het voor vervallen groter dan 5 m ongebruikelijke systeem van vullen via openingen in de deur ontstonden hierbij eveneens grote hydrodynamische krachten op de in de kolk afgemeerde schepen.

Tabel 14 geeft een overzicht van de afmetingen van de sluis van Zemst (zie ook Figuur 14).

Tabel 14 – Afmetingen sluis Zemst

	Volledige kolk	Opwaartse kolk	Afwaartse kolk
Lengte	249.75 m	120.00 m	129.75 m
Breedte	25.0 m	25.0 m	25.0 m
Bodempeil	- 3.10 m TAW	- 3.10 m TAW	- 3.10 m TAW



Figuur 14 – Afmetingen sluis Zemst (W&Z Afdeling Zeekanaal, 2006).

In het verleden werden met betrekking tot de middendeuren van de sluis van Zemst in opdracht van de Vlaamse Waterweg nv afdeling Regio Centraal door WL reeds volgende studies uitgevoerd:

- In 2006 werd de invloed van meerdere of grotere openingen in de deuren via numerieke modellering onderzocht.
- In 2007 is een schaalmodelstudie uitgevoerd, waarin de originele toestand, 2 varianten met grotere vlinderkleppen en 1 variant met hefschuiven beproefd is. Deze schaalmodelstudie is gerapporteerd in Vercruysse et al. (2009). Tijdens het schaalmodelonderzoek zijn proeven uitgevoerd met één duwkonvooi en met twee duwkonvooien naast elkaar tijdens het vullen de kolk. Naast krachten op het schip/de schepen in de kolk zijn tijdens de proeven ook de helling van het schip en de helling van de waterspiegel opgemeten.
- In 2009 zijn terreinmetingen uitgevoerd, waarbij de vul- en ledigingskrommen, de vul- en ledigingstijden, stijg- en daalsnelheden van het kolkpeil, langshellingen van de waterspiegel en de waterstandsvariatie onmiddellijk opwaarts van het bovenhoofd opgemeten zijn. Deze metingen zijn gerapporteerd in Vercruysse et al. (2009).

Uit verder onderzoek door de opdrachtgever is gebleken dat het inbouwen van extra openingen of het aanpassen van de bestaande openingen te veel structurele aanpassingen aan de bestaande sluisdeur met zich mee zou brengen. Om die reden is door de afdeling Regio Centraal geopteerd voor het ontwerpen van volledig nieuwe middendeuren. Voor deze nieuwe middendeuren is in 2012 door WL het ontwerp van het nivelleersysteem uitgevoerd (Verelst et al., 2012). In september/oktober 2014 werden de middendeuren vervangen. In de nieuwe middendeuren zijn 8 openingen aanwezig met diameter 1.40 m, afgesloten door vlinderkleppen.

Voorafgaand aan het ontwerp van het nivelleersysteem voor de nieuwe middendeuren in 2012 werd een bijkomende validatie van het programma VUL_SLUIS uitgevoerd op basis van de resultaten van de in 2007 uitgevoerde schaalmodelstudie. Hierbij wordt opgemerkt dat de validatie in 2012 origineel is uitgevoerd met VUL_SLUIS release 01.30.02 en VUL_SLUIS release 01.30.03. In dit hoofdstuk zullen echter enkel de resultaten van de simulaties met VUL_SLUIS release 01.54.00 en de resultaten van de simulaties met LOCKFILL besproken worden.

Paragraaf 3.2 beschrijft de geselecteerde cases voor de validatie. De resultaten van de validatie worden beschreven in paragraaf 3.3. Paragraaf 3.4 vat de resultaten van dit hoofdstuk samen.

3.2 Geselecteerde cases voor validatie

Voor de vergelijking van de resultaten van de simulaties met de programma's VUL_SLUIS en LOCKFILL met de proeven uitgevoerd op het schaalmodel van de afwaartse kolk van de sluis van Zemst zijn 23 proeven geselecteerd, dewelke bestaan uit een variatie van:

1. De types openingen. Hierbij zijn volgende configuraties (met afmetingen op schaal van prototype) bestudeerd:
 - a. 4 cirkelvormige openingen diameter 0.90 m afgesloten door vlinderkleppen versie 1⁽¹⁾ (huidige toestand).
 - b. 4 cirkelvormige openingen diameter 0.90 m afgesloten door vlinderkleppen versie 2⁽¹⁾ (huidige toestand). Voor versie 2 werd een slanker type vlinderklep gebruikt welke geometrisch beter overeenkomt met de in prototype gebruikte vlinderkleppen.

¹ Voor details met betrekking tot de twee versies vlinderkleppen wordt verwezen naar het rapport van het schaalmodelonderzoek (Vercruysse et al. (2009)).

- c. 4 cirkelvormige openingen diameter 1.63 m afgesloten door vlinderkleppen.
 - d. 4 cirkelvormige openingen diameter 1.25 m afgesloten door hefschuiven.
 - e. 4 cirkelvormige openingen diameter 1.25 m afgesloten door hefschuiven met een vergroot uitstroomoppervlak.
2. De openingswet van de vlinderkleppen/hefschuiven.
 3. Het aantal schepen in de sluiskolk: zowel 1 duwkonvooi als 2 duwkonvoeien (naast elkaar) in de sluiskolk zijn beschouwd.
 4. De afstand van het schip tot de sluisdeur: Zowel een afstand van 1.0 m als een afstand van 5.0 m tot de sluisdeur is beschouwd.

Tabel 15, Tabel 16 en Tabel 17 geven een overzicht van:

- De afmetingen van de sluiskolk in de schaalmodelstudie (Tabel 15).
- De afmetingen van de schepen uit de schaalmodelstudie (Tabel 16). Voor de lengte van het schip in de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL is hierbij de totale lengte van duwbak en duwboot van het duwkonvooi beschouwd. Hierbij wordt eenzelfde diepgang voor duwbak en duwboot beschouwd. De massa van het schip is de som van de massa's van de duwbak en de duwboot.
- De voor de validatie geselecteerde cases uit de schaalmodelstudie (Tabel 17). In Tabel 18 zijn hierbij de waarden van de toegepaste afvoercoëfficiënten van de openingen gegeven. Tabel 19, respectievelijk Tabel 20 geven de toegepaste openingswetten voor openingen afgesloten met vlinderkleppen, respectievelijk openingen afgesloten met hefschuiven. Deze waarden zijn overgenomen uit Vercruyssen *et al.* (2013). Voor hefschuiven is de afvoercoëfficiënt uit Vercruyssen *et al.* (2013) omgerekend van een waarde ten opzichte van de totale sectie van de openingen in de deur naar een waarde ten opzichte van de relatieve opening in de deur zoals benodigd in de inputfile van VUL_SLUIS en LOCKFILL.

Tabel 15 – Afmetingen (op schaal van prototype) sluiskolk in schaalmodelstudie

Lengte sluiskolk	129.78 m
Breedte sluiskolk	25.0 m
Bodempeil sluiskolk	-3.10 mTAW

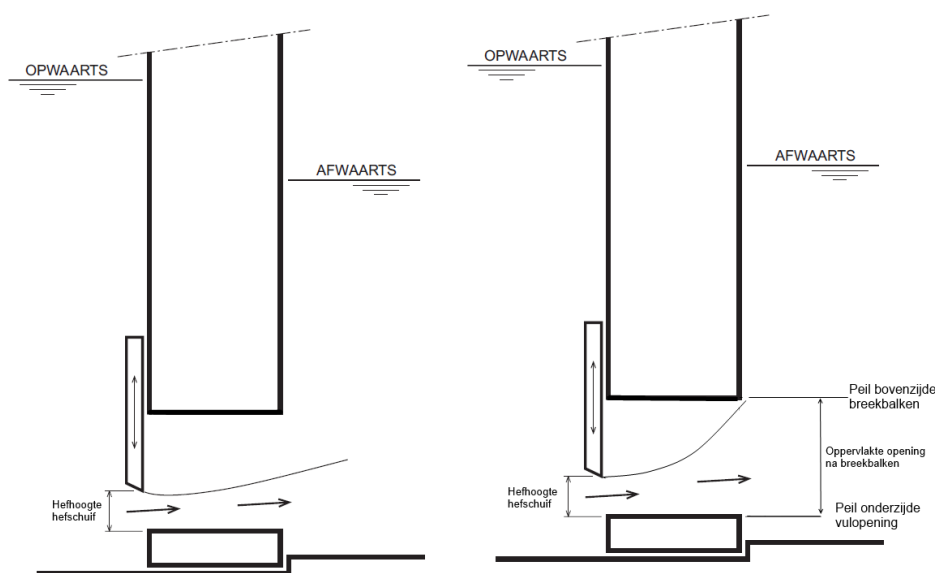
Tabel 16 – Afmetingen (op schaal van prototype) van schepen uit de schaalmodelstudie

	1 duwkonvooi	2 duwkonvoeien
Lengte	108.5 m	108.5 m
Breedte	11.4 m	22.8 m
Diepgang	4.09 m	4.09 m
Massa	3728 ton	7456 ton
Hoek boeg in verticaal vlak	21.2°	21.2°
Hoek boeg in horizontaal vlak	90°	90°
Ruwheid van de romp	0.005 m	0.005 m

Bij Tabel 17 wordt opgemerkt dat alle geselecteerde cases proeven betreffen die uitgevoerd zijn zonder breekbalken aan de afwaartse zijde van de opening in de deur. In LOCKFILL is het niet mogelijk om een opening zonder breekbalken te simuleren. In de inputfile in LOCKFILL dient altijd een peil van de bovenzijde van de breekbalken en een oppervlakte van de opening na breekbalken opgegeven te worden. In de inputfile voor de simulaties met LOCKFILL wordt voor al deze cases het peil van de bovenzijde van de opening ingegeven als peil bovenzijde breekbalken en de oppervlakte van de opening bij volledig geopende hefschuiven/vlinderkleppen als oppervlakte van de opening na breekbalken.

In VUL_SLUIS is het mogelijk om een opening in de deur zonder breekbalken te simuleren. Echter het toepassen van contractie van de straal in de opening geeft vooral bij hefschuiven bij begin nivelleren aanleiding tot zeer hoge stroomsnelheden in de jet. Deze hoge stroomsnelheden geven dan aanleiding tot hoge krachten op het schip. Om die reden worden in VUL_SLUIS openingen in de deuren zonder breekbalken door WL gesimuleerd door middel van openingen in de deuren met breekbalken waarbij als peil van de bovenzijde van de breekbalken het peil van de bovenzijde van de opening wordt beschouwd en als oppervlakte van de opening na breekbalken de oppervlakte van de opening bij volledig geopende hefschuiven/vlinderkleppen.

Figuur 15 vergelijkt de uitspreiding van de vulstraal bij een gedeeltelijk geopende hefschuif met de wijze waarop dit in VUL_SLUIS en LOCKFILL wordt geschematiseerd.



Figuur 15 – Links: Uitspreiding vulstraal bij afwezigheid breekbalken en gedeeltelijk geopende hefschuif –
Rechts: Schematisatie van deze toestand in VUL_SLUIS en LOCKFILL

De peilen van de bovenzijde van de breekbalken, respectievelijk de oppervlakte van de opening na breekbalken in Tabel 17 zijn om die reden voor alle cases gelijk aan het peil van de bovenzijde van de openingen, respectievelijk de oppervlakte van de opening bij volledig geopende hefschuiven/vlinderkleppen.

Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 1 wordt als tijdstap voor een simulatie met VUL_SLUIS altijd 0.2 s beschouwd. Het toepassen van deze tijdstap in LOCKFILL bij simulaties 001, 003, 005, 008 009, 011, 012, 014, 016, 019, 020 en 021 geeft echter onrealistische resultaten. Het vergroten van de tijdstap naar 0.4 s zorgt ervoor dat deze onrealistische resultaten bij deze simulaties niet meer voorkomen. Bijgevolg zijn deze simulaties met de grotere tijdstap van 0.4 s uitgevoerd.

Tabel 17 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten schaalmodelstudie sluis Zemst

	Eenheid	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	023
		VK36_v1	VK65	VK36_v2	HS50_recht	VK36_v1	VK65	VK65	VK36_v2	VK36_v2	HS50_recht	VK36_v1	VK36_v2	HS50_recht	VK36_v1	VK65	VK36_v2	HS50_recht	HS50_conisch	VK36v2	VK50	VK50	HS50_recht	VK50
OPWAARTS KANAALPAND																								
Peil opwaarts pand	[mTAW]	13.30	13.20	13.38	13.13	13.28	13.20	13.20	13.36	13.38	13.23	13.20	13.40	13.22	13.21	13.22	13.39	13.33	13.22	13.41	13.22	13.21	12.73	13.22
SLUISKOLK																								
Lengte sluisolk	[m]	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78
Breedte sluisolk	[m]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Bodempeil sluisolk	[mTAW]	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	4.47	4.54	4.66	4.49	4.51	4.48	4.50	4.66	4.64	4.59	4.50	4.70	4.59	4.42	4.58	4.67	4.61	4.62	4.68	4.51	4.63	4.10	4.51
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP		2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	1 duw- konvooi	1 duw- konvooi	1 duw- konvooi	1 duw- konvooi	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien	1 duw- konvooi	2 duw- konvoaien	2 duw- konvoaien
Lengte	[m]	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50	108.50
Breedte schip	[m]	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	22.80	11.40	11.40	11.40	11.40	22.80	22.80	22.80	11.40	22.80	22.80
Diepgang	[m]	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09
Massa	[ton]	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	7456	3728	3728	3728	3728	7456	7456	7456	3728	7456	7456
Hoek boeg in de verticale	[°]	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
Hoek boeg in de horizontale	[°]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.25	5.25	5.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.25	5.25	1.00	5.25	1.00
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.49	0.49	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49	0.25	0.24	0.24	0.24	0.48	0.48	0.49	0.24	0.52	0.49
HEFSCHUIVEN																								
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	1.25	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	cirkelvormig	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	cirkelvormig	n.v.t.	n.v.t.	cirkelvormig	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	cirkelvormig	cirkelvormig	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	cirkelvormig	n.v.t.
Aantal openingen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4	n.v.t.	n.v.t.	4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4	4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4	n.v.t.
Diameter openingen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	1.25	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.25	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	H1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	H1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	H1	H2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	H1	n.v.t.
Openingsnelheid	[m/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	B3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	B2	n.v.t.	n.v.t.	B3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	B3	B3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	B1	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.026	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.026	n.v.t.	n.v.t.	0.026	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.025	0.025	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.027	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN																								
Aantal vlinderkleppen	[-]	4	4	4	n.v.t.	4	4	4	4	4	n.v.t.	4	4	n.v.t.	4	4	4	n.v.t.	n.v.t.	4	4	4	n.v.t.	4
Diameter cirkelvormige opening	[m]	0.90	1.63	0.90	n.v.t.	0.90	1.63	1.63	0.90	0.90	n.v.t.	0.90	0.90	n.v.t.	0.90	1.63	0.90	n.v.t.	n.v.t.	0.90	1.25	1.25	n.v.t.	1.25
Klephoek gesloten stand	[°]	0	0	0	n.v.t.	0	0	0	0	0	n.v.t.	0	0	n.v.t.	0	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0	n.v.t.	0
Klephoek open stand	[°]	90	90	90	n.v.t.	90	90	90	90	90	n.v.t.	90	90	n.v.t.	90	90	90	n.v.t.	n.v.t.	90	90	90	n.v.t.	90
Minimale klephoek	[°]	0	0	0	n.v.t.	0	0	0	0	0	n.v.t.	0	0	n.v.t.	0	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0	n.v.t.	0
Afvoercoëfficiënt	[-]	V1	V2	V3	n.v.t.	V1	V2	V2	V3	V3	n.v.t.	V1	V3	n.v.t.	V1	V2	V3	n.v.t.	n.v.t.	V3	V4	V4	n.v.t.	V4
Openingsnelheid	[°/s]	A1	A1	A1	n.v.t.	A2	A4	A8	A4	A8	n.v.t.	A1	A1	n.v.t.	A1	A1	A1	n.v.t.	n.v.t.	A8	A4	A4	n.v.t.	A4
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.013	0.043	0.013	n.v.t.	0.013	0.044	0.044	0.013	0.013	n.v.t.	0.013	0.013	n.v.t.	0.014	0.043	0.013	n.v.t.	n.v.t.	0.013	0.026	0.025	n.v.t.	0.026
Breekbalken																								
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-1.450	-0.640	-1.450	-1.035	-1.450	-0.640	-0.640	-1.450	-1.450	-1.035	-1.450	-1.450	-1.035	-1.450	-0.640	-1.450	-1.035	-0.770	-1.450	-1.035	-1.040	-1.040	-1.040
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	0.750	0.835	0.750	0.815	0.750	0.835	0.835	0.750	0.750	0.815	0.750	0.750	0.815	0.750	0.835	0.750	0.815	1.080	0.750	0.815	0.810	0.810	0.810
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	2.54	8.30	2.54	4.91	2.54	8.30	8.30	2.54	2.54	4.91	2.54	2.54	4.91	2.54	8.30	2.54	4.91	9.95	2.54	4.91	4.91	4.91	4.91
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 18 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt

Vlinderkleppen					Hefschuiven		
Relatieve klepstand	V1	V2	V3	V4	Relatieve hefhoogte	H1	H2
[°/90°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m/m]	[-]	[-]
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.700	0.700
0.111	0.010	0.010	0.010	0.010	0.100	0.701	0.701
0.222	0.040	0.060	0.040	0.050	0.200	0.702	0.702
0.333	0.110	0.130	0.100	0.130	0.300	0.713	0.674
0.444	0.119	0.210	0.200	0.230	0.400	0.776	0.723
0.555	0.290	0.310	0.330	0.340	0.500	0.800	0.740
0.666	0.390	0.400	0.490	0.490	0.600	0.894	0.734
0.777	0.500	0.510	0.680	0.500	0.700	0.950	0.776
0.888	0.505	0.560	0.810	0.510	0.800	0.898	0.793
1.000	0.510	0.580	0.850	0.520	0.900	0.854	0.791
					1.000	0.850	0.810

Tabel 19 – Toegepaste openingswetten voor vlinderkleppen

A1		A2		A4		A8	
Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid
[s]	[°/s]	[s]	[°/s]	[s]	[°/s]	[s]	[°/s]
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.000	0.000	3.000	0.000	3.000	0.000	3.000	0.000
3.001	2.000	3.001	2.500	3.001	2.000	3.001	1.270
18.000	2.000	18.000	2.500	18.000	2.000	18.000	1.270
18.001	0.000	18.001	2.000	> 18.001	0.100	18.001	0.090
78.000	0.000	33.000	2.000			218.000	0.090
78.001	2.000	33.001	1.000			218.001	0.040
93.000	2.000	48.000	1.000			618.000	0.040
93.001	0.000	48.001	0.500			> 618.001	0.090
153.000	0.000	63.000	0.500				
153.001	2.000	>63.001	0.000				
168.000	2.000						
> 168.001	0.000						

Tabel 20 – Toegepaste openingswetten voor hefschuiven

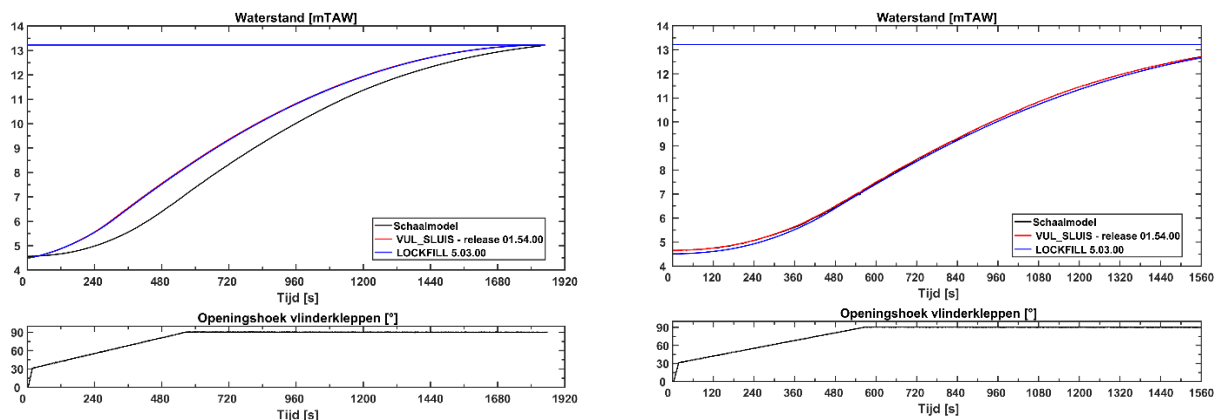
B1		B2		B3	
Tijd	Hefsnelheid	Tijd	Hefsnelheid	Tijd	Hefsnelheid
[s]	[m/s]	[s]	[m/s]	[s]	[m/s]
0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.000
3.000	0.0000	3.000	0.0000	3.000	0.000
3.001	0.0025	3.001	0.0010	3.001	0.005
93.000	0.0025	243.000	0.0010	> 3.001	0.005
93.001	0.0010	243.001	0.0005		
843.000	0.0010	993.000	0.0005		
> 843.001	0.0025	> 993.001	0.0010		

3.3 Resultaten validatie

Deze paragraaf beschrijft voor de 23 beschouwde cases de vergelijking van de resultaten van de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS en deze uitgevoerd met LOCKFILL met de resultaten van het schaalmodelonderzoek. Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- Tijdens het schaalmodelonderzoek zijn naast de krachten op het schip in de kolk ook de helling van het schip en de helling van de waterspiegel opgemeten. LOCKFILL en VUL_SLUIS berekenen in hoofdzaak de kracht op het schip in de kolk. Bijgevolg worden in deze paragraaf enkel de krachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met deze gemeten tijdens het schaalmodelonderzoek.
- Bij het schaalmodelonderzoek zijn voor elke beschouwde case meerdere uitgevoerde proeven geselecteerd om te vergelijken met de resultaten van de numerieke simulaties. Om de grafische voorstellingen te vereenvoudigen is voor elke case het gemiddelde van de resultaten van de beschouwde uitgevoerde proeven grafisch voorgesteld. Bij schaalmodelproeven met 2 duwkonvoien naast elkaar in de sluiskolk zijn tijdens het schaalmodelonderzoek de krachten opgemeten op de twee schepen afzonderlijk. Bij de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL worden de beide schepen als één groot schip in de inputfile opgegeven. De totale langskrachten op dit ene schip worden (in promille) relatief voorgesteld ten opzichte van het totale onderwatervolume van dit ene groot schip. In de grafische voorstellingen van de variatie in de tijd van de langskracht op het schip in deze paragraaf wordt het gemiddelde van de langskracht gemeten op de beide schepen uit de schaalmodelstudie vergeleken met de op deze wijze berekende langskrachten berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL.

Voor de 23 beschouwde cases vergelijken Figuur 87 tot en met Figuur 92 in Bijlage 2 de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en de variatie in de tijd van het debiet door de openingen in de deur berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL met deze uit de schaalmodelproeven. Voor deze vergelijking is in Tabel 46 in Bijlage 2 een overzicht gegeven van de berekende statistische parameters. Bij simulatie 020 wordt opgemerkt dat de simulatie met de openingswet A4 uit Tabel 19 aanleiding geeft tot een te snelle nivellering van de sluiskolk (zie linkse deelfiguur van Figuur 16). Een verklaring hiervoor is niet gevonden. Voor de validatie in dit hoofdstuk is de openingswet van deze simulatie iteratief aangepast tot deze uit Tabel 21. Met deze openingswet (zie rechtse deelfiguur van Figuur 16) wordt een relatief goede overeenkomst bekomen tussen het met LOCKFILL en VUL_SLUIS berekende waterpeil in de sluiskolk en het waterpeil opgemeten tijdens de schaalmodelproeven. De afwijking bedraagt gemiddeld 0.01 m.



Links: simulatie met openingswet A4 uit Tabel 19; rechts: simulatie openingswet uit Tabel 21

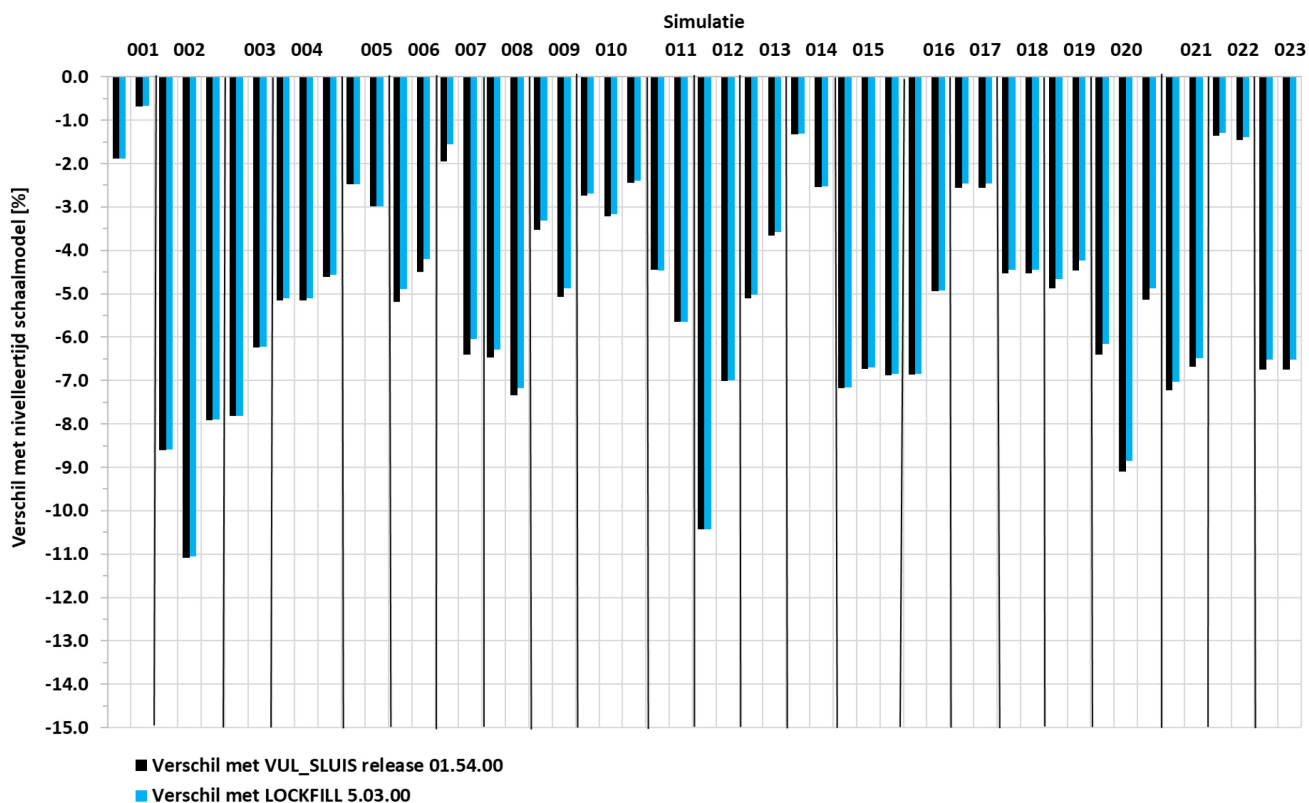
Figuur 16 - Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met de waterstand in de sluiskolk uit het schaalmodelonderzoek voor simulatie 020

Tabel 21 – Toegepaste openingswet voor simulatie 020

A4	
Tijd	Openings- snelheid
[s]	[°/s]
0.000	0.000
10.000	0.000
10.001	1.500
20.000	1.500
> 20.001	0.100

Voor een aantal simulaties (simulaties 001, 003, 004, 005, 011, 014 en 022) worden beperkte verschillen vastgesteld tussen de met LOCKFILL en VUL_SLUIS berekende waterstand en de waterstand in het schaalmodel. Met uitzondering van simulatie 022 betreft dit een beperkte overschatting van de waterstand met maximaal 0.16 m in de sluiskolk uit het schaalmodel. Voor simulatie 022 wordt een onderschatting van de waterstand in het schaalmodel met 0.21 m berekend. Wat de variatie in de tijd van het debiet betreft, wordt voor het merendeel van de simulaties een relatief goede overeenkomst vastgesteld tussen het debiet berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en het debiet opgemeten in het schaalmodel. Bij de simulaties met de openingswet A1 met tussenstops, i.e. simulaties 001, 002, 003, 011, 012, 014, 015 en 016, wordt opgemerkt dat de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende debietskromme gedurende de periode dat de openingswet gestopt wordt een beperkte afname van het debiet kent. In het schaalmodel kent de debietskromme gedurende de eerste stop een eerder constant stijgend verloop. Gedurende de tweede stop wordt een beperkte afname van het debiet waargenomen. Bij simulaties 006, 007, 010 en 013 wordt vastgesteld dat het maximaal debiet berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL het debiet opgemeten in het schaalmodel beperkt onderschat.

Tabel 47 in Bijlage 2 vergelijkt voor de 23 beschouwde cases de nivelleertijd opgemeten in het schaalmodel met de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL. Bij de nivelleertijd uit het schaalmodelonderzoek wordt opgemerkt dat in Vercruysse *et al.* (2013) een restverval 0.175 m beschouwd wordt als definitie voor einde nivelleren. Om die reden wordt in Tabel 47 in Bijlage 2 uit de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL telkens de nivelleertijd met restverval 0.175 m vergeleken met de nivelleertijd uit het schaalmodel. Uit deze tabel volgt dat het verschil tussen de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en de nivelleertijd berekend met LOCKFILL verwaarloosbaar is. Het verschil bedraagt maximaal 0.4 %. Daarnaast volgt uit de tabel dat de nivelleertijd berekend met LOCKFILL en deze berekend met VUL_SLUIS voor alle simulaties de nivelleertijd uit het schaalmodel onderschatten. Het procentueel verschil tussen de nivelleertijd in het schaalmodel en de nivelleertijd uit de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL is grafisch voorgesteld in Figuur 17. Verder volgt uit deze figuur dat voor het merendeel van de simulaties de nivelleertijd uit het schaalmodel maximaal 8 % onderschat wordt. Enkel bij simulaties 002, 012 en 020 bedraagt de onderschatting van de nivelleertijd 8.6 % à 11.1 %.



Zowel in schaalmodel als in de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL betreft de nivelleertijd in deze figuur de nivelleertijd bij restverval 0.175 m

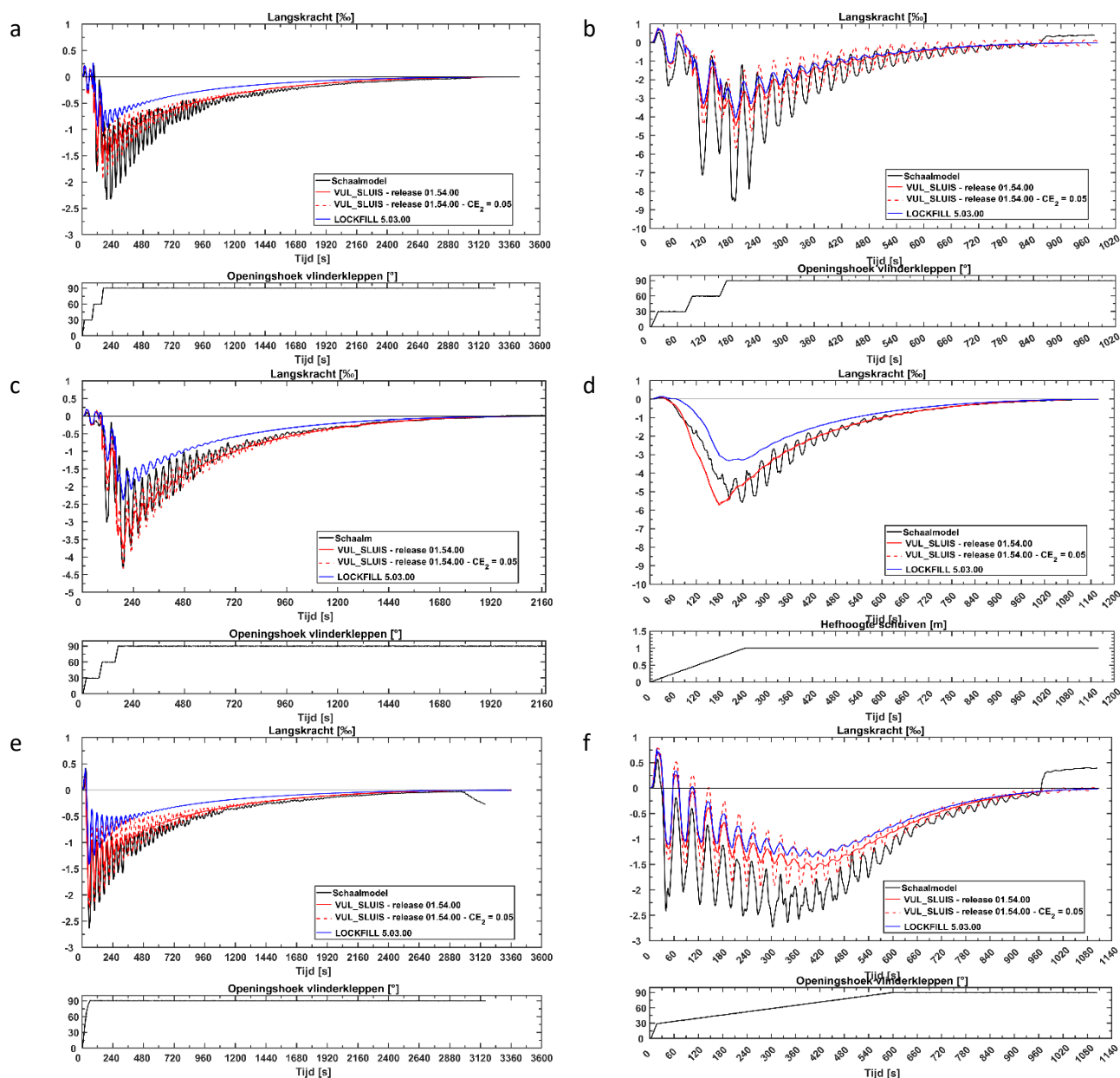
Figuur 17 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit schaalmodel en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Figuur 18, Figuur 19, Figuur 20 en Figuur 21 geven een grafische voorstelling van de variatie in de tijd van de langskracht op het schip opgemeten in het schaalmodel en de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL. Uit deze figuren kan vooreerst besloten worden dat de berekende langskrachten eenzelfde verloop kennen als de langskrachten op het schip opgemeten in het schaalmodel. De eerste positieve piek van de berekende langskrachten kent, zowel voor VUL_SLUIS als voor LOCKFILL een goede overeenkomst met de opgemeten langskrachten. Voor het merendeel van de simulaties wordt het overige gedeelte van de in het schaalmodel opgemeten krachten onderschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL. Enkel bij simulaties 008, 009, 010, 017 en 021 worden de opgemeten langskrachten niet onderschat. Bij deze simulaties zijn de langskrachten berekend met VUL_SLUIS een (beperkte) overschatting van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel en zijn de langskrachten berekend met LOCKFILL een onderschatting van de opgemeten langskrachten.

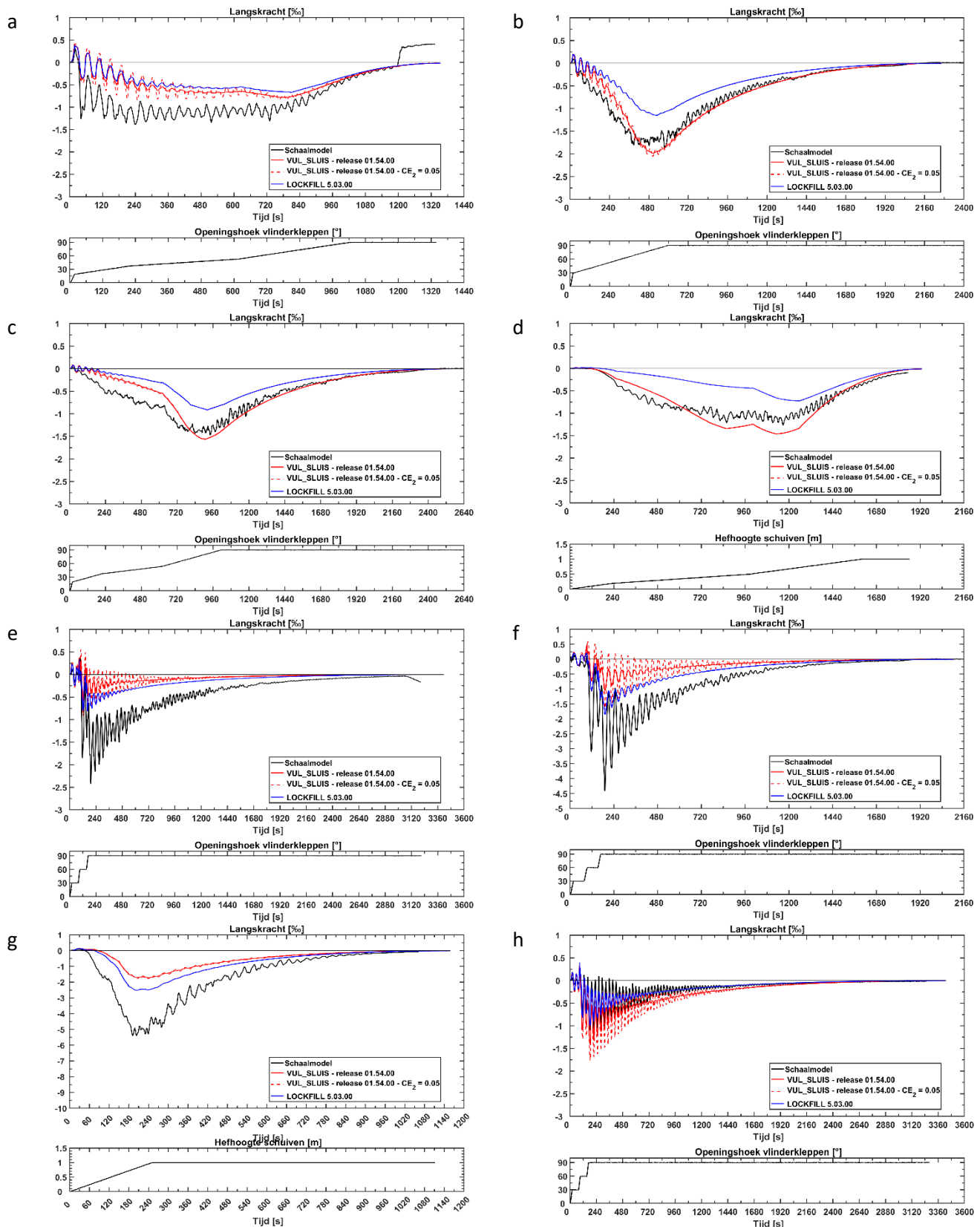
Voor simulaties 004, 007, 008, 009, 010, 017, 018, 019, 020 en 022 vertoont zowel het verloop van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS als het verloop van de langskracht op het schip berekend met LOCKFILL geen oscillaties ten gevolge van translatiegolven. Deze simulaties betreffen alle de tragere openingswetten A4 en A8 voor cases met vlinderkleppen en de tragere openingswet H1 voor de cases met hefschuiven. Bij de overige simulaties zijn wel oscillaties ten gevolge van translatiegolven aanwezig. Echter de amplitude van deze oscillaties is beduidend lager dan deze van de oscillaties opgemeten in het schaalmodel. Om die reden is met VUL_SLUIS ook een simulatie uitgevoerd, waarbij de coëfficiënt CE_2 , die de demping van translatiegolven beschrijft, verlaagd is van 0.40 naar 0.05, analoog als bij de simulaties met LOCKFILL die door Deltares zijn uitgevoerd in het kader van het ontwerp van de Nieuwe Sluis Terneuzen.

Deze wijziging is enkel mogelijk in VUL_SLUIS en niet in LOCKFILL. Deze wijziging heeft voor deze simulaties tot gevolg dat de amplitude van de oscillaties toeneemt. Echter de amplitude blijft kleiner dan deze van de oscillaties van de langskracht opgemeten in het schaalmodel. Bij de simulaties met de tragere openingswetten van de vlinderkleppen en de hefschuiven zorgt de aanpassing van de coëfficiënt CE_2 niet voor het ontstaan van oscillaties ten gevolge van translatiegolven.

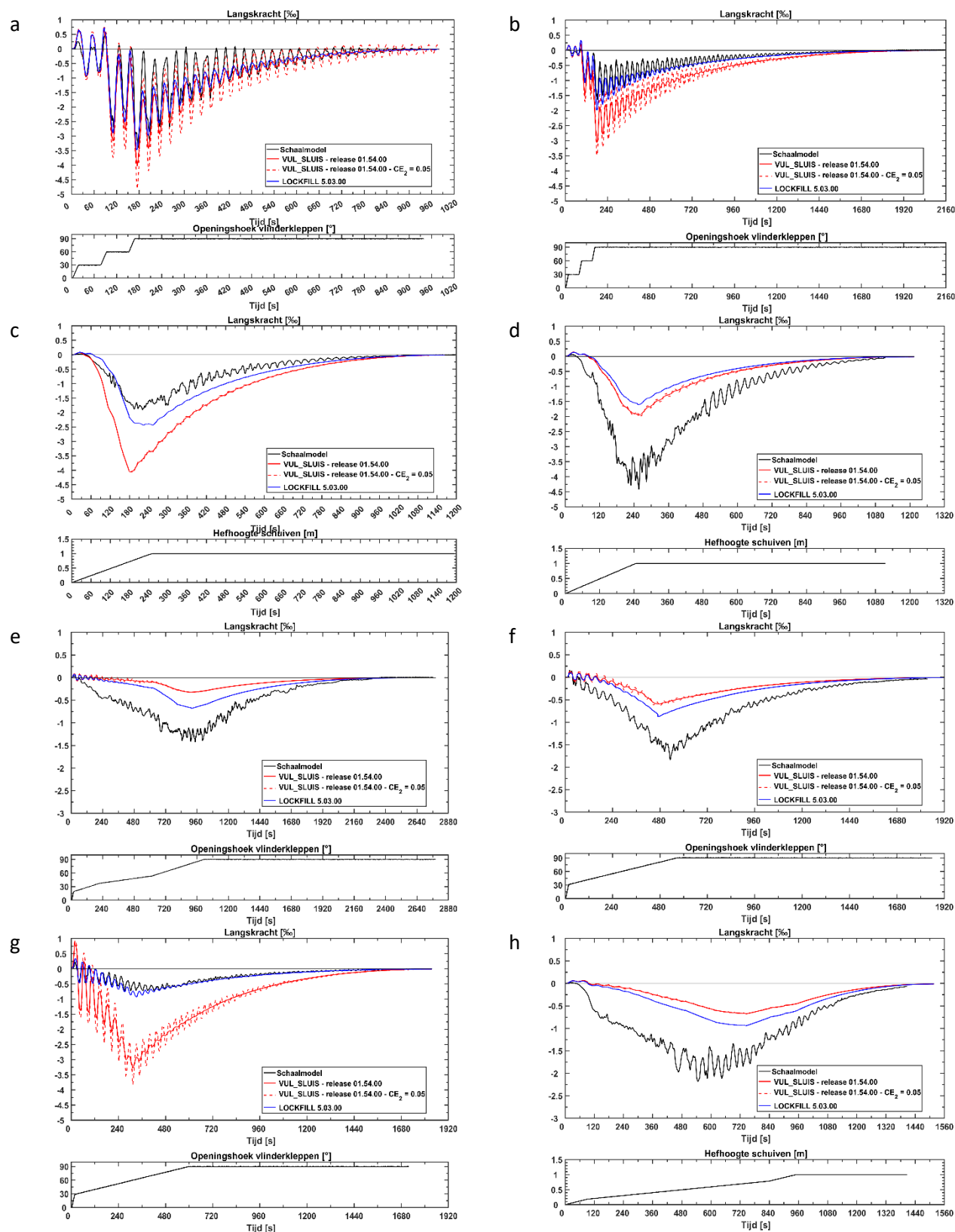
Bij alle simulaties waarbij de schepen in de sluiscolk zich op 1.0 m van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur bevinden worden met LOCKFILL beduidend lagere krachten berekend dan met VUL_SLUIS. Echter wanneer het schip zich op 5.25 m van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur bevindt, worden met LOCKFILL hogere langskrachten op het schip berekend dan met VUL_SLUIS.



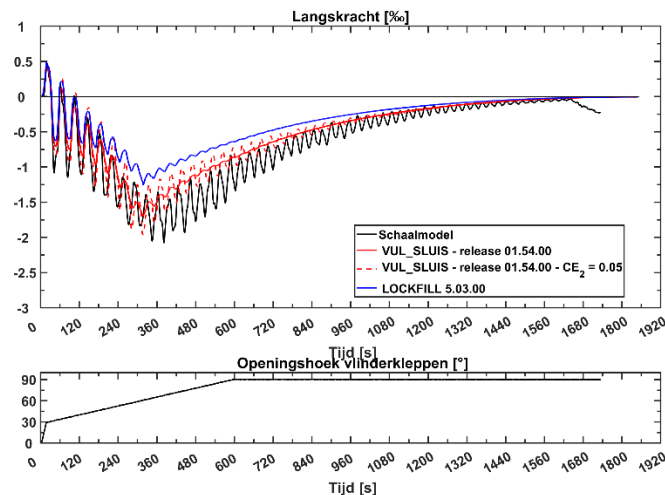
Figuur 18 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e) en 006 (f)



Figuur 19 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 007 (a), 008 (b), 009 (c), 010 (d), 011 (e), 012 (f), 013 (g) en 014 (h)

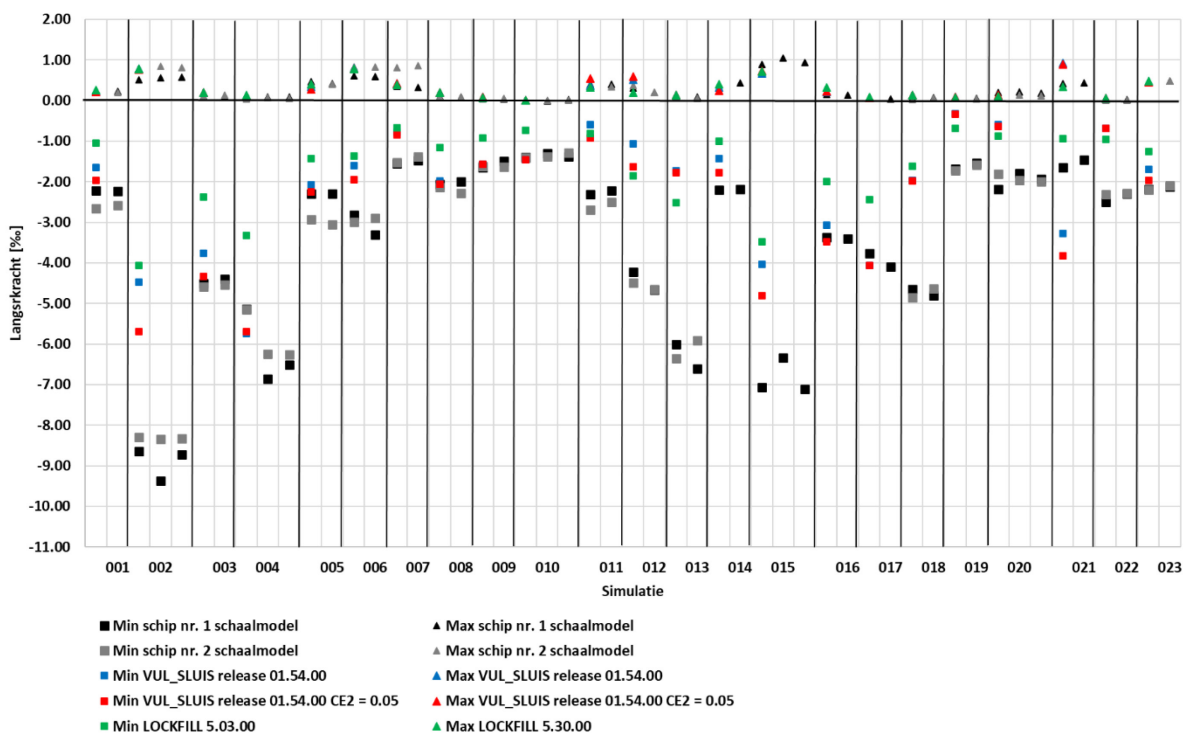


Figuur 20 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 015 (a), 016 (b), 017 (c), 018 (d), 019 (e), 020 (f), 021 (g) en 022 (h)

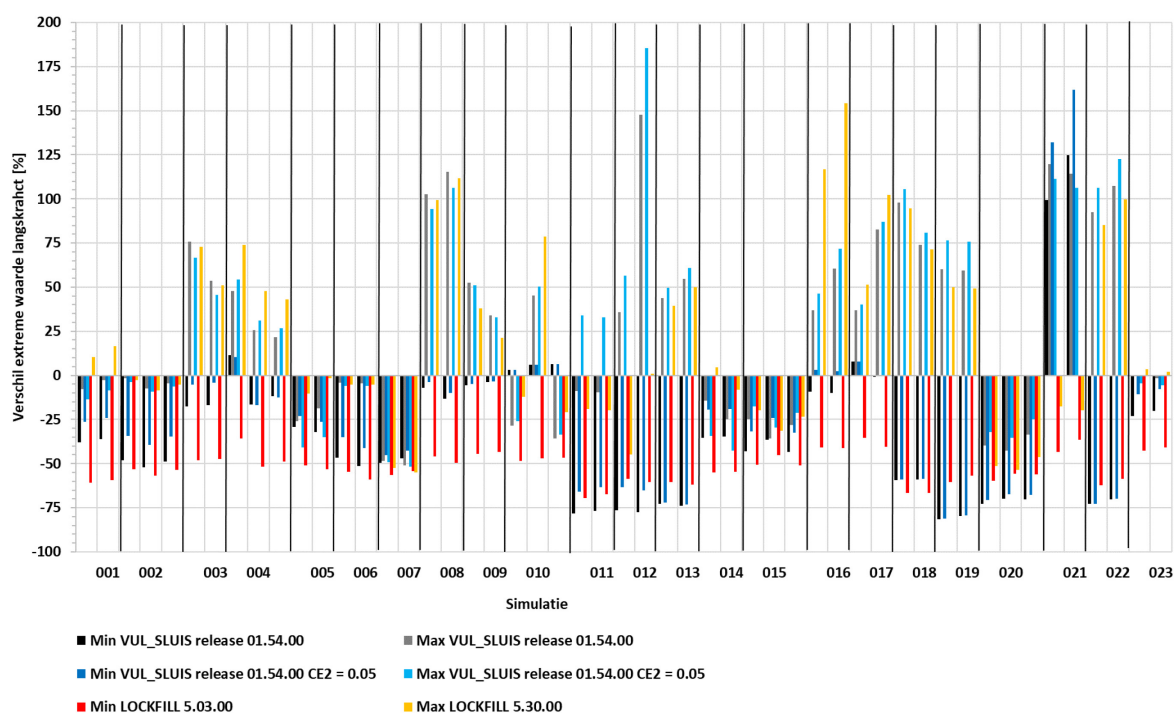


Figuur 21 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 023

Tabel 48 in Bijlage 2 vergelijkt de extreme waarden van de op het schaalmodel opgemeten langskrachten op het schip met de extreme waarden van de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskrachten. In Figuur 22 zijn deze waarden nog eens grafisch voorgesteld. Figuur 23 geeft voor alle simulaties een grafische voorstelling van het procentueel verschil tussen de extreme waarden van de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskracht op het schip in de kolk en de extreme waarden van de in het schaalmodel opgemeten langskracht op beide schepen in de kolk.



Figuur 22 – Vergelijking minimale en maximale waarde langskracht op het schip uit schaalmodelstudie met de langskracht berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL



Figuur 23 – Procentuele verschillen tussen minimale en maximale waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de minimale en maximale waarde van de langskracht opgemeten in het schaalmodel

Algemeen volgt uit Figuur 22 dat de extreme waarden van de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskrachten op het schip een onderschatting zijn van de extreme waarden van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. Enkel bij simulaties 010 en 017 zijn de minimale waarden van de met VUL_SLUIS berekende langskracht op het schip (in absolute waarde) beperkt groter dan deze van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. Bij simulatie 021 zijn, zowel voor de simulatie met VUL_SLUIS als voor deze met LOCKFILL, de minimale waarden van de berekende langskracht op het schip (in absolute waarde) groter dan deze opgemeten in het schaalmodel.

Wat de procentuele verschillen tussen de extreme waarden van de met VUL_SLUIS en LOCKSIM berekende langskracht op het schip en de extreme waarde van de in het schaalmodel opgemeten langskrachten betreft, volgt uit Figuur 23 een maximale onderschatting van de extreme waarden van 81 % en een maximale overschatting van 148 %. Met uitzondering van simulaties 010, 017 en 021 met een overschatting tot 125 %, worden de negatieve extrema van de langskracht op het schip door VUL_SLUIS tot 81 % onderschat. Na aanpassing van de coëfficiënt CE_2 wijzigt de overschatting van de negatieve extrema door VUL_SLUIS niet voor simulaties 010 en 017 omdat voor deze simulaties geen oscillaties van translatiegolven berekend worden. Voor simulatie 021 stijgt de overschatting van het negatieve extremum van de langskracht tot 162 %. Voor de overige simulaties wijzigen de onderschattingen van de negatieve extrema van de opgemeten langskracht niet of nemen deze beperkt af (met maximaal 37 %) na aanpassing van de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven. Daarnaast volgt uit Figuur 23 dat voor alle simulaties de opgemeten negatieve extrema van de langskracht op schip door LOCKFILL onderschat worden met maximaal 70 %.

Wat de positieve extrema van de langskracht op het schip betreft, zijn zowel voor de simulaties met VUL_SLUIS als voor deze met LOCKFILL de berekende waarden voor een aantal simulaties een overschatting (voor 12 simulaties bij VUL_SLUIS en voor 10 simulaties bij LOCKFILL) van de opgemeten waarden en voor een aantal simulaties een onderschatting (voor 11 simulaties bij VUL_SLUIS en voor 13 simulaties bij LOCKFILL).

De overschatting, respectievelijk onderschatting bedraagt tot maximaal 148 %, respectievelijk 51 % voor simulaties met VUL_SLUIS, tot maximaal 185 %, respectievelijk 52 % voor simulaties met VUL_SLUIS na aanpassing van de coëfficiënt CE_2 en tot maximaal 154 %, respectievelijk 55 %, voor simulaties met LOCKFILL. De overschatting/onderschatting neemt voor een aantal simulaties toe na aanpassing van de coëfficiënt CE_2 in VUL_SLUIS, maar neemt voor andere simulaties ook af.

3.4 Samenvatting resultaten

Uit vorige paragraaf wordt algemeen het volgende besloten:

- Het verschil tussen de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en de nivelleertijd berekend met LOCKFILL bedraagt voor alle beschouwde cases maximaal 0.4 %, wat verwaarloosbaar is. De nivelleertijd berekend met LOCKFILL en deze berekend met VUL_SLUIS onderschat voor alle simulaties de nivelleertijd uit het schaalmodel met maximaal 11.1 %.
- Algemeen kan worden besloten dat het verloop van de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL hetzelfde is als dit van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. De cases met de tragere openingswetten, zowel bij openingen afgesloten met vlinderkleppen als bij openingen afgesloten met hefschuiven, worden gekenmerkt door afwezigheid van oscillaties ten gevolge van translatiegolven in de kolk. Bij de overige cases met een snellere opening van de vlinderkleppen zijn wel oscillaties ten gevolge van translatiegolven aanwezig, maar met een beduidend lagere amplitude dan deze van de oscillaties opgemeten in het schaalmodel.
- De eerste positieve piek van de berekende langskrachten kent, zowel bij VUL_SLUIS als bij LOCKFILL een goede overeenkomst met de eerste piek van de in het schaalmodel opgemeten langskrachten. Voor het merendeel van de simulaties wordt het overige gedeelte van de in het schaalmodel opgemeten krachten onderschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL. Bij enkele simulaties zijn de langskrachten berekend met VUL_SLUIS een (beperkte) overschatting van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel en zijn de langskrachten berekend met LOCKFILL een onderschatting van de opgemeten langskrachten.
- Bij alle simulaties waarbij de schepen in de sluis kolk zich op 1.0 m van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur bevinden worden met LOCKFILL beduidend lagere krachten berekend dan met VUL_SLUIS. Echter wanneer het schip zich op 5.25 m van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur bevindt, worden met LOCKFILL hogere langskrachten op het schip berekend dan met VUL_SLUIS.
- Het negatieve extremum van de langskracht opgemeten in het schaalmodel wordt, met uitzondering van een drietal overschattingen tot 125 %, door VUL_SLUIS onderschat met maximaal 81 % en voor alle simulaties met maximaal 70 % door LOCKFILL. De positieve extrema van de langskracht worden zowel door VUL_SLUIS als door LOCKFILL bij ongeveer de helft van de beschouwde cases overschat met maximaal 148 % en voor de overige helft van de cases onderschat met maximaal 51 %.
- Het verlagen van de coëfficiënt CE_2 , die de damping van translatiegolven beschrijft, van 0.40 naar 0.05 heeft tot gevolg dat de amplitude van de oscillaties ten gevolge van translatiegolven toeneemt voor cases waarbij oscillaties ten gevolge van translatiegolven aanwezig zijn. Echter de amplitude van de oscillaties blijft kleiner dan deze van de oscillaties opgemeten in het schaalmodel. Voor deze cases wijzigt de onderschatting van het negatieve extremum van de opgemeten langskracht niet of neemt deze beperkt af (met maximaal 37 %). De overschatting/onderschatting van het positieve extremum van de langskracht neemt voor een aantal simulaties toe, maar neemt voor andere simulaties ook af. Bij de cases met de tragere openingswetten van vlinderkleppen en hefschuiven, waarbij geen oscillaties ten gevolge van translatiegolven aanwezig zijn, zorgt de verlaging van deze coëfficiënt niet voor het ontstaan van oscillaties. De overschatting van het negatieve extremum van de met VUL_SLUIS berekende langskracht wijzigt niet voor simulaties 010 en 017. Enkel voor simulatie 021 stijgt de overschatting van het negatieve extremum van de langskracht tot 162 %.

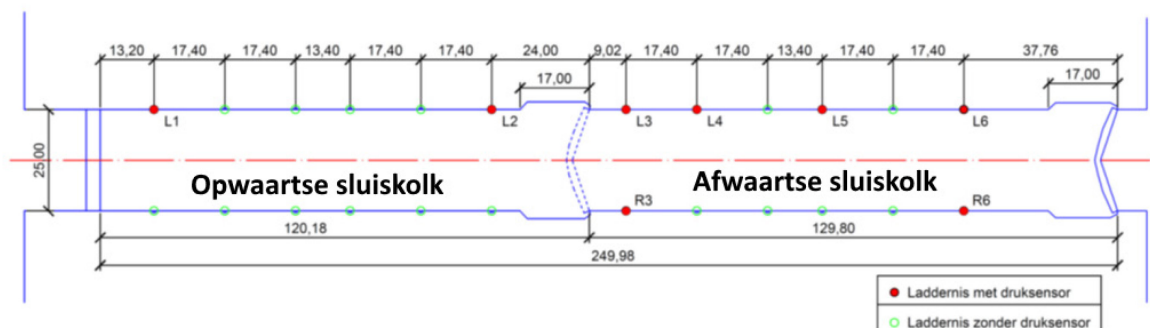
4 Validatie met resultaten terreinmeting sluis Zemst

4.1 Algemeen

In paragraaf 3.1 is reeds een algemene beschrijving van de sluis van Zemst gegeven en het door WL uitgevoerde onderzoek met betrekking tot het ontwerp van het nivelleersysteem voor de nieuwe middendeuren van de sluis.

Voorafgaand aan de renovatie van de middendeuren van de sluis werden door WL in 2009 twee terreinmetingen uitgevoerd in de afwaartse sluiskolk. Tijdens deze terreinmetingen, gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2009), waren in de middendeuren 4 openingen diameter 0.90 m afgesloten door vlinderkleppen aanwezig. Merk op dat deze openingen niet uniform verdeeld waren over de breedte van de sluiskolk, doch iets meer geclusterd waren nabij de kolkwanden. In september/oktober 2014 werden de middendeuren vervangen. In de nieuwe middendeuren zijn 8 openingen aanwezig met diameter 1.40 m, afgesloten met vlinderkleppen. Na deze renovatie van de middendeuren werd door WL in november 2014 een eerste terreinmeting uitgevoerd en gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2015). Aangezien het inwerken van het aandrijvingssysteem van de vlinderkleppen en het wijzigen van enkele componenten in het hierop volgende jaar de karakteristieken van het nivelleersysteem zouden kunnen beïnvloeden, werd in september 2015 een nieuwe terreinmeting uitgevoerd. Deze terreinmeting is gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2016b).

Tijdens deze uitgevoerde terreinmetingen werden op 8 locaties waterstandsmeters (ook 'divers' genoemd) geplaatst in een aantal laddernissen van de volledige sluiskolk. Hierbij werden zes divers geplaatst in de afwaartse kolkhelpt en twee in de opwaartse kolkhelpt. De positie van de divers in de sluiskolk is voorgesteld in Figuur 24. Hierbij wordt opgemerkt dat tijdens de eerste terreinmeting uitgevoerd in 2009 een aantal divers in de opwaartse en de afwaartse sluiskolk zich op een andere positie bevonden. Aangezien de resultaten van de eerste terreinmeting van 2009 niet beschouwd worden voor deze validatie, worden deze posities ook niet getoond in Figuur 24. Op basis van de uitgevoerde waterstandsmetingen worden de optredende waterspiegelhellingen tussen de verschillende locaties berekend. De opgemeten waterspiegelhellingen zijn een maat voor (het hydrostatische deel van) de langskracht op het schip. Tijdens de terreinmetingen is ook de variatie in de tijd van de openingshoeken van de twee vlinderkleppen (van 1 sluisdeur) opgemeten.



Figuur 24 – Locatie waterstandsmetingen in sluis van Zemst

4.2 Geselecteerde cases voor validatie

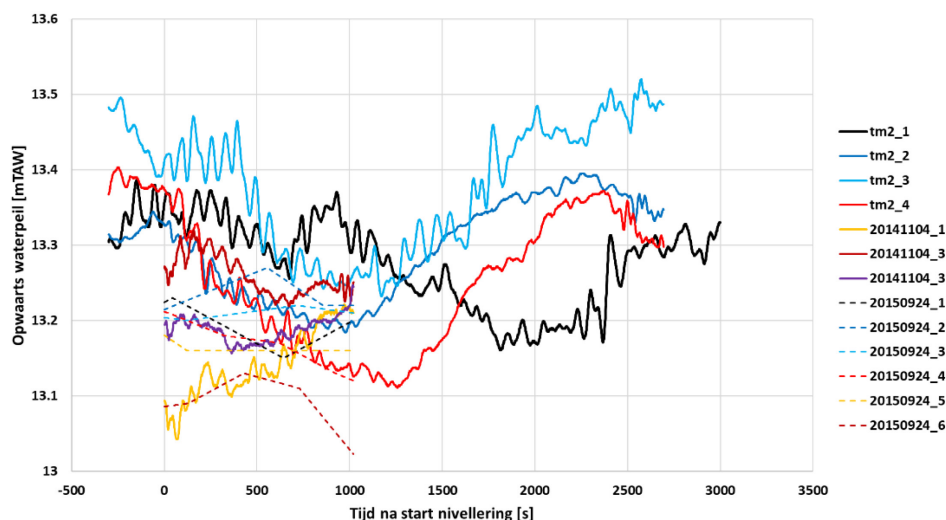
Uit de drie uitgevoerde terreinmetingen in de sluis van Zemst worden volgende 13 nivelleringen beschouwd voor de validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL:

- Nivelleringen tm2_1, tm2_2, tm2_3 en tm2_4 uit de tweede terreinmeting uitgevoerd in 2009 (voor renovatie van de middendeuren).
- 3 nivelleringen met de initiële openingswet uit de terreinmeting uitgevoerd in 2014 (na renovatie van de middendeuren).
- 6 nivelleringen met de aangepaste openingswet uit de terreinmeting uitgevoerd in 2015 (na renovatie van de middendeuren).

Deze nivelleringen betreffen alle vullen van de afwaartse sluiskolk. Een overzicht van de inputparameters voor deze 13 beschouwde nivelleringen is gegeven in Tabel 25. De toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt zijn gegeven in Tabel 23. Tabel 24 geeft de toegepaste openingswetten van de vlinderkleppen.

Bij deze tabellen moet het volgende opgemerkt worden:

- In de inputfile van de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL wordt de variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil uit de terreinmeting opgegeven. In VUL_SLUIS is hiervoor een tijdstap van 1.0 s beschouwd. Omwille van de beperking van de tabel met de opwaartse waterstand tot 40 lijnen is in LOCKFILL een tijdstap van 76 s beschouwd voor de nivelleringen van de terreinmeting voor renovatie en 25 s voor de nivelleringen van de terreinmetingen na renovatie van de middendeur. Figuur 25 geeft een grafische voorstelling van de variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil tijdens de voor deze validatie beschouwde nivelleringen. Uit deze figuur volgt dat het opwaarts waterpeil tijdens een nivellering schommelingen vertoont van 0.10 à 0.20 m, veroorzaakt door schutgolven ten gevolge van de nivellering. Om die reden is ter informatie in Tabel 25 voor het opwaarts waterpeil de waarde op het tijdstip $t = 0.0$ s gegeven.



Figuur 25 – Variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil tijdens de beschouwde nivelleringen

- Voor de nivelleringen uit de tweede terreinmeting uitgevoerd in 2009 is de openingswet overgenomen uit Vercruysse *et al.* (2009). Openingswet A1 betreft hierbij de automatische openingswet en openingswet A2 de manuele openingswet. Voor deze simulaties is ook een openingshoek van de vlinderkleppen in geopende stand beschouwd gelijk aan 84° .

Uit Vercruysse *et al.* (2009) volgt dat de vlinderkleppen in de toestand voor renovatie maar tot 84° geopend worden. De afvoercoëfficiënt A1 voor deze simulaties betreft de afvoercoëfficiënt voor vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003).

- Voor de nivelleringen uit de terreinmeting na renovatie is bij de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL de afvoercoëfficiënt beschouwd die in Vercruysse *et al.* (2015) bepaald is op basis van de opgemeten waterpeilen in de sluisolk. In Vercruysse *et al.* (2015) en Vercruysse *et al.* (2016b) worden voor de openingswetten van de vlinderkleppen de initiële openingswet en de alternatieve openingswet uit Tabel 22 gegeven. Het toepassen van deze openingswetten geeft echter een te snelle nivellering van de sluisolk. Bij het uitvoeren van de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL zijn de openingswetten aangepast naar de openingswetten A3 (initiële openingswet) en A4 (alternatieve openingswet) uit Tabel 24. Voor de cases met deze openingswetten zijn met VUL_SLUIS zowel de originele openingswetten uit Tabel 22 gesimuleerd als de aangepaste openingswetten A3 en A4 uit Tabel 24. In Figuur 94, Figuur 95 en Figuur 96 in Bijlage 3 is voor de simulatie met VUL_SLUIS de variatie in de tijd van het waterpeil in de kolk voorgesteld berekend bij toepassing van de originele openingswet en berekend met de aangepaste openingswet. Uit deze figuren volgt duidelijk de te snelle nivellering van de sluisolk bij toepassing van de originele openingswetten uit Tabel 22 en een goede overeenkomst wat betreft variatie in de tijd van het waterpeil in de sluisolk bij toepassing van de aangepaste openingswetten A3 en A4 uit Tabel 24.

Tabel 22 – Openingswet vlinderkleppen uit Vercruysse *et al.* (2015) en Vercruysse *et al.* (2016b)

	Openings- fase	Begin	Einde	Hoeksnelheid	Klephoek bij einde openingsfase
		[s]	[s]	[°/s]	[°]
Initiële openingswet	1	0	15	1.500	22.5
	2	15	45	0.220	29.1
	3	45	769	0.085	90.0
Alternatieve openingswet	1	0	7	1.500	10.5
	2	7	22	0.220	13.8
	3	22	780	0.085	78.2
	4	780	833	0.220	90.0

- Zeven van de 13 beschouwde nivelleringen betreffen nivelleringen bij afwezigheid van een schip in de sluisolk. In VUL_SLUIS en LOCKFILL moet altijd een schip in de sluisolk opgegeven worden in de inputfile. Om die reden is voor deze zeven nivelleringen een dummy-schip met lengte 10 m, breedte 1.0 m en diepgang 0.1 m beschouwd. Dit schip bevindt zich midden tussen diver 3 en diver 6.
- De blokcoëfficiënt van de aanwezige schepen in de sluisolk is niet gekend. Voor de eenvoud is voor alle schepen een waarde van de blokcoëfficiënt gelijk aan 0.90 beschouwd, onafhankelijk van het scheepstype.
- Voor de gegevens uit de terreinmeting is de waterspiegelhelling afgeleid uit de waterpeilen opgemeten ter plaatse van de divers. Voor een aantal terreinmetingen bevonden deze divers zich naast het schip in de sluisolk. Bij het uitvoeren van deze simulaties is een uitvoerlocatie beschouwd ter plaatse van boeg en/of hek van het schip in het geval de diver zich naast het schip bevond. De coördinaten van deze uitvoerpunten zijn in Tabel 25 aangeduid met een *.
- In hoofdstuk 3 is bij het uitvoeren van de simulaties ook de coëfficiënt CE_2 voor demping van translatiegolven verlaagd van 0.40 naar 0.05. Hierdoor vergrootte de amplitude van de berekende langskrachten op het schip in de kolk. Deze amplitude was wel nog kleiner dan de amplitude van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. Omwille van deze betere overeenkomst tussen berekende en in het schaalmodel opgemeten langskrachten op het schip in de kolk, wordt in dit hoofdstuk voor alle uitgevoerde simulaties ook de waarde 0.05 toegepast voor deze coëfficiënt.

Tabel 23 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt

Relatieve openingshoek	V1	V2
[°/90°]	[-]	[-]
0.00	0.000	0.00
0.100	0.005	0.02
0.200	0.023	0.045
0.300	0.061	0.085
0.400	0.115	0.170
0.500	0.190	0.270
0.600	0.290	0.410
0.700	0.400	0.560
0.800	0.520	0.690
0.900	0.620	0.740
0.960	0.660	0.740
1.000	0.680	0.740

Tabel 24 – Toegepaste openingswetten voor vlinderkleppen

A1		A2		A3		A4	
Tijd	Openings- snelheid	Tijd	openings- snelheid	Tijd	openings- snelheid	Tijd	openings- snelheid
[s]	[°/s]	[s]	[°/s]	[s]	[°/s]	[s]	[°/s]
0.000	3.500	0.000	3.200	0.000	1.500	0.000	1.500
11.000	3.500	12.000	3.200	15.000	1.500	7.000	1.500
11.001	0.000	12.001	0.000	15.001	0.170	7.001	0.220
70.000	0.000	180.000	0.000	45.000	0.170	22.000	0.220
70.001	3.000	180.001	3.000	45.001	0.070	22.001	0.085
80.000	3.000	192.000	3.000	400.000	0.070	240.000	0.085
80.001	0.000	192.001	0.000	400.001	0.080	240.001	0.070
140.000	0.000	346.000	0.000	600.000	0.080	450.000	0.070
140.001	2.600	346.001	2.400	600.001	0.090	450.001	0.085
145.000	2.600	350.000	2.400	790.000	0.010	780.000	0.085
>145.001	0.000	>350.001	0.000	900.000	0.010	>780.001	0.220
				>900.001	0.000		

Tabel 25 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Zemst

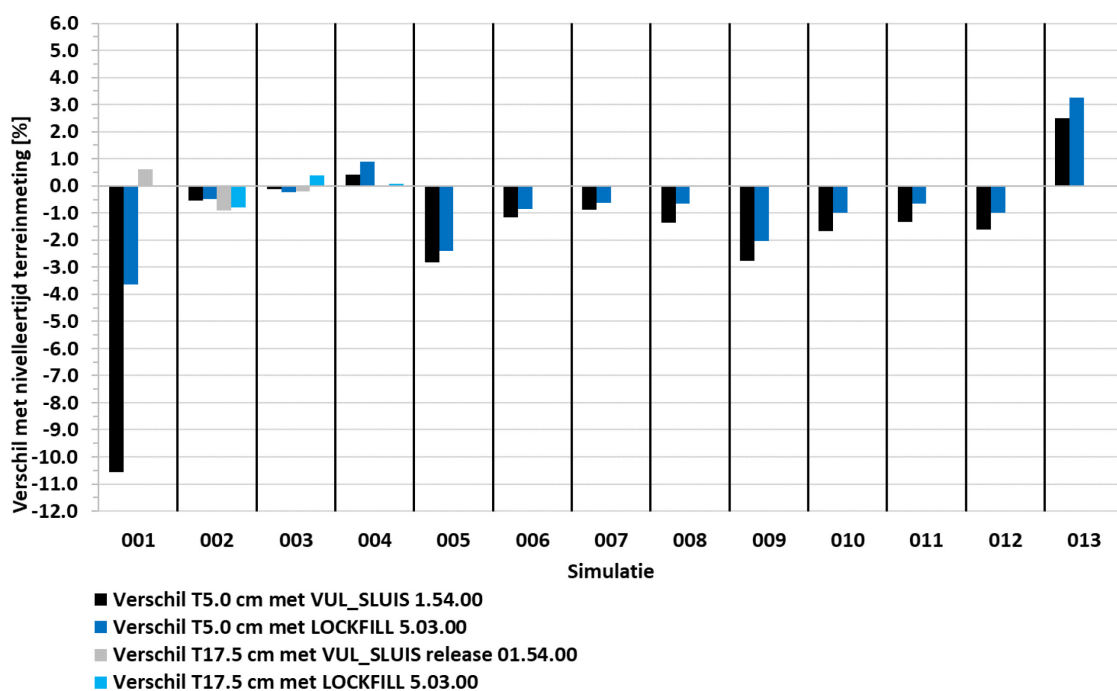
	Eenheid	001 tm2_1	002 tm2_2	003 tm2_3	004 tm2_4	005 20141104_1	006 20141104_2	007 20141104_3	008 20150924_1	009 20150924_2	010 20150924_3	011 20150924_4	012 20150924_5	013 20150924_6
OPWAARTS KANAALPAND														
Peil opwaarts pand	[mTAW]	13.37	13.33	13.41	13.37	13.09	13.27	13.19	13.22	13.21	13.20	13.21	13.18	13.07
SLUISKOLK														
Lengte sluisolk	[m]	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78	129.78
Breedte sluisolk	[m]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Bodempeil sluisolk	[mTAW]	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	4.61	4.49	4.64	4.57	4.28	4.34	4.46	4.44	4.48	4.55	4.55	4.49	4.57
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP														
Lengte	[m]	10.00	110.00	10.00	80.00	10.00	10.00	10.00	80	10.00	92.00	15.00	86	110.00
Breedte schip	[m]	1.00	10.50	1.00	8.90	1.00	1.00	1.00	9.5	1.00	11.00	4.50	9.5	11.45
Diepgang	[m]	0.10	3.20	0.10	2.30	0.10	0.10	0.10	2.45	0.10	2.50	0.50	3.7	3.60
Massa	[ton]	1.0	3326.0	1.0	1473.8	1.0	1.0	1.0	1675.8	1.0	2277.0	30.4	2720.6	4081
Hoek boeg in de verticale	[°]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Hoek boeg in de horizontale	[°]	90	45	90	45	90	90	90	45	90	45	45	45	45
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	50.00	0.80	50.00	12.30	50.00	50.00	50.00	15	50.00	15.00	65.0	5	2.50
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.001	0.177	0.001	0.107	0.001	0.001	0.001	0.123	0.001	0.144	0.012	0.185	0.215
HEFSCHUIVEN														
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Aantal openingen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diameter openingen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid	[m/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN														
Aantal vlinderkleppen	[-]	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Diameter cirkelvormige opening	[m]	0.90	1.63	0.90	0.90	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Klephoek gesloten stand	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klephoek open stand	[°]	84	84	84	84	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Minimale klephoek	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Afvoercoëfficiënt	[-]	V1	V1	V1	V1	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2
Openingssnelheid	[°/s]	A1	A2	A1	A1	A3	A3	A3	A4	A4	A4	A4	A4	A4
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.013	0.044	0.013	0.013	0.067	0.066	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064	0.065	0.064
Breekbalken														
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-1.45	-1.45	-1.45	-1.45	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	0.75	0.02	0.75	0.75	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	2.54	2.54	2.54	2.54	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur														
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten														
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	9.02	0.50*	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	4.90*	2.40*
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	92.02	111.00*	92.02	92.4*	92.02	92.02	92.02	95.01*	92.02	107.10*	92.02	92.02	112.60*

n.v.t. = niet van toepassing; * Uitvoerpunten zijn beschouwd ter plaatse van boeg of hek van het schip, aangezien de divers zich bevinden ter plaatse van het schip

4.3 Resultaten validatie

Voor de 13 beschouwde cases vergelijken Figuur 93 tot en met Figuur 96 in Bijlage 3 de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en de variatie in de tijd van het debiet door de openingen in de deur berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met deze opgemeten tijdens de terreinmeting. Voor deze vergelijking is in Tabel 49 in Bijlage 3 een overzicht gegeven van de berekende statistische parameters. Uit de figuren in Bijlage 3 volgt dat de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende waterstand in de sluiskolk goed overeenkomt met de tijdens de terreinmeting opgemeten waterstand. De bias varieert voor alle simulaties tussen -0.10 m en +0.17 m (met een gemiddelde waarde van 0.02 m), de root-mean-square error tussen 0.04 m en 0.20 m, en de standaardafwijking tussen 0.02 m en 0.10 m. Het met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende debiet vertoont een goede overeenkomst met het debiet afgeleid uit de terreinmeting. Bij simulatie 013 (Figuur 96 in Bijlage 3) wordt opgemerkt dat het debiet afgeleid uit de terreinmeting gedurende de eerste 30 s gelijk is aan 0. De goede overeenkomst tussen de berekende en opgemeten variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk is bekomen door de start van het openen van de vlinderkleppen in de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL te vertragen met 55 s. Voor alle simulaties volgt uit Tabel 49 in bijlage 3 dat het berekende debiet het opgemeten debiet beperkt onderschat.

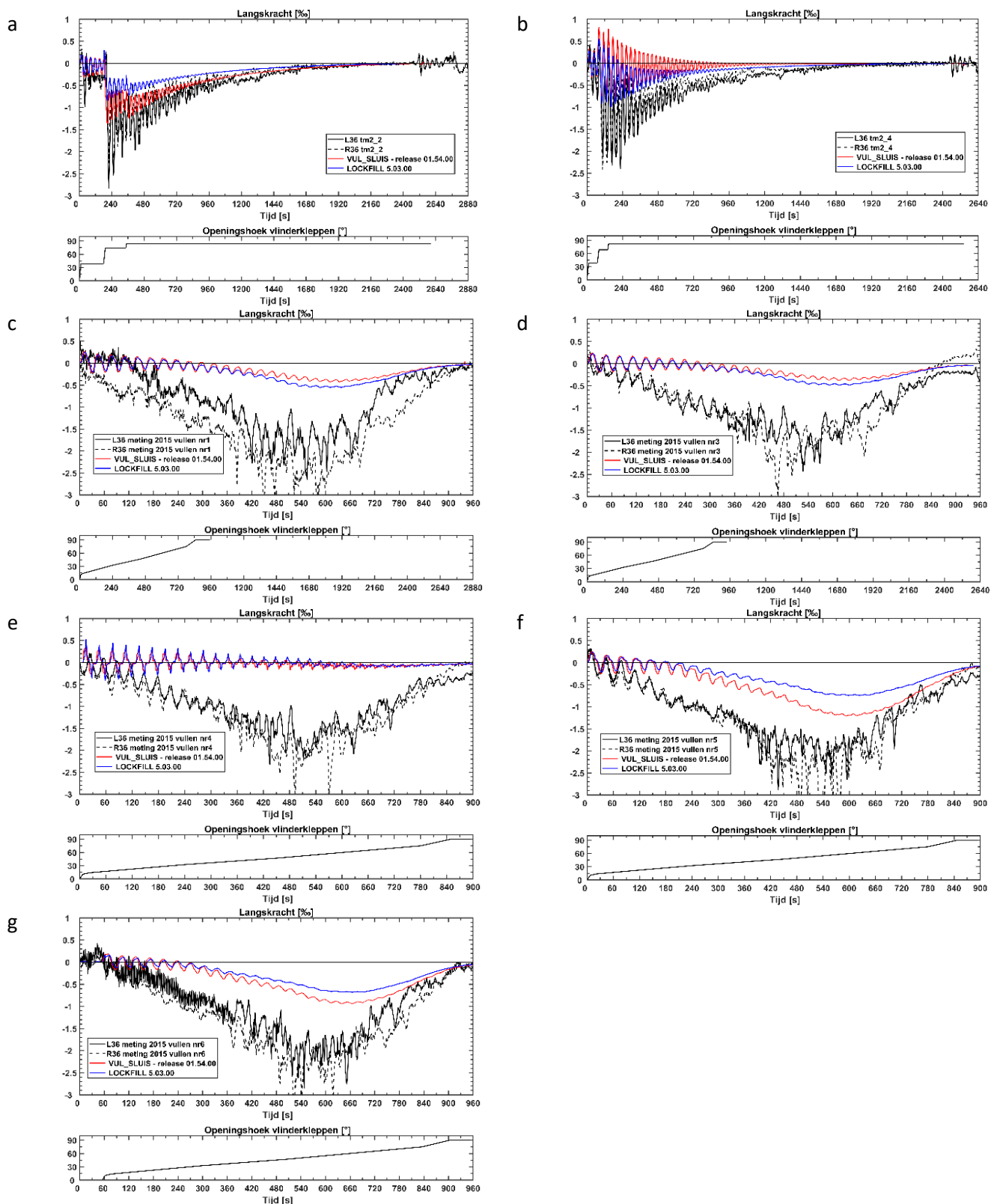
In Vercruysse *et al.* (2009) werden twee definities beschouwd voor het bepalen van de nivelleertijd. Enerzijds werd het einde nivelleren bepaald als het tijdstip waarop het restverval kleiner wordt dan 0.175 m, anderzijds werd voor einde nivelleren het tijdstip beschouwd waarop het restverval kleiner wordt dan 0.05 m. De eerste definitie is overgenomen uit het door WL uitgevoerde schaalmodelonderzoek voor de sluis van Zemst (zie ook hoofdstuk 3). Deze beide definities zijn ook toegepast bij simulaties 001, 002, 003 en 004. Bij de tweede terreinmeting, gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2016b), werd enkel de tweede definitie voor einde nivelleren beschouwd. Voor simulaties 005 tot en met 013 wordt bijgevolg ook enkel deze tweede definitie toegepast. Tabel 50 in Bijlage 3 vergelijkt voor simulaties 001, 002, 003 en 004 de nivelleertijd met restverval 0.175 m berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met deze uit de terreinmeting. In Tabel 51 wordt voor alle simulaties de nivelleertijd met restverval 0.05 m uit de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met deze uit de terreinmeting. Voor deze vergelijkingen wordt het procentuele verschil tussen de met het numeriek model berekende nivelleertijd en de nivelleertijd uit de terreinmeting grafisch voorgesteld in Figuur 26. Uit deze figuur volgt dat voor simulaties 001, 002, 003 en 004 het procentueel verschil in nivelleertijd met restverval 0.175 m tussen numeriek model en terreinmeting maximaal 1 % bedraagt. Bij de nivelleertijd met restverval 0.05 m worden voor alle simulaties beperkt grotere procentuele verschillen berekend. Met uitzondering van simulatie 001 bedragen de procentuele verschillen maximaal 3 %. Voor simulatie 001 bedraagt het procentueel verschil tussen de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en deze uit de terreinmeting 11 %, terwijl deze tussen de nivelleertijd berekend met LOCKFILL en deze uit de terreinmeting ca. 4 % bedraagt. Dit grote verschil tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL kan verklaard worden door de schommelingen in het waterpeil van het opwaarts pand. In de inputfile van VUL_SLUIS is het waterpeil opgegeven met een tijdstap van 1.0 s. Door de beperking van maximaal 40 lijnen voor de waterstand in het opwaarts pand in de inputfile van LOCKFILL is hierbij een tijdstap van 76.0 s beschouwd. Door deze grotere tijdstap worden de schommelingen in de opwaartse waterstand in de inputfile van LOCKFILL gedempt. Hierdoor is de nivelleertijd berekend met LOCKFILL beduidend hoger dan deze berekend met VUL_SLUIS. Met uitzondering van simulatie 004 en 013 is bij alle simulaties de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL een onderschatting van de nivelleertijd uit de terreinmeting.



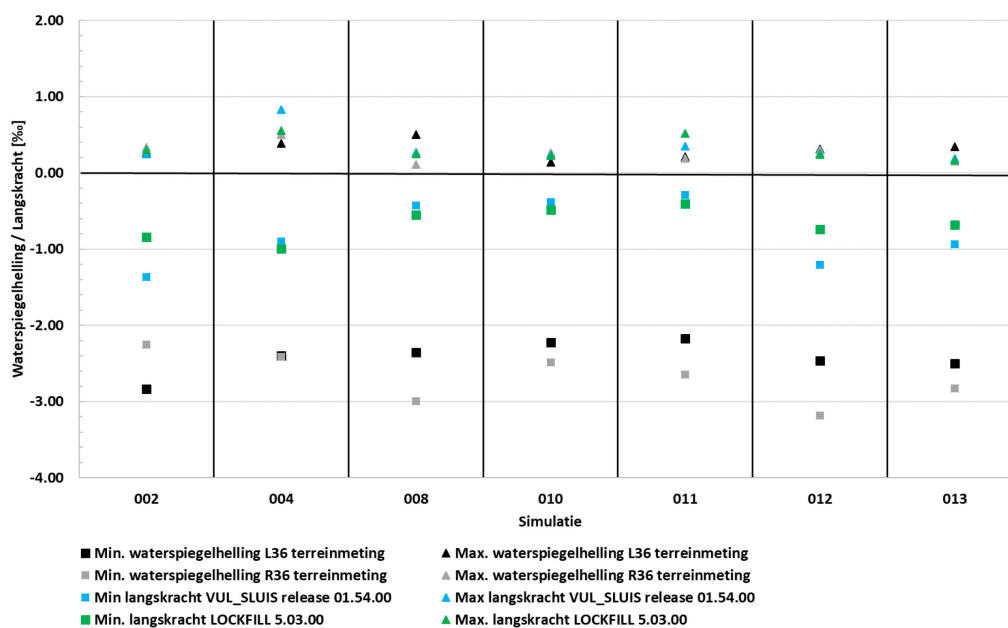
Figuur 26 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit terreinmeting en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Voor de simulaties waarbij een schip in de sluiscolk aanwezig is (simulaties 002, 004, 008, 010, 011, 012 en 013) vergelijkt Figuur 27 de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskracht op het schip met de waterspiegelhelling opgemeten tijdens de terreinmeting. Zoals vermeld in paragraaf 4.2 is voor een aantal simulaties het uitvoerpunt van de waterspiegelhelling beschouwd ter plaatse van boeg en hek van het schip, terwijl dit zich tijdens de terreinmeting naast het schip bevond. Tabel 52 in Bijlage 3 vergelijkt de extreme waarden van de waterspiegelhelling opgemeten tijdens de terreinmeting met de extreme waarden van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL. Deze extreme waarden zijn nog eens grafisch voorgesteld in Figuur 28. De procentuele verschillen tussen de extreme waarden van de waterspiegelhelling opgemeten tijdens de terreinmeting en de extreme waarden van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL zijn grafisch voorgesteld in Figuur 29.

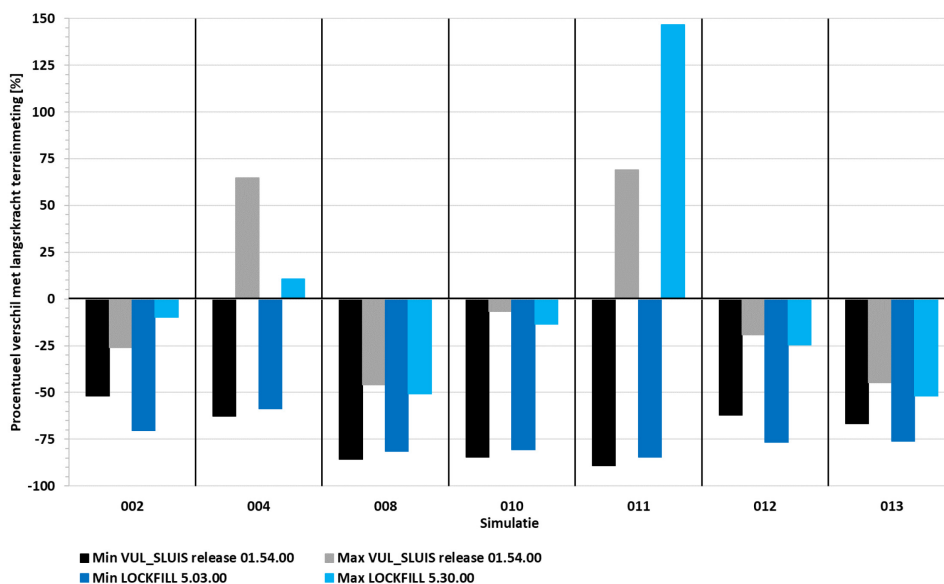
Uit Figuur 27 volgt dat de berekende langskracht op het schip een beduidende onderschatting is van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting. Voor een aantal simulaties, i.e. simulaties 002, 004, 010 en 012 wordt de eerste positieve piek van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting goed benaderd door de berekende langskracht op het schip. Dit volgt ook uit Figuur 28. De negatieve extrema van de opgemeten waterspiegelhelling worden voor alle simulaties onderschat met 50 à 75 %. Bij simulaties 002, 010 en 012 is de onderschatting van het positieve extremum lager dan 25 %. Bij simulatie 004 wordt de eerste positieve piek goed benaderd. Echter de stijging van de berekende langskrachten op het schip na de eerste stop in de openingswet zorgt voor een beduidende overschatting van het positieve extremum tot 65 %. Bij simulaties 008 en 013 wordt het positieve extremum van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting door de simulaties onderschat met ca. 50 %, bij simulatie 011 overschat met 65 à 150 %. Bij simulatie 011 en 013 (door het 55 s later starten van de opening van de vlinderkleppen) wordt vastgesteld dat de fasering van de berekende langskrachten op het schip niet gelijkloopt met deze van de opgemeten waterspiegelhellingen.



Figuur 27 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met waterspiegelhelling terreinmeting voor simulatie 002 (a), 004 (b), 008 (c), 010 (d), 011 (e), 012 (f) en 013 (g)



Figuur 28 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL

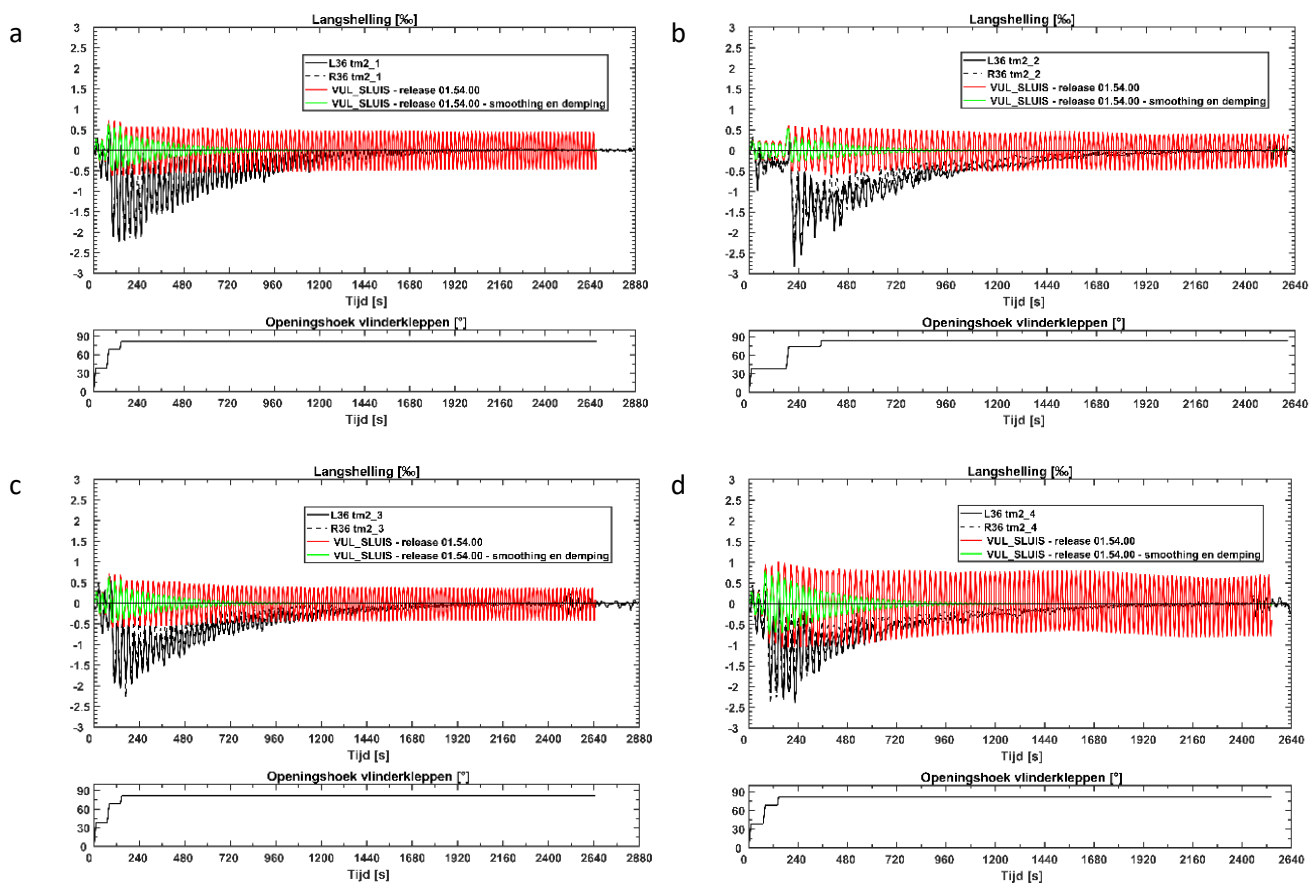


Figuur 29 – Procentuele verschillen tussen minimale en maximale waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de minimale en maximale waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting

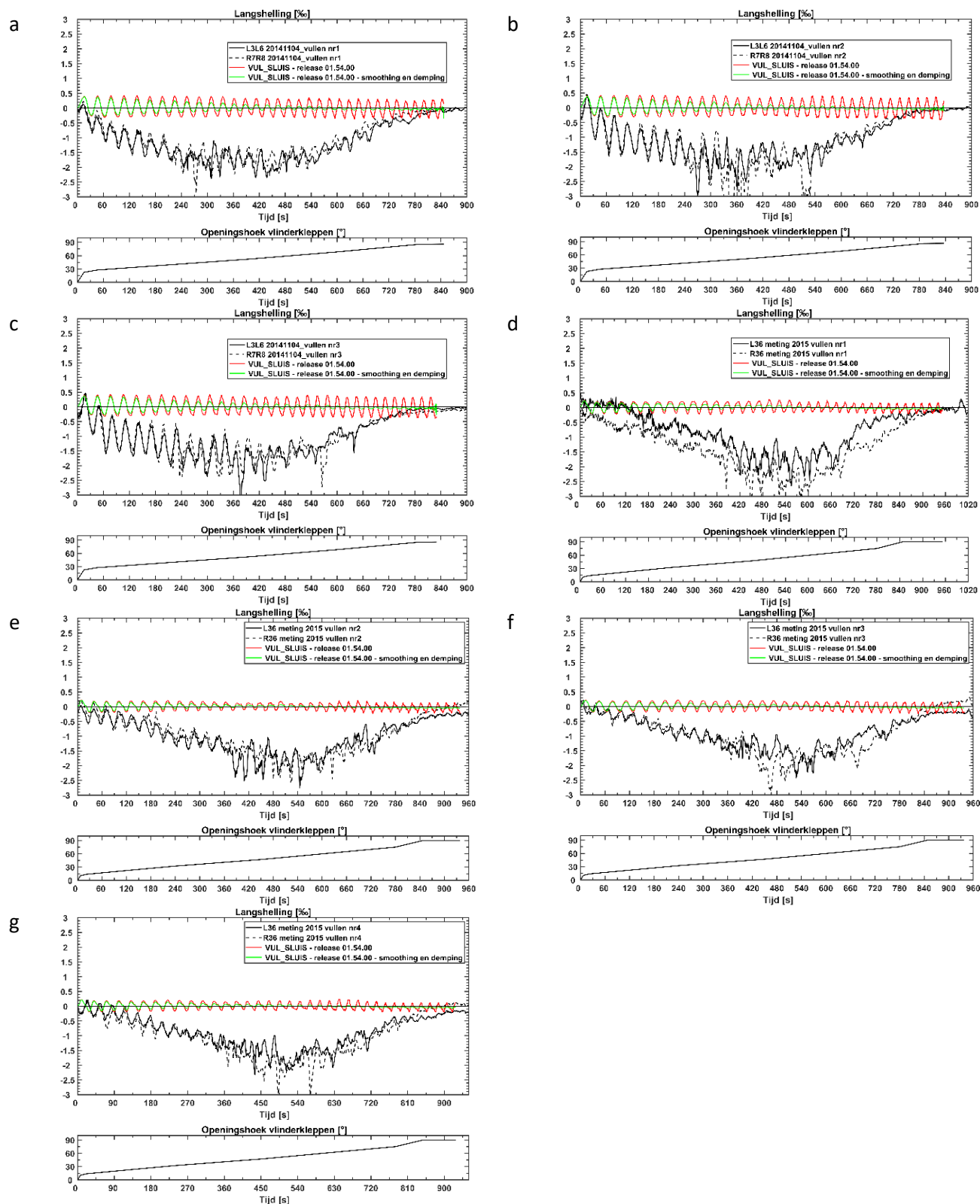
In de hierboven gegeven vergelijking werd de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met de tijdens de terreinmeting opgemeten waterspiegelhellingen. Bij de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS is ook de waterstand berekend ter plaatse van de tijdens de terreinmeting aanwezige divers.

Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32 vergelijken voor alle simulaties de variatie in de tijd van de waterspiegelhelling opgemeten tussen de uiterste aanwezige divers (L36/R36) en deze in dezelfde locaties berekend met VUL_SLUIS. Wat de berekende waterspiegelhellingen betreft, is zowel de waterspiegelhelling voorafgaand het uitvoeren van de smoothing en damping van translatiegolven voorgesteld, als de waterspiegelhelling na uitvoeren van smoothing en damping. Uit deze figuren volgt dat de berekende waterspiegelhellingen schommelen rond nul ten gevolge van de dominantie van de component van de translatiegolven. De opgemeten waterspiegelhellingen bevatten echter een beduidende negatieve component. Dit wijst op de aanwezigheid van een component ten gevolge van impulsafname. Zonder uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven worden de berekende waterspiegelhellingen niet gedempt. Na uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven worden deze gedempt. De damping is groter dan deze van de opgemeten waterspiegelhellingen.

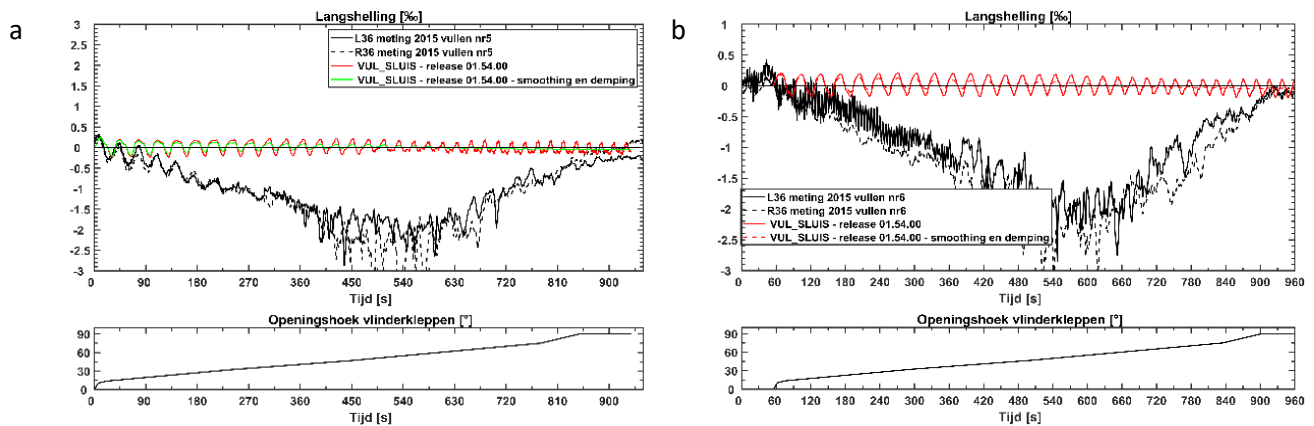
Figuur 33 vergelijkt de extreme waarden van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting met de extreme waarden van de waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS. De procentuele verschillen tussen de berekende en opgemeten waterspiegelhellingen zijn grafisch voorgesteld in Figuur 34. De getalwaarden van deze figuren zijn geven in Tabel 53 in Bijlage 3. Uit deze figuren volgt dat het negatieve extremum berekend met VUL_SLUIS een onderschatting (met 50 % à 95 %) is van het negatieve extremum van de opgemeten waterspiegelhellingen. Voor simulaties 001, 002, 003, 004, 005 en 011 worden de positieve extrema overschat tot 100 %. Bij de overige simulaties wordt het positieve extremum onderschat tot 55 %.



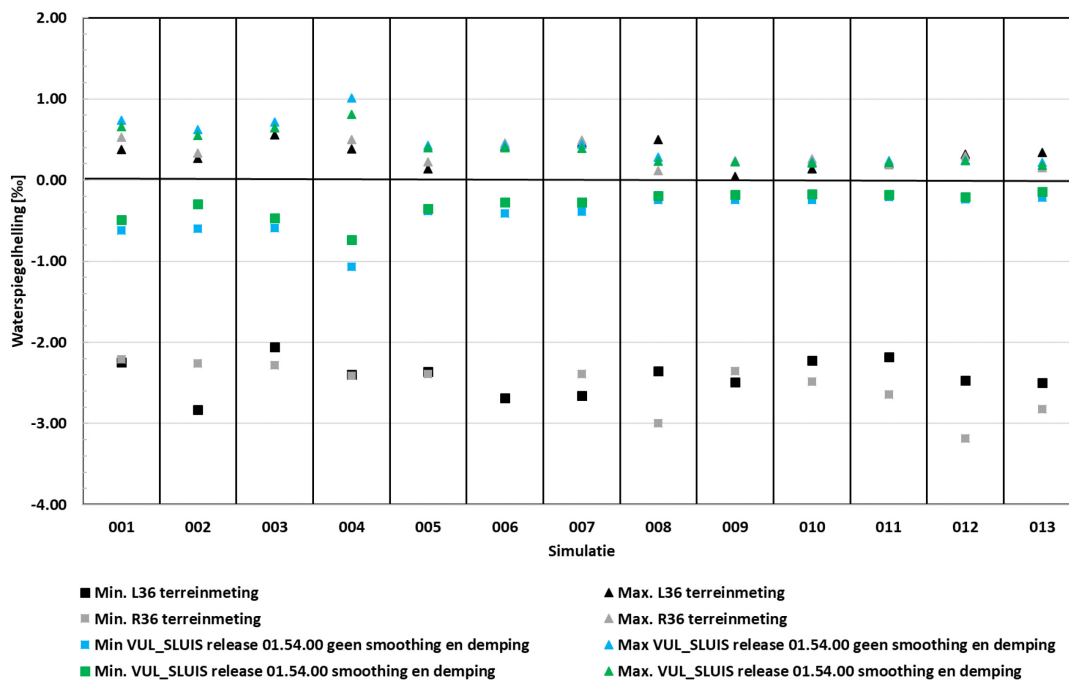
Figuur 30 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS met waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b), 003 (c) en 004 (d)



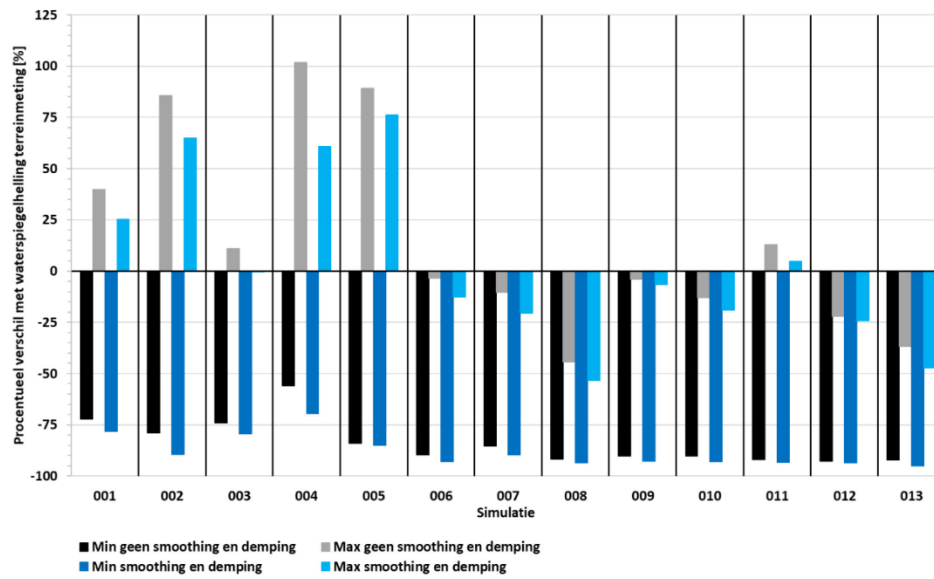
Figuur 31 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS met waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 005 (a), 006 (b), 007 (c), 008 (d), 009 (e), 010 (f) en 011 (g)



Figuur 32 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS met waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 012 (a) en 013 (b)



Figuur 33 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS



Figuur 34 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting

4.4 Samenvatting resultaten

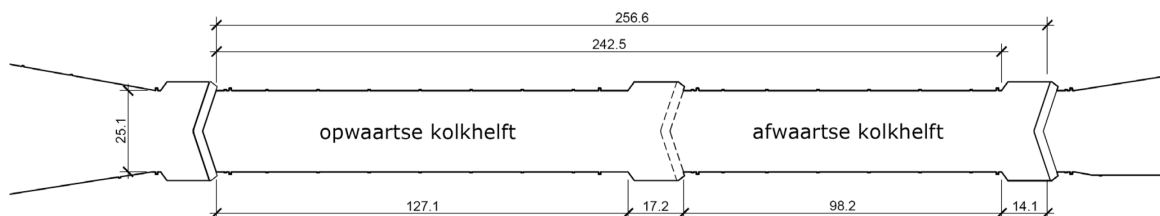
In vorige paragrafen werd het volgende besloten:

- Voor alle simulaties vertoont de variatie in de tijd van waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL een goede overeenkomst met de variatie in de tijd van waterpeil in de sluiskolk uit de terreinmetingen. De bias tussen berekende en opgemeten variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk varieert tussen -0.10 m en +0.17 m (met een gemiddelde waarde van 0.02 m). De variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen wordt bij alle simulaties zeer beperkt onderschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL.
- Wat de nivelleertijd met resterval 0.175 m betreft, bedraagt het procentueel verschil tussen de nivelleertijd berekend met LOCKFILL en VUL_SLUIS en de nivelleertijd uit de terreinmeting maximaal 1 %. Bij het beschouwen van de nivelleertijd met resterval 0.05 m worden beperkt grotere procentuele verschillen vastgesteld tussen de nivelleertijd berekend met LOCKFILL en VUL_SLUIS en de nivelleertijd uit de terreinmeting. De verklaring hiervoor zijn de schommelingen in het opwaarts waterpeil. Met uitzondering van twee simulaties is bij alle simulaties de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL een onderschatting van de nivelleertijd uit de terreinmeting.
- Voor de zeven simulaties waarbij één schip in de kolk aanwezig is, is de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskracht op het schip een beduidende onderschatting van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting. Voor een aantal simulaties wordt de eerste positieve piek van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting goed benaderd door de berekende langskracht op het schip. De negatieve extrema van de opgemeten waterspiegelhelling worden voor alle simulaties onderschat met 50 à 75 %. Het positieve extremum van de opgemeten waterspiegelhellingen wordt bij vijf van de zeven simulaties onderschat met 25 % à 50 %, bij één simulatie overschat met 65 % en bij één simulatie overschat met 65 % à 150 %. Met uitzondering van twee simulaties loopt de fasering van de berekende langskrachten gelijk met deze van de opgemeten waterspiegelhellingen.
- Worden de uiterste waterspiegelhellingen opgemeten tijdens de terreinmeting vergeleken met deze in dezelfde locaties berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL, dan volgt hieruit dat de berekende waterspiegelhellingen schommelen rond nul omwille van de dominantie van de translatiegolven. De opgemeten waterspiegelhellingen bevatten echter een beduidende negatieve component. Dit wijst op de aanwezigheid van een component ten gevolge van impulsafname. Zonder uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven worden de berekende waterspiegelhellingen niet gedempt. Na uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven worden deze gedempt. De damping is groter dan deze van de opgemeten waterspiegelhellingen. Het negatieve extremum van de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS is een beduidende onderschatting van het negatieve extremum van de opgemeten waterspiegelhellingen (met onderschattingen tussen 50 % en 95 %). Voor een aantal simulaties worden de positieve extrema overschat tot 100 %, bij de overige simulaties wordt het positieve extremum van de opgemeten waterspiegelhellingen door VUL_SLUIS en LOCKFILL onderschat tot 55 %.

5 Validatie met resultaten terreinmeting sluis Evergem

5.1 Algemeen

De tweede sluis van Evergem is sinds juni 2009 in dienst. Het betreft een sluis voor schepen CEMT klasse Vb. De sluis heeft een nuttige lengte van ca. 240 m en breedte van 25 m. Door middel van de deuren in het middenhoofd kan de sluis opgedeeld worden in een opwaartse kolkhelft met nuttige lengte 127 m en een afwaartse kolkhelft met nuttige lengte 98 m. Figuur 35 geeft een voorstelling van de kolkafmetingen van de sluis.



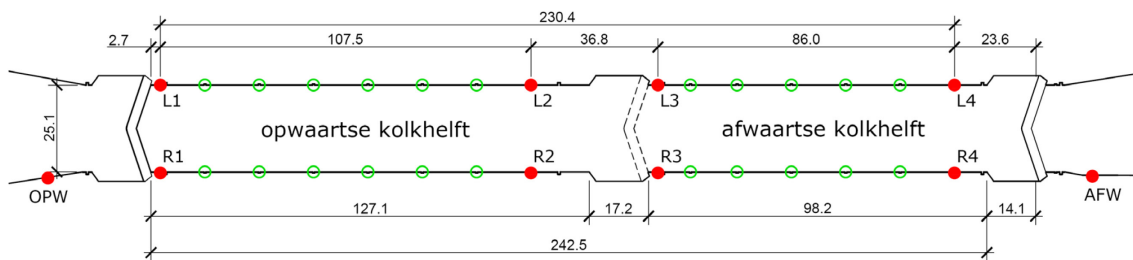
Figuur 35 – Kolkafmetingen tweede sluis Evergem

Het te nivelleren verval bedraagt in normale omstandigheden 1.16 m en in uitzonderlijke omstandigheden 3.05 m.

De sluisdeuren zijn van het type puntdeuren. Deze deuren zijn identiek voor de drie hoofden. Elke deur heeft 6 nivelleeropeningen met een cirkelvormige doorsnede (diameter 1.2 m) die per twee afgesloten worden met een rechthoekige hefschuif aan de opwaartse zijde van de deur. Aan de afwaartse zijde van de deur bevinden zich breekbalken om de inkomende waterstraal te breken.

In 2011 werd door WL een terreinmeting in de sluis van Evergem uitgevoerd. Tijdens deze terreinmeting werden op 8 locaties in de laddernissen van de sluiskolk druksensoren geplaatst. De locaties van deze druksensoren zijn afgebeeld in Figuur 36. Op basis van de waterstandsmetingen wordt de waterspiegelhelling tussen verschillende locaties berekend. Daarnaast is ook de openingswet van de hefschuiven van de openingen in de sluisdeur opgemeten. De terreinmeting is gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2011).

Tijdens de terreinmetingen zijn 58 nivelleringen opgemeten tussen 08/07/2011 10:40 en 09/07/2011 16:15. Tabel 26 geeft een overzicht van de verdeling van het type nivelleringen. De bewegingswet van de hefschuiven is gegeven in Tabel 27. In Tabel 28 is deze bewegingswet omgezet naar een openingssnelheid en openingsstap van de hefschuiven.



volle rode cirkel = laddernis met druksensor, holle groene cirkel = lege laddernis

Figuur 36 – Locatie druksensoren tijdens terreinmeting sluis Evergem

Tabel 26 – Verdeling nivelleringsen tijdens de terreinmeting

Nivelleringsen		Aantal
Totaal		58
Vullen	volledige kolk	16
	opwaartse kolkhelft	11
	afwaartse kolkhelft	3
Ledigen	volledige kolk	18
	opwaartse kolkhelft	9
	afwaartse kolkhelft	1

Tabel 27 – Bewegingswet hefschuiven

Tijd	Hefhoogte		Doorstroomopening	
	[s]	[m]	[m²]	[-]
0	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.25	0.21	0.17	0.15
55	0.25	0.21	0.17	0.15
67	0.40	0.33	0.33	0.29
94	0.40	0.33	0.33	0.29
105	0.55	0.46	0.51	0.45
133	0.55	0.46	0.51	0.45
146	0.72	0.60	0.71	0.63
165	0.72	0.60	0.71	0.63
198	1.20	1.00	1.13	1.00

Tabel 28 – Openingssnelheid en openingsstap van de hefschuiven

Tijd	Tussentijd	Openingssnelheid	Openingsstap
[s]	[s]	[m/s]	[m]
0-17	17	0.015	0.25
17-55	38	0.000	0.00
55-67	12	0.013	0.15
67-94	27	0.000	0.00
94-105	11	0.014	0.15
105-133	28	0.000	0.00
133-146	13	0.013	0.17
146-165	19	0.000	0.00
165-198	33	0.015	0.48

5.2 Geselecteerde cases voor validatie

Uit de in de sluis van Evergem uitgevoerde terreinmeting worden voor de validatie van LOCKFILL en VUL_SLUIS 16 nivelleringen beschouwd. Deze nivelleringen betreffen allemaal vullen van de volledige kolk via het bovenhoofd. Een overzicht van de inputparameters voor deze 16 beschouwde nivelleringen is gegeven in Tabel 30. Tabel 29 geeft de toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt en de openingswet van de hefschuiven, beide overgenomen uit Vercruysse *et al.* (2011).

Bij deze tabellen moet het volgende opgemerkt worden:

- In de inputfile van de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL is de variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil uit de terreinmeting opgegeven. In VUL_SLUIS is hiervoor een tijdstap van 3.0 s beschouwd. Omwille van de beperking van de tabel met het opwaarts waterpeil tot 40 lijnen is in de inputfile van LOCKFILL een tijdstap van 18 s beschouwd. In Tabel 30 is ter informatie voor het opwaarts waterpeil de waarde op het tijdstip $t = 0.0$ s gegeven.
- Simulaties 003, 004, 005, 007, 008, 010, 012, 014, 015 en 016 betreffen nivelleringen bij afwezigheid van een schip in de sluiskolk. In VUL_SLUIS en LOCKFILL moet altijd een schip in de sluiskolk opgegeven worden in de inputfile. Om die reden is voor deze 7 nivelleringen een dummy-schip met lengte 10 m, breedte 1.0 m en diepgang 0.1 m beschouwd. Dit schip bevindt zich midden tussen diver 1 en diver 4.
- De blokcoëfficiënt van de aanwezige schepen in de sluiskolk is niet gekend. Voor de eenvoud is voor alle schepen een waarde van de blokcoëfficiënt gelijk aan 0.90 beschouwd, onafhankelijk van het scheepstype.
- Voor de gegevens uit de terreinmeting is de waterspiegelhelling afgeleid uit de waterpeilen opgemeten ter plaatse van de divers. Bij het uitvoeren van de simulaties is altijd diver 1 en diver 4 als opwaartse en afwaartse extra uitvoerlocatie voor de waterpeilen beschouwd. Indien het schip zich tussen diver 1 en 3 bevond, dan werden ook deze locaties als extra uitvoerlocatie beschouwd.
- Analooq als in hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 is voor alle met VUL_SLUIS uitgevoerde simulaties de waarde van de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven verlaagd van 0.40 naar 0.05.

Tabel 29 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt en openingswetten voor hefschuiven

Afvoercoëfficiënt		Openingswet hefschuiven	
Relatieve hefhoogte	V1	Tijd	Openingsnelheid
[m/m]	[-]	[s]	[m/s]
0.00	1.00	0.00	0.015
0.100	0.99	17.00	0.015
0.200	0.98	17.01	0.000
0.300	0.91	55.00	0.000
0.400	0.89	55.01	0.013
0.500	0.81	67.00	0.013
0.600	0.74	67.01	0.000
0.700	0.67	94.00	0.000
0.800	0.66	94.01	0.014
0.900	0.64	105.00	0.014
1.000	0.64	105.01	0.000
		133.00	0.000
		133.01	0.013
		146.00	0.013
		146.01	0.000
		165.00	0.000
		> 165.01	0.015

Tabel 30 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Evergem

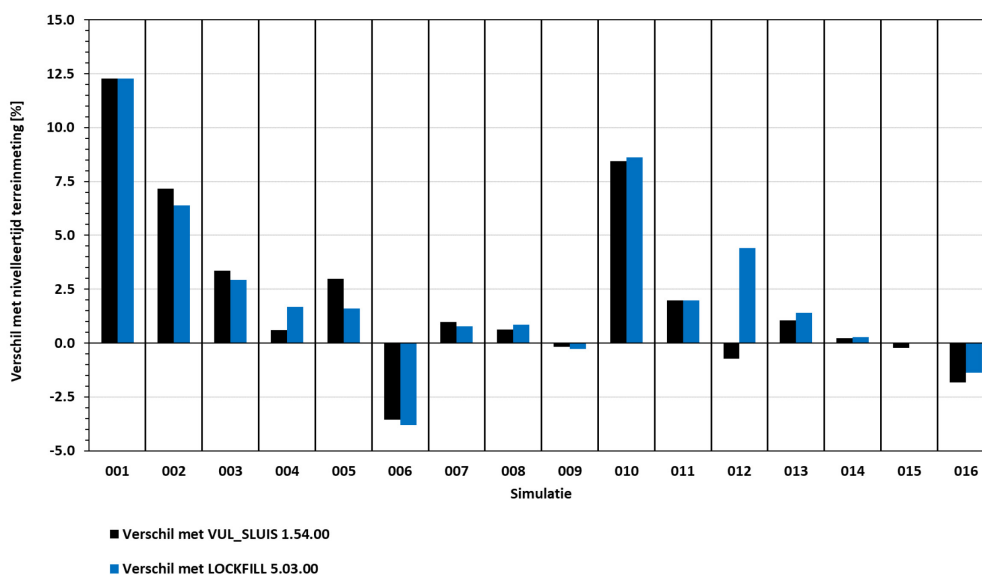
	Eenheid	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016
		Nivellering 02	Nivellering 04	Nivellering 06	Nivellering 08	Nivellering 10	Nivellering 12	Nivellering 14	Nivellering 16	Nivellering 18	Nivellering 20	Nivellering 22	Nivellering 24	Nivellering 26	Nivellering 49	Nivellering 54	Nivellering 56
		Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd	Vullen bovenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND																	
Peil opwaarts pand	[mTAW]	5.71	5.67	5.70	5.69	5.67	5.69	5.70	5.66	5.64	5.66	5.64	5.60	5.61	5.60	5.59	5.56
SLUISKOLK																	
Lengte sluisolk	[m]	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6	256.6
Breedte sluisolk	[m]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Bodempeil sluisolk	[mTAW]	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	4.69	4.63	4.61	4.61	4.73	4.62	4.60	4.68	4.62	4.62	4.61	4.65	4.63	4.52	4.55	4.68
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP																	
Lengte	[m]	86.00	57.00	10.00	10.00	10.00	99.00	10.00	10.00	85.90	10.00	86.00	10.00	86.00	10.00	10.00	10.00
Breedte schip	[m]	9.50	7.70	1.00	1.00	1.00	9.57	1.00	1.00	9.50	1.00	10.56	1.00	10.49	1.00	1.00	1.00
Diepgang	[m]	2.60	2.50	0.10	0.10	0.10	2.70	0.10	0.10	3.57	0.10	3.60	0.10	3.86	0.10	0.10	0.10
Massa	[ton]	1911.7	987.5	1.0	1.0	1.0	2302.0	1.0	1.0	2621.9	1.0	2942.0	1.0	3134.0	1.0	1.0	1.0
Hoek boeg in de verticale	[°]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45	45	90	90	90	45	90	90	45	90	45	90	45	90	90	90
Afstand boeg tot vuideur	[m]	25.0	8.7	50.0	50.0	50.0	7.5	50.0	50.0	2.5	50.0	30.0	50.0	13.2	50.0	50.0	50.0
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.19	0.15	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.26	0.00	0.29	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00
HEFSCHUIVEN																	
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Type vulopeningen	[-]	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig
Aantal openingen	[-]	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Diameter openingen	[m]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Afvoercoëfficiënt	[-]	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Openingssnelheid vh	[m/s]	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.104	0.105	0.105	0.105	0.103	0.105	0.105	0.104	0.105	0.105	0.105	0.104	0.105	0.107	0.107	0.104
VLINDERKLEPPEN																	
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diameter vulopening (cirkelvormige opening)	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek gesloten stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek open stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid $v_{h1} / v_{h2} / v_{h3}$	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Breekbalken																	
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Oppervlakte vulstraat juist na breekbalken	[m²]	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57	13.57
Hoek van de vulstraat met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur																	
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten																	
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 1	[m]	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 1	[m]	233.0	110.2	110.2	110.2	110.2	110.2	110.2	110.2	110.2	110.2	233.0	110.2	110.2	110.2	110.2	110.2
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 2	[m]	n.v.t.	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	n.v.t.	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 2	[m]	n.v.t.	233.0	233.0	233.0	233.0	233.0	233.0	233.0	233.0	233.0	n.v.t.	233.0	233.0	233.0	233.0	233.0

n.v.t. = niet van toepassing

5.3 Resultaten validatie

Voor de 16 beschouwde cases vergelijken Figuur 97 tot en met Figuur 101 in Bijlage 4 de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en de variatie in de tijd van het debiet door de openingen in de sluisdeur berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met deze opgemeten in de sluiskolk tijdens de terreinmeting in de sluis van Evergem. Voor deze vergelijking is in Tabel 54 in Bijlage 4 een overzicht gegeven van de berekende statistische parameters. Uit de figuren in Bijlage 4 volgt dat de variatie in de tijd van de berekende waterstand relatief goed overeenkomt met deze opgemeten tijdens de terreinmeting. In het midden van de nivellering wordt een beperkte overschatting van het opgemeten waterpeil in de sluiskolk vastgesteld. Naar het einde van de nivellering toe is het waterpeil berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL bij een aantal simulaties een beperkte onderschatting van het opgemeten waterpeil (simulaties 001, 002, 003). Bij de andere simulaties valt het berekende waterpeil samen met het opgemeten waterpeil in de sluiskolk. De bias tussen opgemeten en berekende variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk bedraagt maximaal 0.04 m, de root-mean-square error varieert tussen 0.02 m en 0.05 m en de standaardafwijking tussen 0.02 m en 0.03 m. Het globale verloop van de variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL komt relatief goed overeen met dit van de variatie in de tijd van het debiet tijdens de terreinmeting. Echter het verloop van het berekende debiet tijdens een stop van de openingswet is eerder constant in de tijd tot licht afnemend, terwijl dit bij het opgemeten debiet, met uitzondering van de eerste stop eerder een schommelend verloop is. Het met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende debiet door de nivelleeropeningen onderschat voor alle simulaties het debiet dat volgt uit de terreinmetingen.

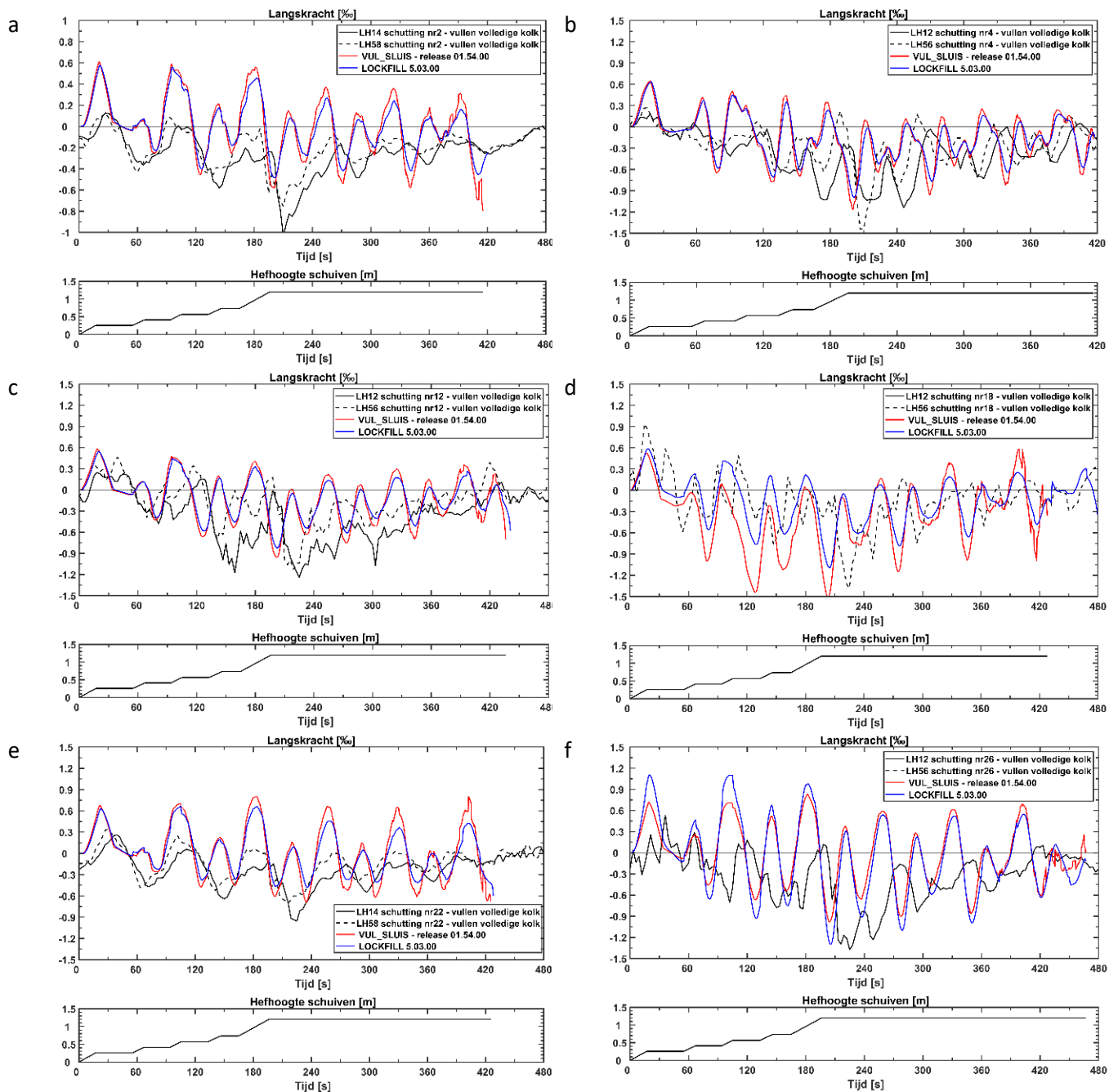
Voor het bepalen van de nivelleertijd wordt in Vercruysse *et al.* (2011) het einde nivelleren bepaald als het tijdstip waarop het resterval kleiner wordt dan 0.05 m. Ook voor de numerieke berekeningen wordt deze definitie beschouwd voor het bepalen van de nivelleertijd. In Tabel 55 in Bijlage 4 wordt voor alle simulaties de nivelleertijd met resterval 0.05 m uit de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met deze uit de terreinmeting. Voor deze vergelijkingen wordt het procentuele verschil tussen de met het numeriek model berekende nivelleertijd en de nivelleertijd uit de terreinmeting grafisch voorgesteld in Figuur 37. Met uitzondering van simulaties 001, 002 en 010 is het procentueel verschil tussen de nivelleertijd uit de simulaties en deze uit de terreinmeting kleiner of gelijk aan 4 %. Bij simulaties 001, 002 en 010 worden procentuele verschillen berekend tussen 7.2 % en 12.3 %. Over het algemeen is de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL een overschatting van de nivelleertijd uit de terreinmeting. Enkel bij simulaties 006, 009, 015 en 016 wordt de nivelleertijd beperkt onderschat. Bij simulatie 012 wordt vastgesteld dat het procentueel verschil voor VUL_SLUIS beperkt negatief is en voor LOCKFILL positief. Dit verschil tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wordt verklaard door de wijze waarop het opwaarts waterpeil in de inputfile is ingegeven. Zoals vermeld in paragraaf 5.2 wordt in de inputfile van VUL_SLUIS het opwaarts waterpeil opgegeven met een tijdstap van 3.0 s en in de inputfile van LOCKFILL met een tijdstap van 18.0 s omwille van de beperking van de tabel voor het opwaarts waterpeil tot 40 lijnen. De grotere tijdstap in LOCKFILL zorgt ervoor dat schommelingen van het waterpeil in het opwaarts pand uitgedempt worden. Hierdoor wordt het verschil tussen het waterpeil in de sluiskolk en het opwaarts waterpeil groter en wordt bijgevolg een beperkt grotere nivelleertijd berekend.



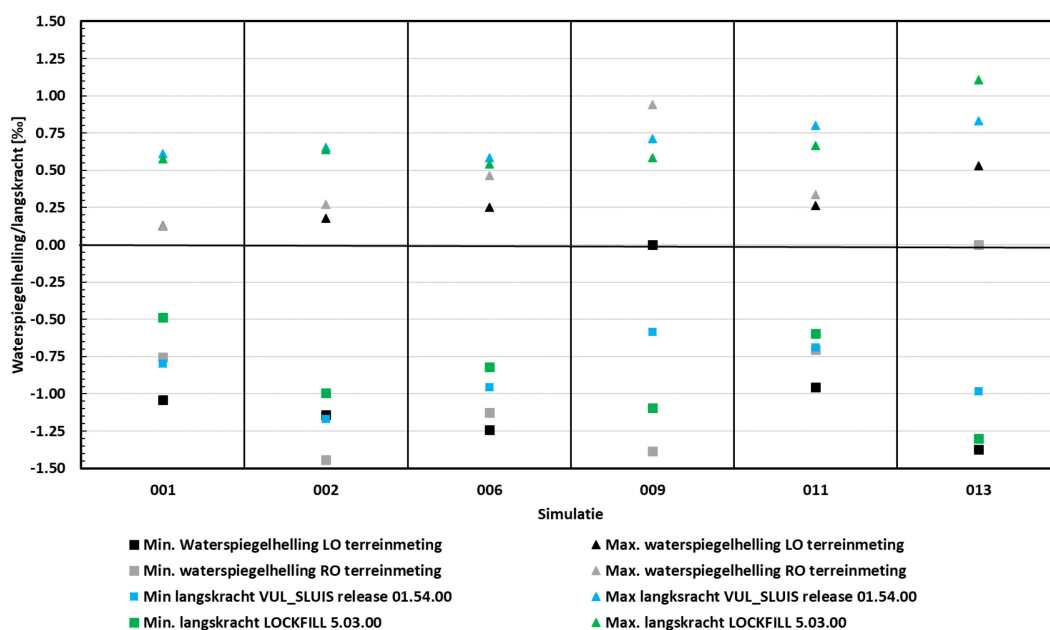
Figuur 37 – Procentueel verschil tussen niveleertijd uit terreinmeting en niveleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Voor zes simulaties waarbij in de sluiscolk één schip aanwezig is, i.e. simulatie 001, 002, 006, 009, 011 en 013, vergelijkt Figuur 38 de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met de waterspiegelhelling opgemeten tijdens de terreinmeting. Met uitzondering van simulaties 001 en 011 wordt de langskracht vergeleken met de waterspiegelhellingen opgemeten tussen divers 1 en 2. Dit zijn de divers die zich tijdens de terreinmeting het dichtst bij boeg en hek van het schip bevonden. Bij simulaties 001 en 011 bevindt diver 2 zich naast het schip. Om die reden zijn voor deze simulaties divers 1 en 4 beschouwd voor de vergelijking met de berekende langskrachten. Deze divers bevinden zich aan het uiteinde van de sluiscolk, waardoor in vergelijking met de andere simulaties de tussenafstand tussen de divers en boeg en hek van het schip beduidend groter is. Voor al deze simulaties geeft Tabel 56 in Bijlage 4 en Figuur 39 een overzicht van de extreme waarden van de berekende langskracht op het schip en de extreme waarden van de opgemeten waterspiegelhellingen. De procentuele verschillen tussen de extreme waarden van de langskracht berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL en de extreme waarden van de opgemeten waterspiegelhellingen zijn grafisch voorgesteld in Figuur 40.

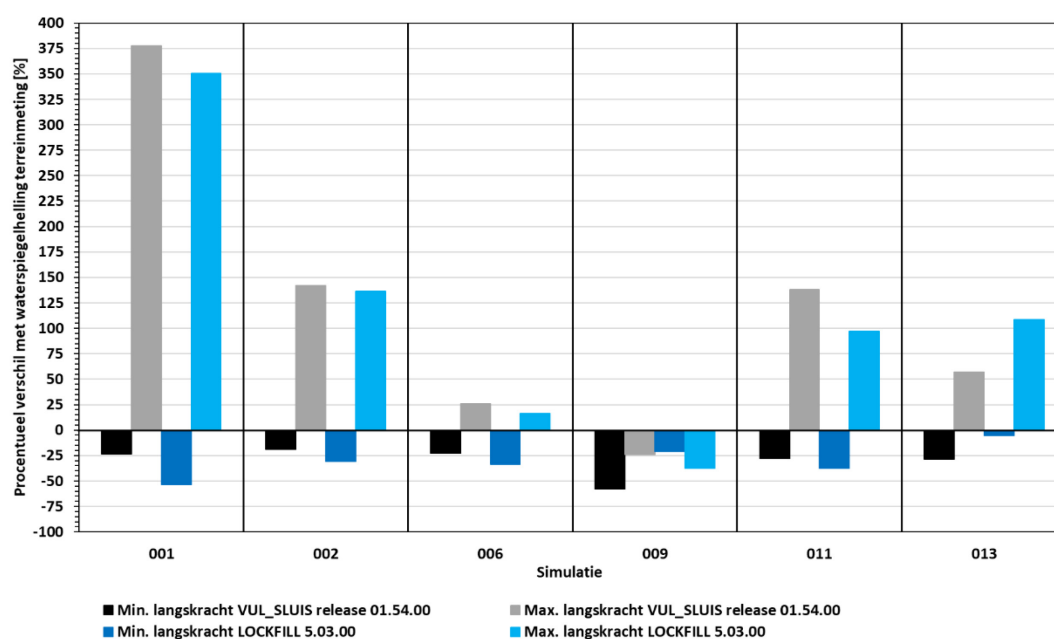
Uit Figuur 38 volgt dat enkel voor simulaties 002 en 009 de eerste piek van de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskrachten samenvalt met de piek van de opgemeten waterspiegelhellingen. Bij de overige simulaties wordt een beperkte tijdsverschuiving vastgesteld tussen de eerste piek van de met VUL_SLUIS LOCKFILL berekende langskrachten en de piek van de opgemeten waterspiegelhellingen. Bij de meeste van deze simulaties wordt vastgesteld dat tussen een aantal pieken in de langskracht ook een aantal kleinere pieken aanwezig zijn, dewelke niet worden waargenomen in de opgemeten waterspiegelhellingen. De negatieve extrema van de met VUL_SLUIS en met LOCKFILL berekende langskracht zijn voor alle simulaties een onderschatting (met 20 % à 60 %) van de negatieve extrema van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting. Met uitzondering van simulatie 009 wordt het positieve extremum van de opgemeten waterspiegelhelling voor alle simulaties overschat door VUL_SLUIS. De overschatting bedraagt maximaal 125 % voor simulaties 002, 006, 011 en 013. Bij simulatie 001 bedraagt de overschatting 378 %. Deze overschatting kan mogelijk verklaard worden door het feit dat de tussenafstand tussen diver 1 en diver 4 bij de terreinmeting beduidend groter is dan de tussenafstand tussen boeg en hek van het schip.



Figuur 38 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b), 006 (c), 009 (d), 011 (e) en 013 (f)



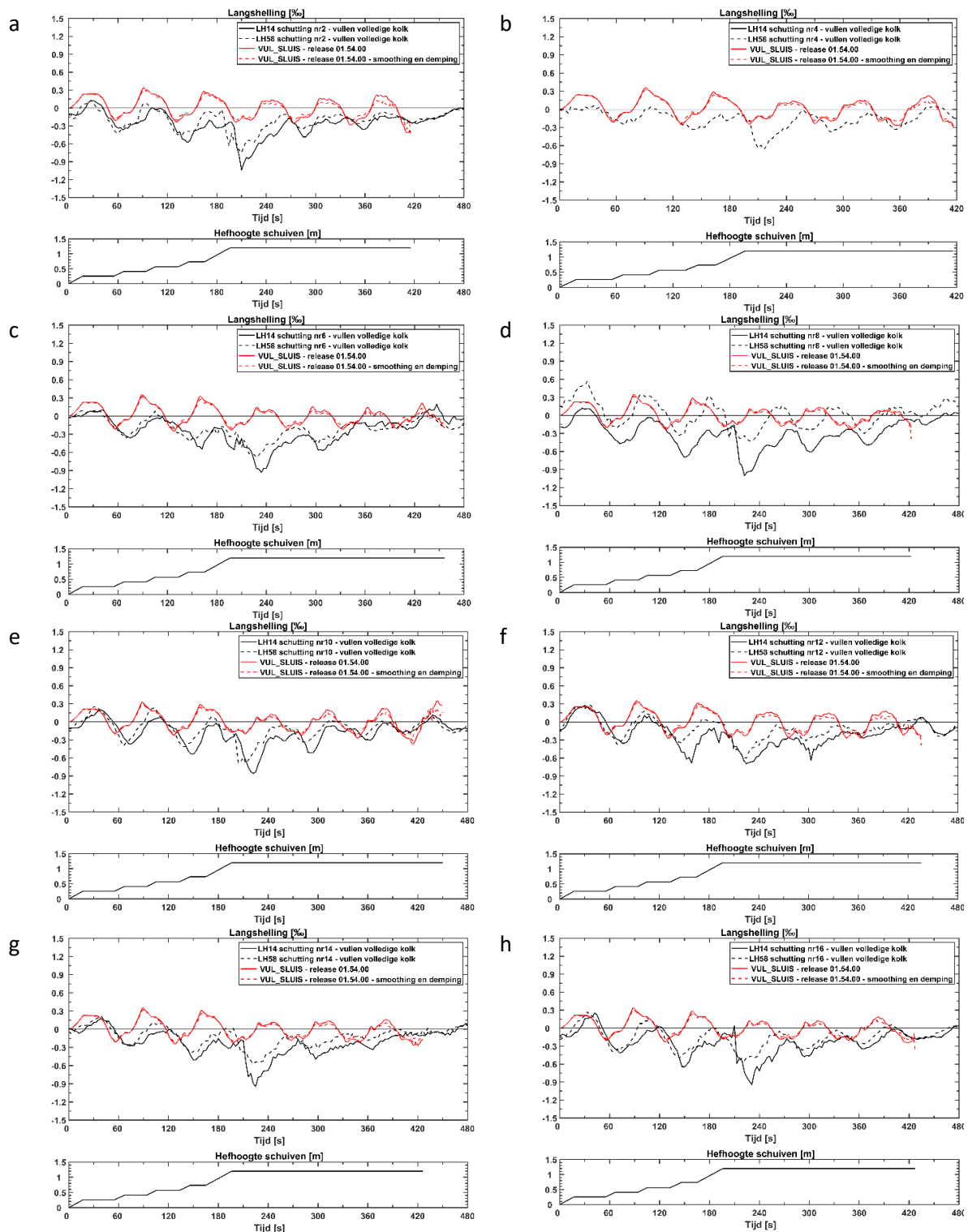
Figuur 39 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL



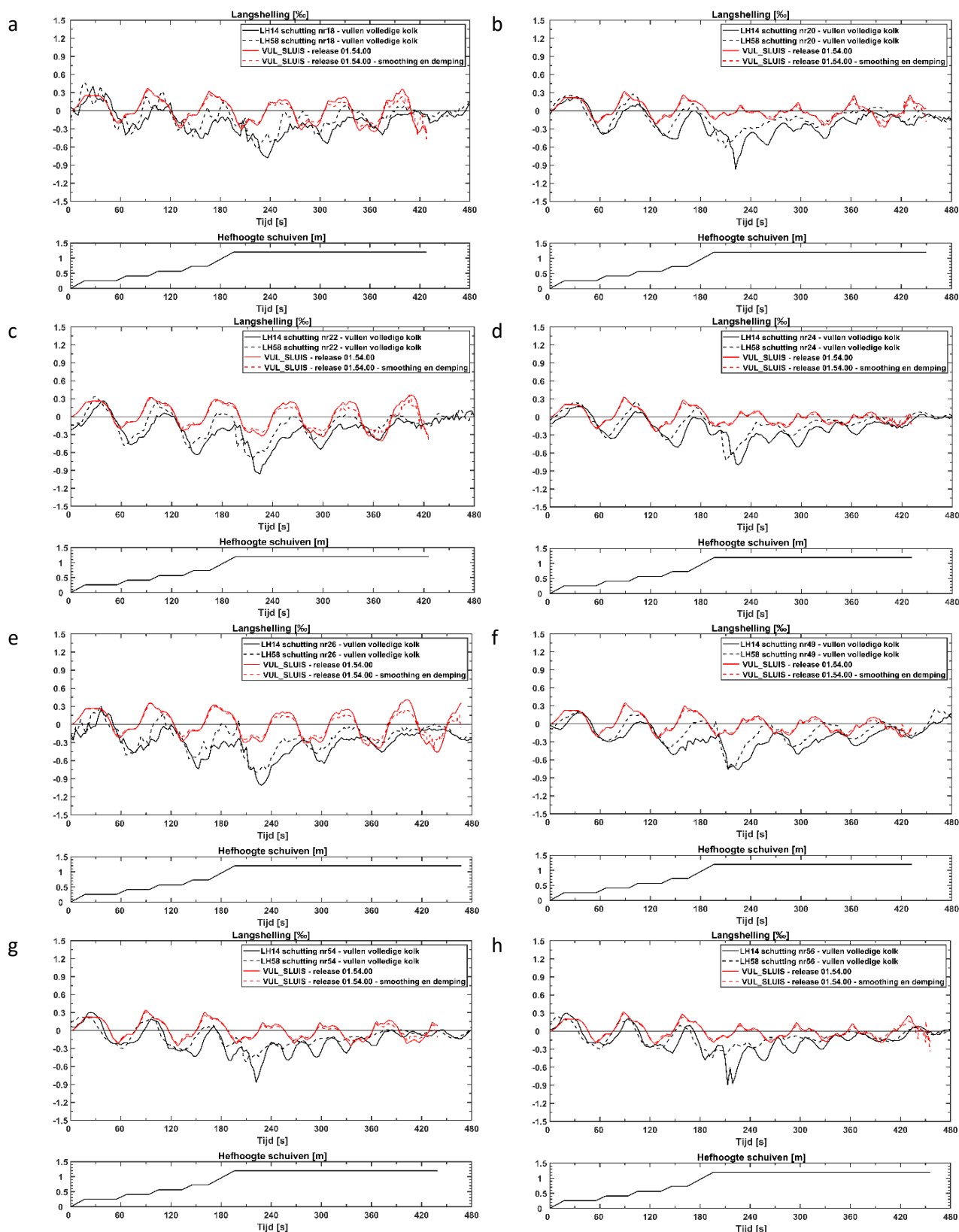
Figuur 40 – Procentuele verschillen tussen minimale en maximale waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de minimale en maximale waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting

Analoog als in hoofdstuk 4 wordt ook in dit hoofdstuk een vergelijking gemaakt van de waterspiegelhelling tussen twee divers uit de terreinmeting en de met VUL_SLUIS tussen dezelfde locaties berekende waterspiegelhelling. Dit is voor alle simulaties zowel uitgevoerd voor de end-to-end waterspiegelhelling L14/R14 (Figuur 41 en Figuur 42), als voor de end-to-middle waterspiegelhelling L12/R12 (Figuur 43 en Figuur 44). De locaties van de divers L1, R1, L2, R2, L4 en R4 die beschouwd zijn voor het bepalen van de waterspiegelhellingen uit de terreinmetingen zijn voorgesteld in Figuur 36 in paragraaf 5.1.

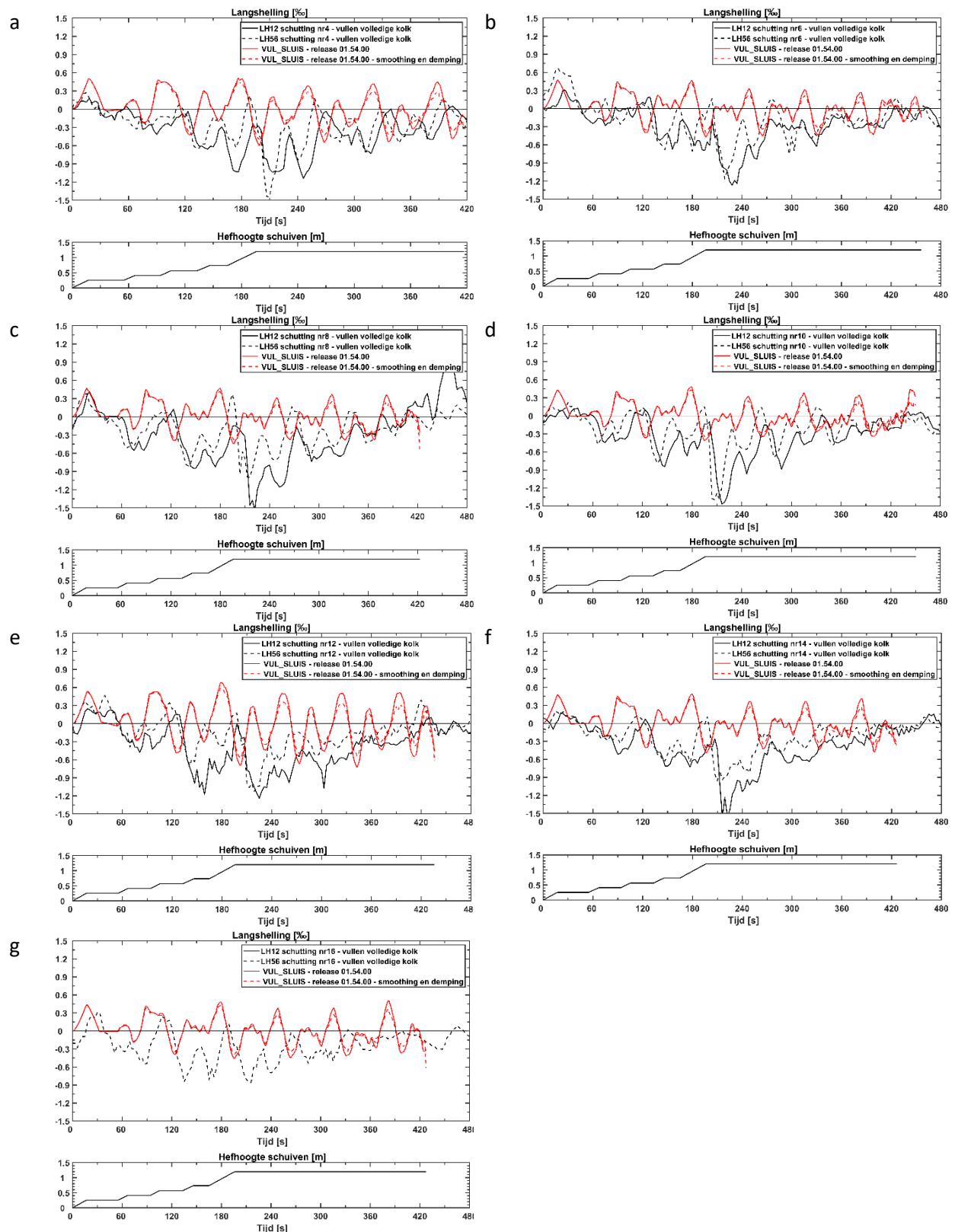
Tabel 57 in Bijlage 4 en Figuur 45 vergelijken de extreme waarden van de waterspiegelhelling L14/R14 en L12/R12 uit de terreinmeting met deze van de waterspiegelhelling berekend tussen dezelfde locaties met VUL_SLUIS. Het procentuele verschil tussen de extreme waarden van de opgemeten en berekende waterspiegelhellingen is grafisch voorgesteld in Figuur 46.



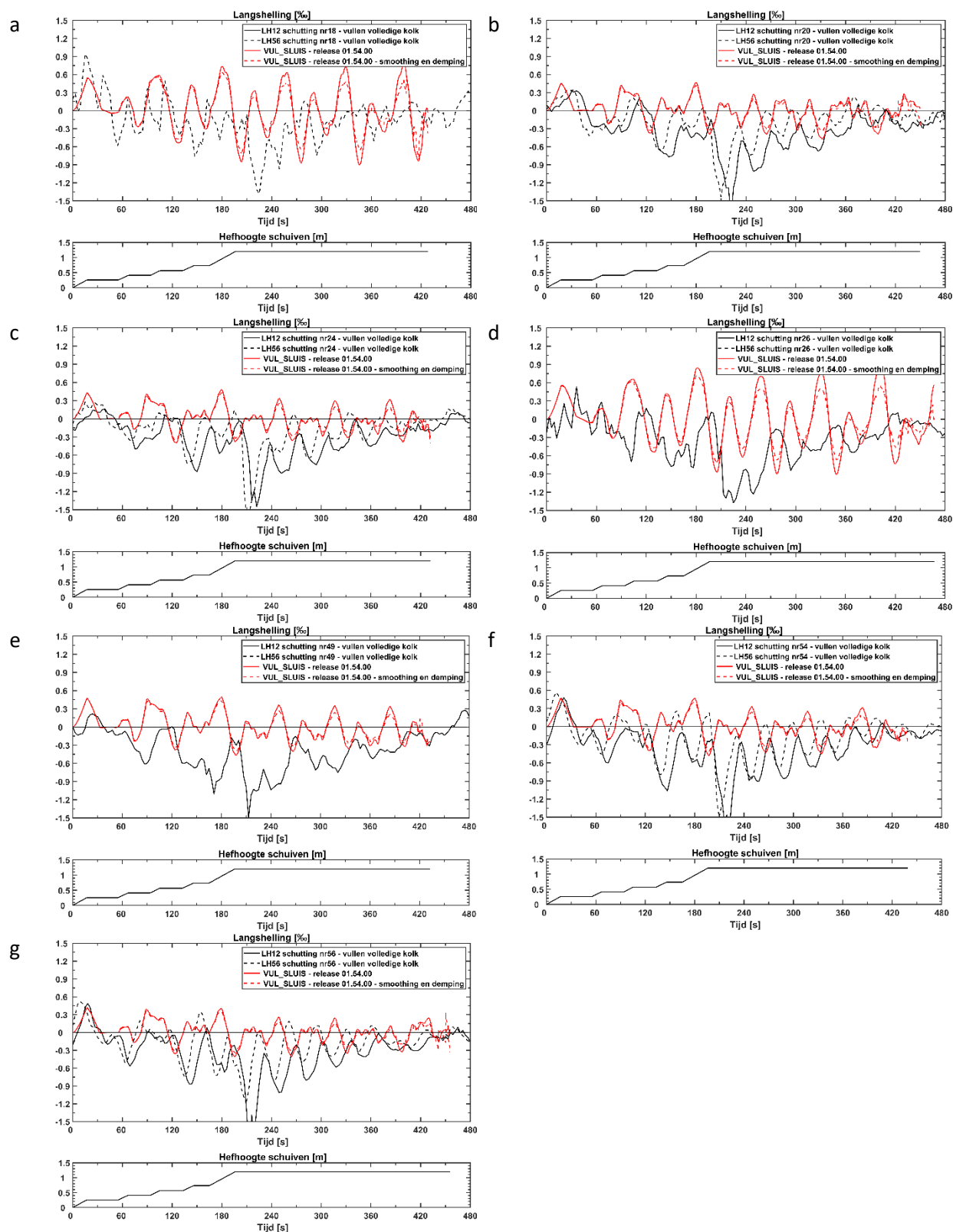
Figuur 41 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L14 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e), 006 (f), 007 (g) en 008 (h)



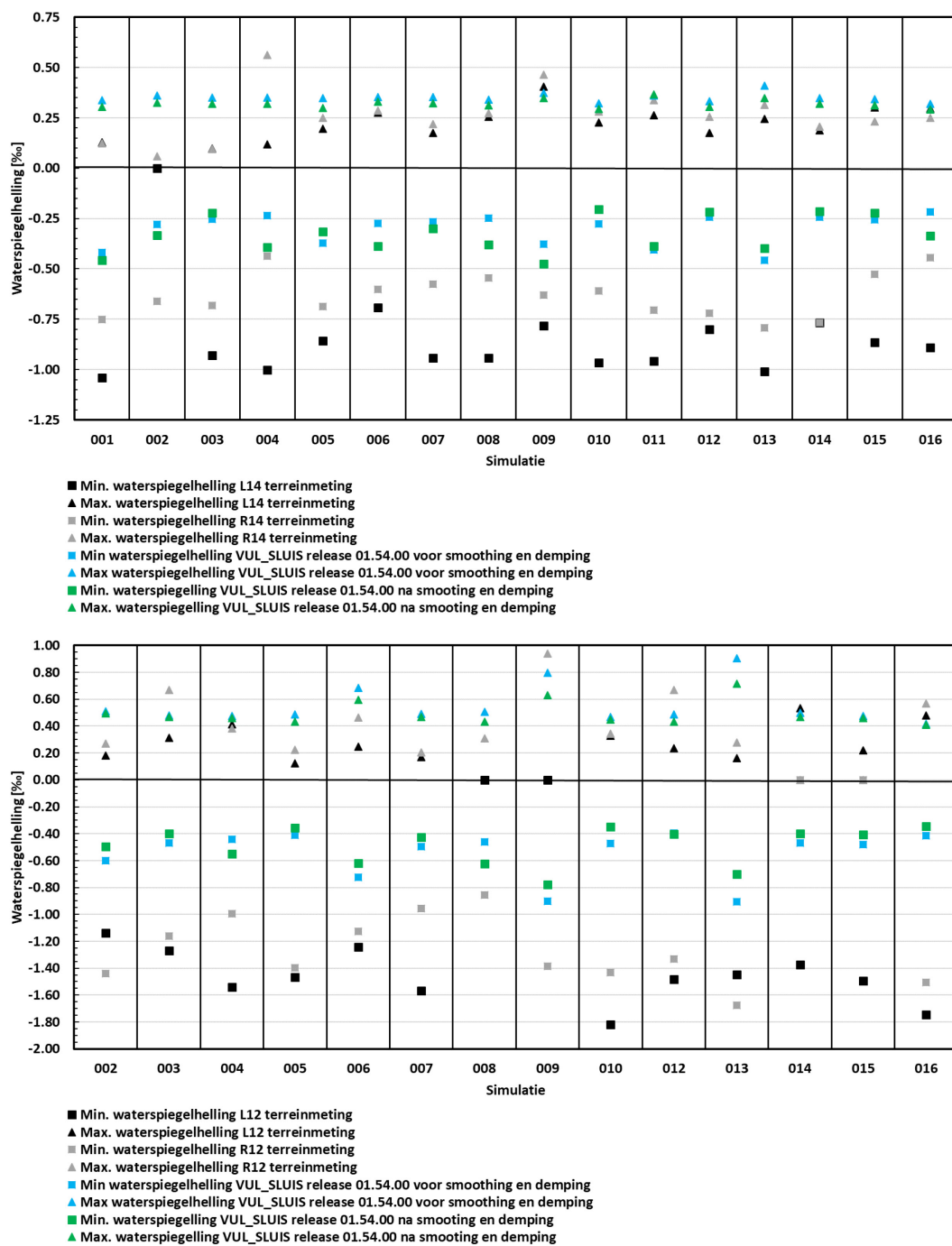
Figuur 42 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L14 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulatie 009 (a), 010 (b), 011 (c), 012 (d), 013 (e), 014 (f), 015 (g) en 016 (h)



Figuur 43 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L12 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 002 (a), 003 (b), 004 (c), 005 (d), 006 (e), 007 (f) en 008 (g)

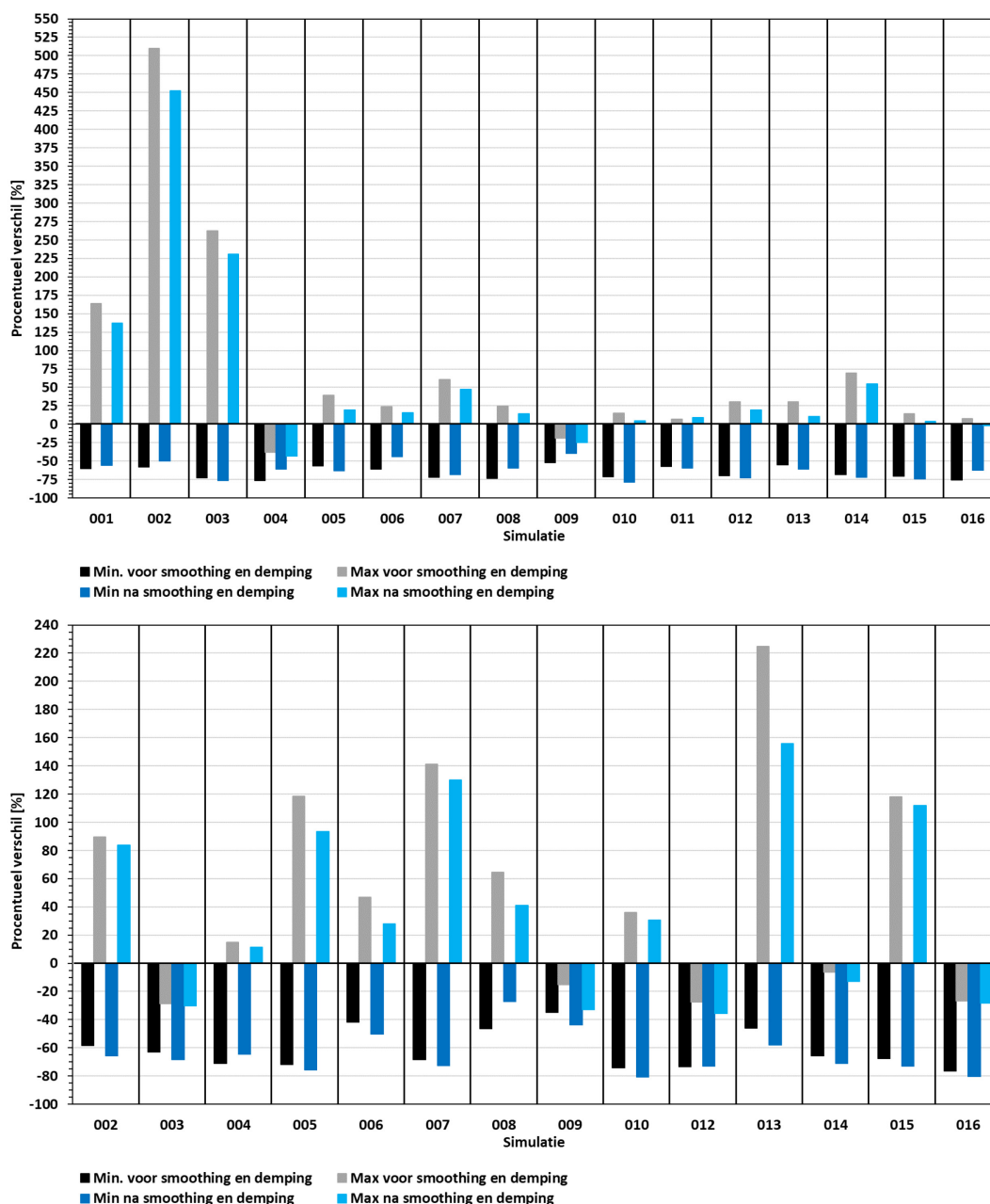


Figuur 44 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling L12 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 009 (a), 010 (b), 012 (c), 013 (d), 014 (e), 015 (f) en 016 (g)



Boven: waterspiegelhelling L14/R14; onder: waterspiegelhelling L12/R12

Figuur 45 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS



Boven: waterspiegelhelling L14/R14; onder: waterspiegelhelling L12/R12

Figuur 46 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting

Uit Figuur 41 tot en met Figuur 44 volgt vooreerst, analoog als in hoofdstuk 4, dat de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS schommelen rond nul ten gevolge van de invloed van translatiegolven bij de berekening van de waterspiegelhelling. De waterspiegelhellingen uit de terreinmeting bevatten overwegend een negatieve component, wat verklaard kan worden door de aanwezigheid van een component ten gevolge van impulsaftake. Het uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven op de berekende waterspiegelhellingen beïnvloedt de amplitude van de schommelingen slechts beperkt.

Naar het einde van de nivellering toe neemt de amplitude van de waterspiegelhellingen beperkt af. De periode van de met VUL_SLUIS berekende waterspiegelhellingen is iets korter dan de periode van de waterspiegelhellingen uit de terreinmeting. Bij waterspiegelhelling L12/R12 doet zich tussen twee pieken nog een kleinere lagere piek voor ten gevolge van reflectie van translatiegolven. Deze lagere piek is meer uitgesproken bij de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS dan bij deze uit de terreinmeting. Bij simulaties 012, 015 en 016 wordt in de waterspiegelhelling L14/R14 uit de terreinmeting naar het einde van de nivellering toe een beduidend kortere periode vastgesteld (min of meer een halvering), dewelke niet echt voorkomt in de met VUL_SLUIS berekende waterspiegelhellingen.

Voor alle simulaties wordt zowel voor de waterspiegelhelling L12/R12 als voor de waterspiegelhelling L14/R14 het negatieve extremum onderschat door VUL_SLUIS met 55 % à 77 %. Bij de end-to-end waterspiegelhelling L14/R14 wordt het positieve extremum enkel bij simulaties 004 en 009 onderschat met 20 % à 38 %. Met uitzondering van simulaties 001, 002 en 003 wordt het positieve extremum bij de overige simulaties tot 70 % overschat. Bij simulaties 001, 002 en 003 doen zich overschattingen voor tot 510 % omwille van de relatief lage positieve extrema van 0.06 à 0.13 ‰. Bij de end-to-middle waterspiegelhelling L12/R12 wordt het positieve extremum bij simulaties 003, 009, 012, 014 en 016 tot 36 % onderschat. Bij de overige simulaties wordt het positieve extremum door VUL_SLUIS overschat met overschattingen tot 220 %.

5.4 Samenvatting resultaten

In de vorige paragrafen is het volgende besloten

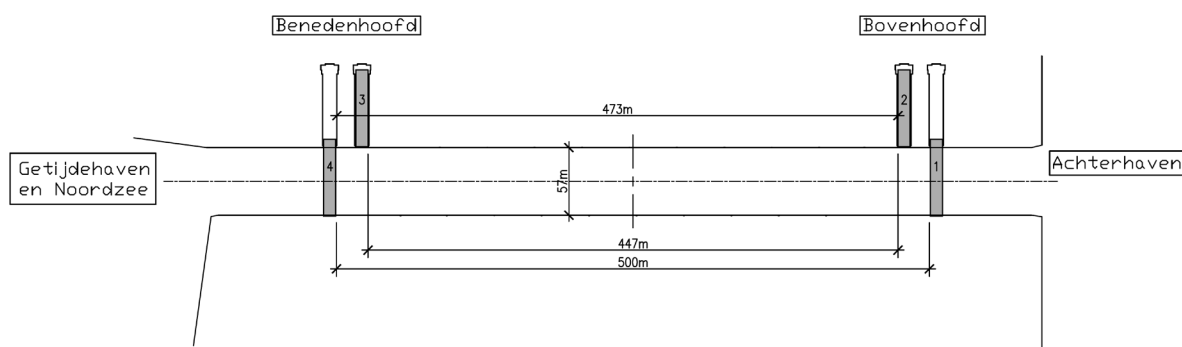
- De variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL vertoont een goede overeenkomst met deze opgemeten tijdens de terreinmeting (de bias bedraagt maximaal 0.04 m). Het globale verloop van de variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL komt relatief goed overeen met dit van de variatie in de tijd van het debiet tijdens de terreinmeting. Echter het verloop van het berekende debiet tijdens een stop van de openingswet is eerder constant in de tijd tot licht afnemend, terwijl dit bij het opgemeten debiet, met uitzondering van de eerste stop eerder een schommelend verloop is.
- Het procentueel verschil tussen de nivelleertijd uit de simulaties en deze uit de terreinmeting is voor alle simulaties kleiner of gelijk aan 4 %, met uitzondering van drie simulaties met procentuele verschillen tussen 7.2 % en 12.3 %. De nivelleertijd uit de terreinmeting wordt met uitzondering van een onderschatting bij 4 simulaties, algemeen overschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL.
- Met uitzondering van twee simulaties is de eerste piek van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL voor alle simulaties in de tijd verschoven ten opzichte van de eerste piek van de opgemeten waterspiegelhellingen. Bij de meeste van deze simulaties wordt vastgesteld dat tussen een aantal pieken in de berekende langskracht ook een aantal kleinere pieken aanwezig zijn, dewelke niet worden waargenomen in de opgemeten waterspiegelhellingen. De negatieve extrema van de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskracht op het schip zijn voor alle simulaties een onderschatting (met 20 % à 60 %) van de negatieve extrema van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting. Met uitzondering van één simulatie met een overschatting tot 378 %, wordt het positieve extremum van de opgemeten waterspiegelhelling voor alle simulaties tot 125 % overschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL.
- Analooq als in hoofdstuk 4 volgt uit de vergelijking van de waterspiegelhellingen L14/R14 en L12/R12 uit de terreinmeting met deze berekend met VUL_SLUIS dat de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS schommelen rond nul ten gevolge van de dominantie van de translatiegolven. De waterspiegelhellingen uit de terreinmeting bevatten overwegend een negatieve component omwille van de aanwezigheid van een component ten gevolge van impulsafname. Het uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven op de berekende waterspiegelhellingen doet de amplitude van de berekende waterspiegelhellingen naar het einde van de nivellering toe beperkt afnemen. De periode van de met VUL_SLUIS berekende waterspiegelhellingen is iets korter dan de periode van de waterspiegelhellingen uit de terreinmeting. Bij waterspiegelhelling L12/R12 doen zich tussen twee pieken nog een kleinere lagere piek voor ten gevolge van reflectie van translatiegolven. Deze lagere piek is meer uitgesproken bij de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS dan bij deze uit de terreinmeting. Bij een aantal simulaties wordt in de waterspiegelhelling L14/R14 uit de terreinmeting naar het einde van de nivellering toe een beduidend kortere periode vastgesteld (min of meer een halvering), dewelke niet echt voorkomt in de met VUL_SLUIS berekende waterspiegelhellingen. Voor alle simulaties wordt zowel voor de waterspiegelhelling L12/R12 als voor de waterspiegelhelling L14/R14 het negatieve extremum onderschat door VUL_SLUIS met 55 % à 77 %. Het positieve extremum van de end-to-end waterspiegelhelling L14/R14 wordt bij twee simulaties onderschat met 20 % à 38 %, bij drie simulaties overschat tot 510 % en bij de overige simulaties overschat tot 70 %. Bij de end-to-middle waterspiegelhelling L12/R12 wordt het positieve extremum bij vier simulaties tot 36 % onderschat en bij de overige simulaties overschat met overschattingen tot 220 %.

6 Validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis

6.1 Algemeen

De Vandammesluis in de haven van Zeebrugge ligt tussen de achterhaven (kant bovenhoofd of BOHO) en de getijdehaven (kant benedenhoofd of BEHO). Deze sluis werd afgewerkt in 1985. De bouw kaderde in de grote uitbreiding van de haven van Zeebrugge in de periode tussen 1972 en 1985. Figuur 47 geeft een bovenaanzicht van de Vandammesluis. De Vandammesluis heeft een lengte van 500 m tussen de uiterste roldeuren en een kolkbreedte van 57 m. De sluis beschikt over 2 roldeuren per hoofd, deze deuren worden genummerd van deur 1 (opwaarts) naar deur 4 (afwaarts). De sluis heeft een drempeldiepte van -15.0 mTAW. Het bodempeil van de sluis bevindt zich op -15.19 mTAW.

Het streefpeil van de achterhaven ligt op +3.50 mTAW. De karakteristieke waterpeilen voor de getijdehaven worden gegeven in Tabel 31.



Figuur 47 – Bovenaanzicht Vandammesluis

Tabel 31 – Karakteristieke peilen getijdehaven

	Laagwater	Hoogwater
Gemiddeld doodtij	+0.92 mTAW	+3.73 mTAW
Gemiddeld getij	+0.56 mTAW	+4.21 mTAW
Gemiddeld springtij	+0.28 mTAW	+4.58 mTAW

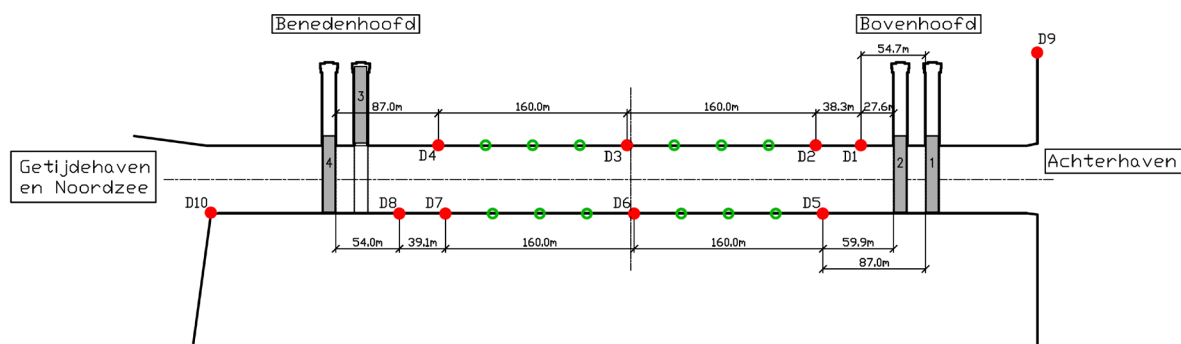
Het nivelleersysteem van de Vandammesluis bestaat uit 5 vlinderkleppen per roldeur. Deze vlinderkleppen hebben een diameter van 1.8 m en zijn gemonteerd in een straalbuis met een lengte van 10.2 m. De centerlijn van de vlinderkleppen ligt op -12.44 mTAW. In de toekomst wordt gepland om dit aantal in deur 1 en deur 4 uit te breiden naar 9 vlinderkleppen. De openingstijden van de vlinderkleppen bedraagt ca. 35 s (Hydrobel, 1980). Tabel 32 geeft de berekening van het te nivelleren oppervlak bij gebruik van deur 1 en deur 4, respectievelijk deur 2 en deur 4. Deze berekening is overgenomen uit Vercruyssen *et al.* (2012).

Tabel 32 – Te nivelleren oppervlak

			Deurcombinatie	
			14	24
Kolk	Kolklengthe	[m]	500	473
	Kolkbreedte	[m]	57	57
	Kolkoppervlakte	[m²]	28500	26961
Deurkamer(s)	Aantal te nivelleren deurkamers	[-]	2	1
	Oppervlakte deurkamer	[m²]	1124	
	Totale oppervlakte deurkamers	[m²]	2248	1124
Deur	Binnen oppervlakte deur	[m²]	570	
Deur+deurkamer(s)	Te nivelleren oppervlak	[m²]	2818	1694
Totaal	Te nivelleren oppervlak	[m²]	31318	28655

In het kader van het ontwerp van het nivelleersysteem van een nieuwe sluis voor de haven van Zeebrugge werd door WL op 17 en 18 juli 2012 een terreinmeting in de Vandammesluis uitgevoerd. De terreinmeting is gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2012). Tijdens deze terreinmeting werd de variatie van de waterspiegel in de sluiskolk opgemeten aan de hand van druksensoren. De locatie van de druksensoren wordt gegeven in Figuur 48. Merk op dat de beschikbare laddernissen niet symmetrisch zijn ten opzichte van de sluisas. Naast de 8 druksensoren in de sluiskolk werd nog één druksensor opwaarts en één afwaarts van de sluis gemonteerd. Tijdens de terreinmeting was deur 3 buiten gebruik vanwege renovatie. Gedurende de terreinmeting werden 21 nivelleringen geregistreerd. Een overzicht van de geregistreerde nivelleringen is gegeven in Tabel 33.

Op basis van de in de sluiskolk opgemeten waterpeilen werden de nivelleerkromme, de nivelleertijd, de stijgsnelheid, de globale afvoercoëfficiënt en de in de kolk optredende langse waterspiegelhellingen bepaald. Omwille van de korte openingstijd van de vlinderkleppen werd enkel de globale afvoercoëfficiënt van de openingen in de roldeuren bepaald en niet de variatie van de openingstijd in functie van de openingshoek.



volle rode cirkel = laddernis met druksensor, holle groen cirkel = lege laddernis

Figuur 48 - Locatie druksensoren tijdens terreinmeting Vandammesluis

Tabel 33 – Geregistreerde nivelleringen

Nr.	Dag	Tijdstip	Sluis- hoofd	Deur- combinatie	Type	Liggingsplannen Schip in kolk beschikbaar
1	17/07/2012	13:09	BOHO	1-4	Ledigen	J
2	17/07/2012	15:01	BEHO	1-4	Vullen	J
3	17/07/2012	16:01	BOHO	1-4	Vullen	J
4	17/07/2012	16:50	BEHO	2-4	Ledigen	J
5	17/07/2012	17:49	BOHO	2-4	Vullen	J
6	17/07/2012	19:09	BEHO	2-4	Ledigen	J
7	17/07/2012	20:21	BOHO	2-4	Vullen	J
8	17/07/2012	21:29	BEHO	2-4	Ledigen	J
9	17/07/2012	22:35	BOHO	2-4	Vullen	J
10	18/07/2012	00:43	BEHO	2-4	Vullen	J
11	18/07/2012	02:26	BOHO	2-4*	Ledigen	N
12	18/07/2012	04:16	BEHO	2-4*	Ledigen	N
13	18/07/2012	05:57	BOHO	2-4*	Vullen	N
14	18/07/2012	07:16	BEHO	2-4	Ledigen	J
15	18/07/2012	08:17	BOHO	2-4*	Vullen	N
16	18/07/2012	10:05	BEHO	2-4	Ledigen	J
17	18/07/2012	15:33	BOHO	2-4*	Ledigen	N
18	18/07/2012	17:40	BOHO	2-4	Vullen	J
19	18/07/2012	18:29	BEHO	2-4*	Ledigen	N
20	18/07/2012	19:23	BOHO	2-4*	Vullen	N
21	18/07/2012	20:52	BEHO	2-4*	Ledigen	N

* Deurcombinatie werd tijdens terreinmeting niet geregistreerd door sluismeester.
Voor deze nivelleringen wordt deurcombinatie 2-4 verondersteld.

6.2 Geselecteerde cases voor validatie

Voor de validatie van LOCKFILL en VUL_SLUIS worden alle 21 tijdens de terreinmeting geregistreerde nivelleringen beschouwd. Deze nivelleringen betreffen zowel vullen van de sluis via het bovenhoofd, als vullen van de sluis via het benedenhoofd, ledigen van de sluis via het bovenhoofd en ledigen van de sluis via het benedenhoofd. Een overzicht van de inputparameters voor deze 21 beschouwde nivelleringen is gegeven in Tabel 35 en Tabel 36. Tabel 34 geeft de toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt en de openingswet van de hefschuiven.

Bij deze tabellen moet het volgende opgemerkt worden:

- Met uitzondering van simulatie 001 is bij alle simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL in de inputfile de variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil uit de terreinmeting opgegeven. In VUL_SLUIS is hiervoor een tijdstap van 3.0 s beschouwd. Omwille van de beperking van 40 lijnen voor de tabel met het opwaarts waterpeil is in de inputfile van LOCKFILL afhankelijk van de nivelleertijd van de betreffende nivellering een tijdstap van 30 s of 45 s beschouwd. In Tabel 35 is ter informatie voor het opwaarts waterpeil de waarde op het tijdstip $t = 0.0$ s gegeven.
- In Vercruysse *et al.* (2012) is voor elke nivellering enkel de afvoercoëfficiënt bij volledige geopende vlinderkleppen bepaald. Om die reden is elke simulatie eerst uitgevoerd met de waarde V1 voor de afvoercoëfficiënt van de openingen, i.e. de afvoercoëfficiënt voor vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003). Daarna is de variatie van de afvoercoëfficiënt in functie van de openingshoek aangepast tot de waarde bij volledig geopende kleppen overeenkwam met de waarde afgeleid in Vercruysse *et al.* (2012). De aanpassing van de variatie van de afvoercoëfficiënt in functie van de openingshoek is beschreven in het begin van paragraaf 6.3.
- Enkel bij simulaties 003, 005, 007, 014 en 018 was tijdens de terreinmeting één schip in de sluiskolk aanwezig. Bij de overige simulaties was ofwel geen schip aanwezig of waren meerdere schepen in de sluiskolk aanwezig. De simulaties bij afwezigheid van een schip in de kolk of met meerdere schepen in de kolk zijn enkel uitgevoerd voor de validatie van de afvoercoëfficiënt. Aangezien in VUL_SLUIS en LOCKFILL altijd een schip moet opgegeven worden is hierbij, analoog als in de vorige hoofdstukken bij nivelleringen met een lege sluiskolk, een dummy-schip met lengte 10 m, breedte 1.0 m en diepgang 0.1 m beschouwd. Dit schip bevindt zich midden tussen de beschouwde deurcombinaties.
- De blokcoëfficiënt van de aanwezige schepen in de sluiskolk is niet gekend. Voor de eenvoud is bij het uitvoeren van de simulaties voor een sleepboot de waarde 0.50 beschouwd en voor binnenvaart de waarde 0.80. Merk op dat deze laatste toegepaste waarde relatief laag is voor binnenvaartschepen.
- De druksensoren bevonden zich tijdens de terreinmeting niet symmetrisch ten opzichte van de sluisas. Indien de druksensoren zich niet naast een schip bevonden, zijn voor elke simulatie telkens de extra uitvoerpunten opgegeven die overeenkomen met de locaties voor het bepalen van de waterspiegelhellingen H14, H24, H57 en H58.
- Analooch als in vorige hoofdstukken is voor alle met VUL_SLUIS uitgevoerde simulaties de waarde van de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven verlaagd van 0.40 naar 0.05.

Tabel 34 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt en openingswetten voor de vlinderkleppen

Afvoercoëfficiënt			
Relatieve klepstand	V1	V2	V3
[°/90°]	[-]	[-]	[-]
0.00	0.000	0.000	0.000
0.100	0.050	0.050	0.050
0.200	0.023	0.023	0.023
0.300	0.061	0.061	0.061
0.400	0.115	0.115	0.115
0.500	0.190	0.190	0.190
0.600	0.290	0.290	0.290
0.700	0.400	0.400	0.400
0.800	0.520	0.520	0.520
0.900	0.620	0.560	0.620
0.960	0.660	0.560	0.660
1.000	0.680	0.560	0.750

Openingswet vlinderkleppen	
Tijd	Openingssnelheid
[s]	[°/s]
0.00	0.00
2.50	3.16
27.50	3.16
29.50	0.60
34.50	0.60
35.00	0.00
>35.00	0.00

Tabel 35 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis; Simulatie 001 tot en met 011

	Eenheid	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011
		Schutting 1	Schutting 2	Schutting 3	Schutting 4	Schutting 5	Schutting 6	Schutting 7	Schutting 8	Schutting 9	Schutting 10	Schutting 11
		Ledigen	Vullen	Vullen	Ledigen	Vullen	Ledigen	Vullen	Ledigen	Vullen	Vullen	Ledigen
		bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND												
Peil opwaarts pand	[mTAW]	3.59	3.84	3.60	2.70	3.61	0.94	3.59	1.19	3.56	3.80	3.62
SLUISKOLK												
Lengte sluisolk	[m]	500	500	500	473	473	473	473	473	473	473	473
Breedte sluisolk	[m]	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Bodempeil sluisolk	[mTAW]	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	4.23	3.59	3.27	3.69	1.76	3.63	0.72	3.62	1.70	3.55	4.15
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP												
Lengte	[m]	n.v.t.	n.v.t.	sleepboot	n.v.t.	sleepboot	n.v.t.	binnenvaart	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Breedte schip	[m]	n.v.t.	n.v.t.	28.30	n.v.t.	33.00	n.v.t.	90.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diepgang	[m]	n.v.t.	n.v.t.	12.00	n.v.t.	11.00	n.v.t.	9.60	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Massa	[ton]	n.v.t.	n.v.t.	6.00	n.v.t.	5.60	n.v.t.	3.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Hoek boeg in de verticale	[°]	n.v.t.	n.v.t.	1010.0	n.v.t.	1016.4	n.v.t.	2073.6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Hoek boeg in de horizontale	[°]	n.v.t.	n.v.t.	90	n.v.t.	90	n.v.t.	90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	n.v.t.	n.v.t.	45	n.v.t.	45	n.v.t.	45	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Ruwheid romp van het schip	[m]	n.v.t.	n.v.t.	114.0	n.v.t.	43.0	n.v.t.	246.0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	0.005	n.v.t.	0.005	n.v.t.	0.005	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
HEFSCHUIVEN												
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	0.07	n.v.t.	0.06	n.v.t.	0.03	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Aantal openingen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diameter openingen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingsnelheid v_h	[m/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN												
Aantal vlinderkleppen	[-]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Diameter vulopening (cirkelvormige opening)	[m]	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Klephoek gesloten stand	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klephoek open stand	[°]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Afvoercoëfficiënt	[-]	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V2	V1/V3
Openingsnelheid v_h	[°/s]	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Breekbalken												
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54
Oppervlakte vulstraat juist na breekbalken	[m²]	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72
Hoek van de vulstraat met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur												
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	2818	0	1124	1694	0	1694	0	1694	0	0	1694
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	0	2818	1694	0	1694	0	1694	0	1694	1694	0
Extra uitvoerpunten												
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 1	[m]	n.v.t.	n.v.t.	87.00	n.v.t.	27.60	n.v.t.	59.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 1	[m]	n.v.t.	n.v.t.	446.10	n.v.t.	385.90	n.v.t.	419.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 2	[m]	n.v.t.	n.v.t.	87.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	59.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 2	[m]	n.v.t.	n.v.t.	407.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	379.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 3	[m]	n.v.t.	n.v.t.	54.70	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	27.60	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 3	[m]	n.v.t.	n.v.t.	413.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	385.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 4	[m]	n.v.t.	n.v.t.	93.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	65.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 4	[m]	n.v.t.	n.v.t.	413.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	385.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 36 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis; Simulatie 012 tot en met 021

	Eenheid	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021
		Schutting 12	Schutting 13	Schutting 14	Schutting 15	Schutting 16	Schutting 17	Schutting 18	Schutting 19	Schutting 20	Schutting 21
		Ledigen	Vullen	Ledigen	Vullen	Ledigen	Ledigen	Vullen	Ledigen	Vullen	Ledigen
		Benedenhoofd	Bovenhoofd	Bovenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd	Bovenhoofd	Benedenhoofd
OPWAARTS KANAALPAND											
Peil opwaarts pand	[mTAW]	3.36	3.64	1.00	3.62	1.37	3.60	3.62	1.77	3.60	0.62
SLUISKOLK											
Lengte sluisolk	[m]	473	473	473	473	473	473	473	473	473	473
Breedte sluisolk	[m]	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Bodempcil sluisolk	[mTAW]	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19	-15.19
Initiele waterstand kolk	[mTAW]	3.70	1.88	3.66	0.75	3.61	3.88	2.34	3.67	1.02	3.63
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP											
Lengte	[m]	n.v.t.	n.v.t.	28.30	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	82.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Breedte schip	[m]	n.v.t.	n.v.t.	24.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	11.50	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diepgang	[m]	n.v.t.	n.v.t.	5.95	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4.29	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Massa	[ton]	n.v.t.	n.v.t.	2020.6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	3236.4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Hoek boeg in de verticale	[°]	n.v.t.	n.v.t.	90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Hoek boeg in de horizontale	[°]	n.v.t.	n.v.t.	45	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	45	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	n.v.t.	n.v.t.	197.0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	55.0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Ruwheid romp van het schip	[m]	n.v.t.	n.v.t.	0.005	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.005	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	0.13	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.05	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
HEFSCHUIVEN											
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Type vulopeningen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Aantal openingen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diameter openingen	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid v _h	[m/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
VLINDERKLEPPEN											
Aantal vlinderkleppen	[-]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Diameter vulopening (cirkelvormige opening)	[m]	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Klephoek gesloten stand	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klephoek open stand	[°]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Afvoercoëfficiënt	[-]	V1/V2	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V3	V1/V2	V1/V3	V1/V2
Openingssnelheid v _h	[°/s]	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Breekbalken											
Niveau bovenkant vulopeningen	[mTAW]	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54	-11.54
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur											
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	1694	0	1694	0	1694	1694	0	1694	0	1694
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	0	1694	0	1694	0	0	1694	0	1694	0
Extra uitvoerpunten											
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 1	[m]	n.v.t.	n.v.t.	54.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	27.60	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 1	[m]	n.v.t.	n.v.t.	413.10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	385.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 2	[m]	n.v.t.	n.v.t.	93.10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 2	[m]	n.v.t.	n.v.t.	413.10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 3	[m]	n.v.t.	n.v.t.	87.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 3	[m]	n.v.t.	n.v.t.	445.30	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt 4	[m]	n.v.t.	n.v.t.	87.00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt 4	[m]	n.v.t.	n.v.t.	472.90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

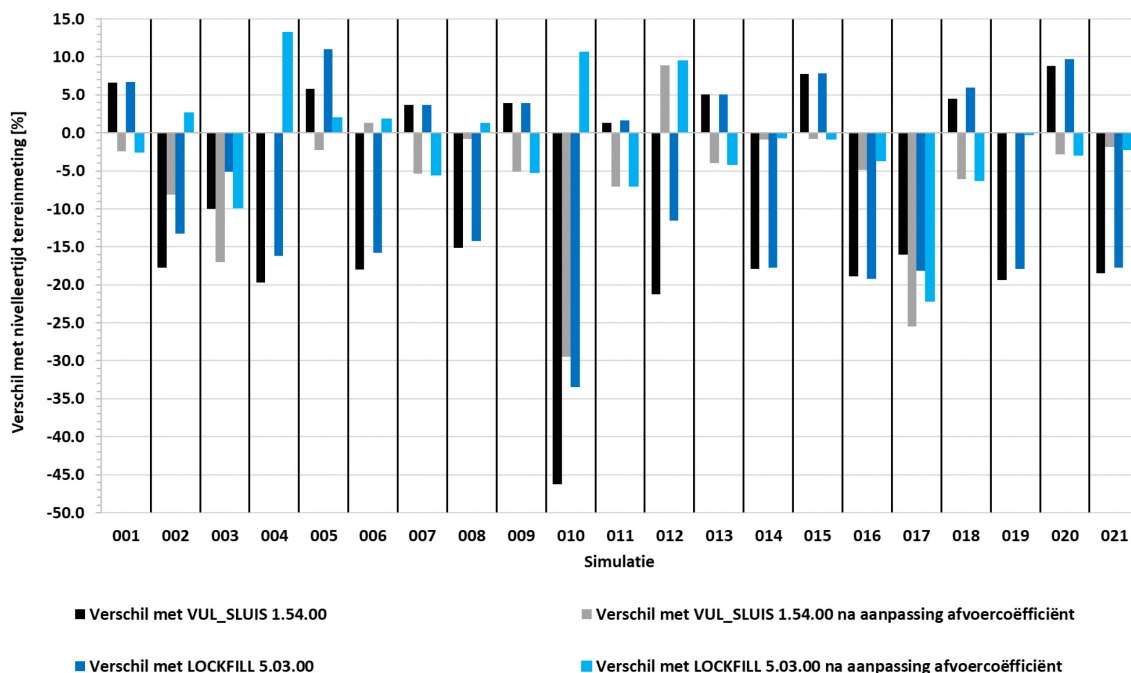
6.3 Resultaten validatie

In Vercruysse *et al.* (2012) is voor elke nivellering enkel de afvoercoëfficiënt bij volledige geopende vlinderkleppen bepaald. Om die reden is elke simulatie eerst uitgevoerd met de waarde V1 voor de afvoercoëfficiënt van de openingen, i.e. de afvoercoëfficiënt voor vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003). Daarna is de variatie van de afvoercoëfficiënt in functie van de openingshoek aangepast. Bij de hoogste relatieve klepstand(en) is de waarde zodanig aangepast dat bij volledig geopende kleppen de waarde overeenkwam met de waarde afgeleid in Vercruysse *et al.* (2012). Dit betreft afvoercoëfficiënt V2 voor de vlinderkleppen van het benedenhoofd en V3 voor de vlinderkleppen van het bovenhoofd. Met deze afvoercoëfficiënten zijn alle simulaties opnieuw uitgevoerd.

Figuur 102 tot en met Figuur 107 in Bijlage 5 vergelijken voor de simulaties met afvoercoëfficiënten V1, V2 en V3 de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk uit de terreinmeting. Uit deze figuren volgt dat het opgemeten waterpeil in de sluiskolk bij de meeste simulaties beperkt onderschat wordt bij toepassen van de afvoercoëfficiënt V1. Bij toepassen van de aangepaste afvoercoëfficiënten V2 voor het benedenhoofd en V3 voor het bovenhoofd wordt een goede overeenkomst met het opgemeten waterpeil bekomen. Het aanpassen van de afvoercoëfficiënt zorgt ervoor dat het maximale debiet door de nivelleeropeningen afneemt bij toepassen van afvoercoëfficiënt V2 en toeneemt bij toepassen van afvoercoëfficiënt V3. Naar het einde van de nivellering toe wordt een iets hogere waarde voor het debiet berekend bij toepassen van afvoercoëfficiënt V2 en een iets lagere waarde bij toepassen van afvoercoëfficiënt V3. Rekening houdend met de schommelingen in de variatie van het debiet in de tijd is er een goede overeenkomst tussen het debiet berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en het gemiddelde van het debiet uit de terreinmeting. Voor deze vergelijking van de variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door de nivelleeropeningen zijn de waarden voor de berekende statistische parameters gegeven in Tabel 58 en Tabel 59 in Bijlage 5. Uit deze tabellen volgt dat bij toepassen van afvoercoëfficiënt V1 het waterpeil in de sluiskolk onderschat wordt met gemiddeld 0.07 m en maximaal 0.21 m. De root-mean-square error en de standaardafwijking bedragen maximaal 0.23 m en 0.08 m. Na aanpassing van de afvoercoëfficiënt van de vlinderkleppen varieert de bias tussen waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en het opgemeten waterpeil tijdens de terreinmeting tussen -0.04 m en 0.05 m met een gemiddelde waarde van 0.01 m. De root-mean-square error en de standaardafwijking bedragen maximaal 0.05 m en 0.02 m. Wat betreft variatie in de tijd van waterpeil in de sluiskolk en debiet door de nivelleeropeningen worden geen verschillen vastgesteld tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL.

In Vercruysse *et al.* (2012) wordt voor de verschillende nivelleringen de nivelleertijd gegeven bij een restverval van 0.15 m. Deze relatief grote waarde van het restverval is beschouwd omdat bij een aantal nivelleringen de roldeur reeds geopend werd onder een restverval voor het tijdstip werd bereikt waarop het waterpeil in de sluiskolk gelijk is aan het waterpeil in de voor- of achterhaven. Tabel 60 geeft voor alle simulaties een overzicht van de nivelleertijd met restverval 0.15 m. Zowel voor de simulaties met afvoercoëfficiënt V1, als voor de simulaties met aangepaste afvoercoëfficiënt geeft Figuur 49 een overzicht van het procentuele verschil tussen de nivelleertijd bepaald met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de nivelleertijd uit de terreinmeting. Bij toepassing van afvoercoëfficiënt V1 voor de vlinderkleppen in de roldeur wordt de nivelleertijd uit de terreinmeting voor 12 simulaties onderschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL. Met uitzondering van simulatie 010 bedraagt de onderschatting maximaal 21.3 %. Bij simulatie 10 wordt een onderschatting van 46.1 % bij de simulatie met VUL_SLUIS vastgesteld en 33.5 % bij de simulatie met LOCKFILL. Hierbij moet opgemerkt worden dat voor deze simulatie het initiële verval slechts 0.25 m bedraagt, waardoor de overeenkomstige nivelleertijd kort is. Bij de overige simulaties wordt de nivelleertijd door VUL_SLUIS overschat met maximaal 8.8 % en door LOCKFILL met maximaal 11.0 %. Na aanpassing van de afvoercoëfficiënt van de vlinderkleppen in de roldeur wordt de nivelleertijd uit de terreinmeting door VUL_SLUIS voor 18 simulaties onderschat en door LOCKFILL voor 14 simulaties. De onderschatting is voor alle simulaties, met uitzondering van simulaties 003, 010 en 017 bij VUL_SLUIS en simulatie 017 bij LOCKFILL, kleiner dan of gelijk aan 9.8 %.

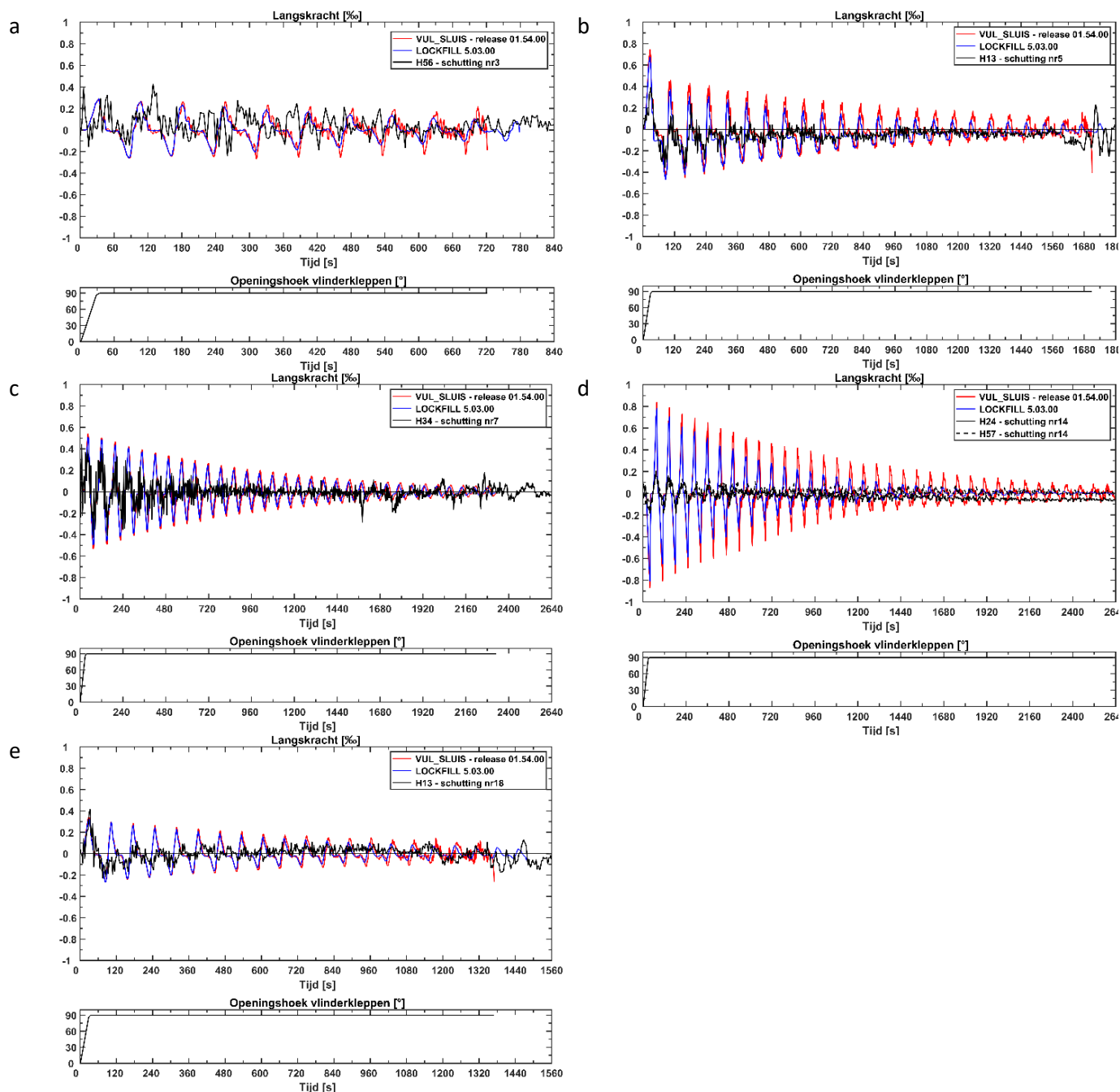
Bij simulaties 003, 010 en 017 wordt de nivelleertijd met VUL_SLUIS onderschat met 17.0 % à 29.5 % en bij simulatie 003 met LOCKFILL met 22.2 %. Deze simulaties hebben een maximaal verval van 0.33 m, waardoor de nivelleertijd van de sluiscolk ook relatief kort is. Voor de simulaties waarbij VUL_SLUIS en LOCKFILL, na aanpassing van de afvoercoëfficiënt van de openingen, de nivelleertijd overschatten, bedraagt de overschatting maximaal 8.9 % bij VUL_SLUIS en 13.2 % bij LOCKFILL. In tegenstelling tot de resultaten beschreven in vorige hoofdstukken worden beduidende verschillen in nivelleertijd berekend tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL. De verklaring hiervoor is, zoals ook vermeld in paragraaf 6.1, het feit dat de opwaartse waterstand in VUL_SLUIS met een kleinere tijdstap wordt ingegeven dan in LOCKFILL, omwille van de restrictie tot 40 lijnen in LOCKFILL. Hierdoor worden golven in het waterpeil van het voor nivelleren beschouwde opwaarts pand (zeezijde voor het benedenhoofd en achterhaven voor het bovenhoofd) uitgedempt.



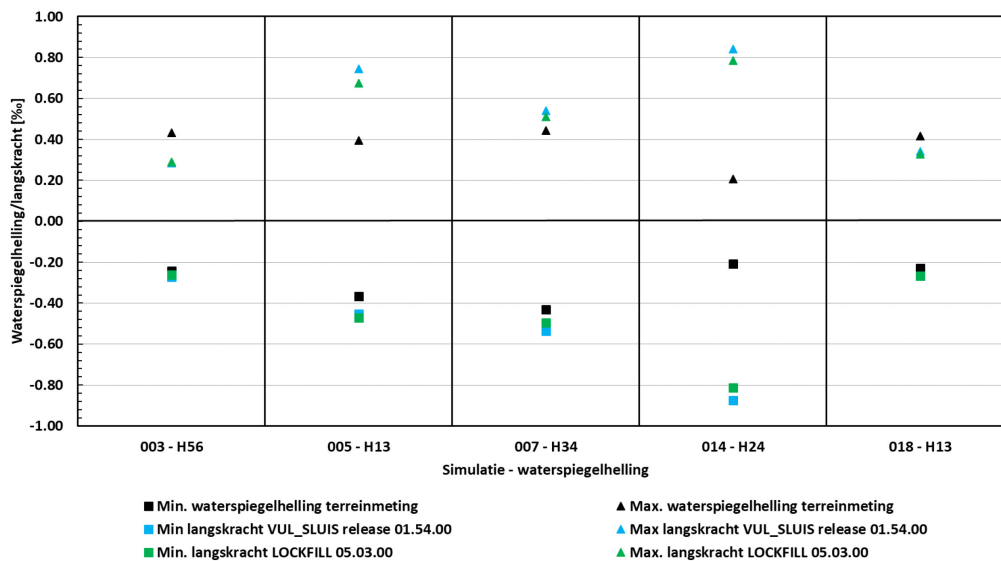
Figuur 49 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit terreinmeting en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Voor de simulaties waarbij één schip in de kolk aanwezig is, i.e. simulaties 003, 005, 007, 014 en 018, vergelijkt Figuur 50 de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met de waterspiegelhelling opgemeten tijdens de terreinmeting. Hierbij wordt telkens vergeleken met de waterspiegelhellingen opgemeten tussen de divers, die zich het dichtst bij boeg en hek van het schip bevinden. Hierbij wordt opgemerkt dat voor deze vergelijking enkel de simulatie na aanpassing van de afvoercoëfficiënt van de openingen beschouwd wordt. Voor deze simulaties geeft Tabel 61 in Bijlage 5 en Figuur 51 een overzicht van de extreme waarden van de berekende langskracht op het schip en de extreme waarden van de opgemeten waterspiegelhellingen. De procentuele verschillen tussen de extreme waarden van de langskracht berekend met LOCKFILL en VUL_SLUIS en de extreme waarden van de opgemeten waterspiegelhellingen zijn grafisch voorgesteld in Figuur 52. Uit deze figuur volgt dat de eerste piek van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL voor simulatie 005 en simulatie 014 deze van de waterspiegelhellingen uit de terreinmeting beduidend overschat. Bij simulatie 005 bedraagt de overschatting van het positieve extremum 71 % à 89 % en bij simulatie 014 279 % à 306 %. De minimale waarden voor simulatie 005 worden met 23% à 28 % overschat en bij simulatie 014 met 289 à 319 %. Bij simulatie 005 bedraagt de afstand tussen de diver afwaarts van het hek en het hek ca. 150 m en bij simulatie 0114 bedraagt de afstand tussen de diver opwaarts van de boeg en de boeg ca. 230 m. Dit zijn relatief grote afstanden.

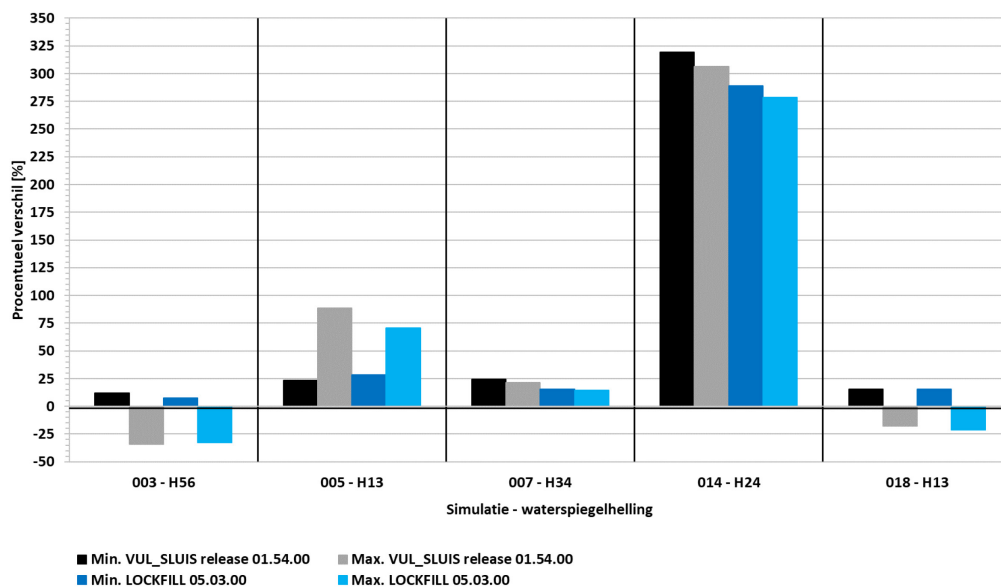
Bij simulaties 003 en 018 wordt het positieve extremum van de opgemeten waterspiegelhellingen onderschat met 34 %, respectievelijk 21 %. Bij simulatie 007 wordt de eerste piek beperkt overschat met 15 % à 22 %. De negatieve extrema van deze simulaties worden allen overschat met maximum 24 %. Voor deze simulaties varieert de afstand tussen de diver opwaarts van boeg en de boeg van het schip en de diver afwaarts van het hek en het hek van het schip tussen 20 m en 88 m. Uit Figuur 50 volgt ook dat, met uitzondering van simulatie 003, de damping van de berekende langskrachten minder uitgesproken is dan de damping van de tijdens de terreinmeting opgemeten waterspiegelhellingen. De in de sluiscolk opgemeten waterspiegelhellingen betreffen enkel waterspiegelhellingen ten gevolge van translatiegolven.



Figuur 50 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 005 (b), 007 (c), 014 (d) en 018 (e)

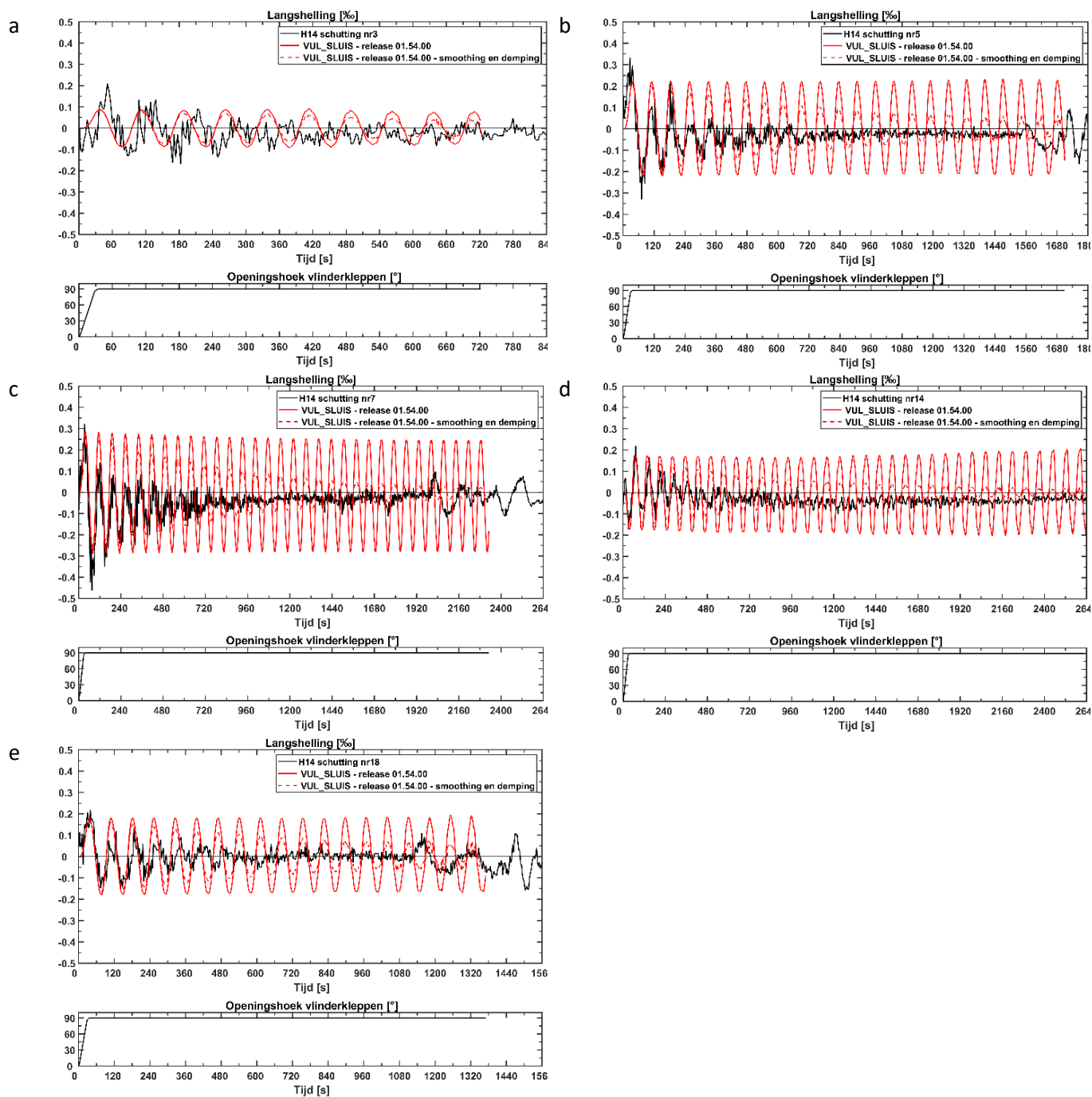


Figuur 51 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL

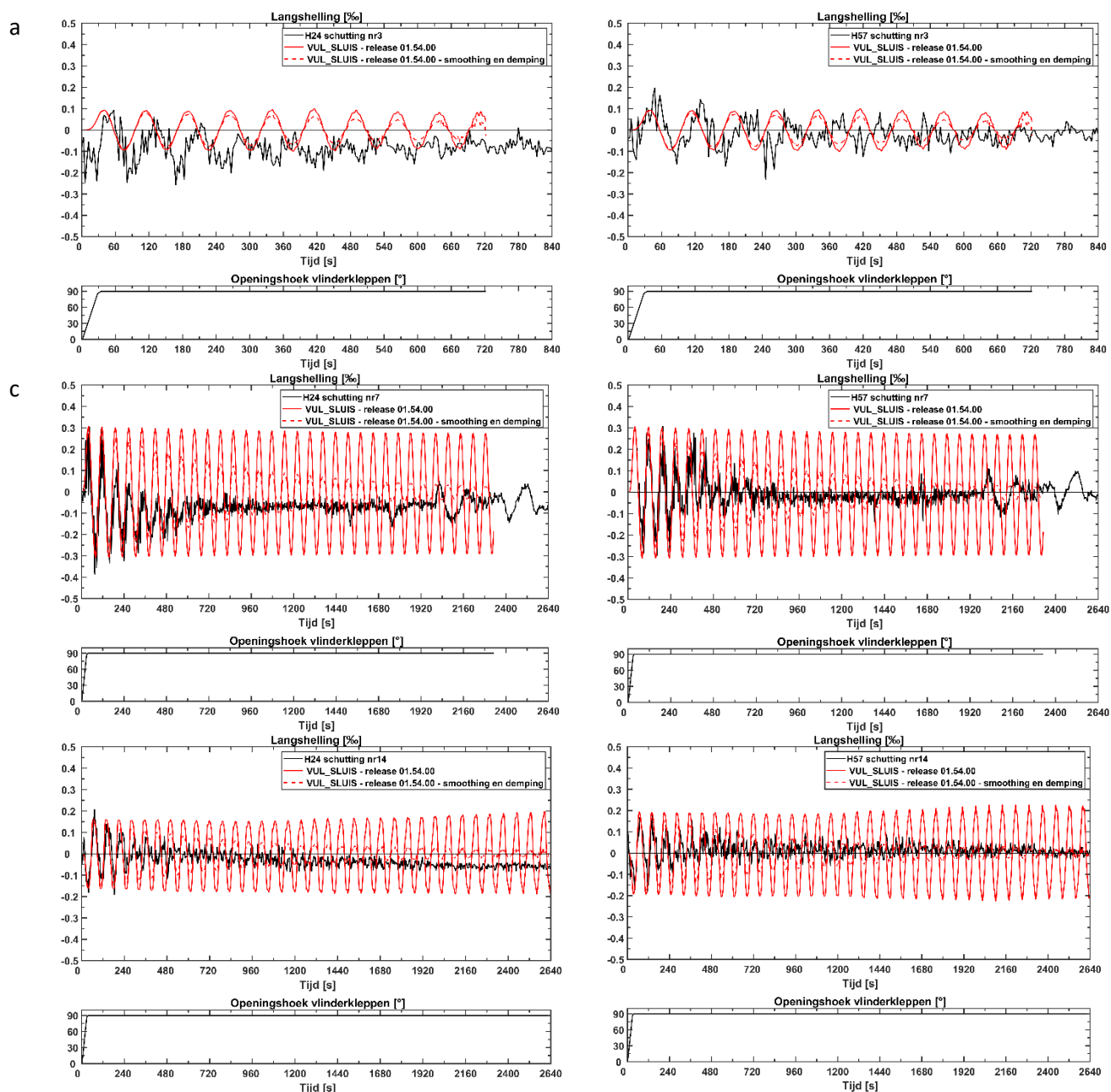


Figuur 52 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting

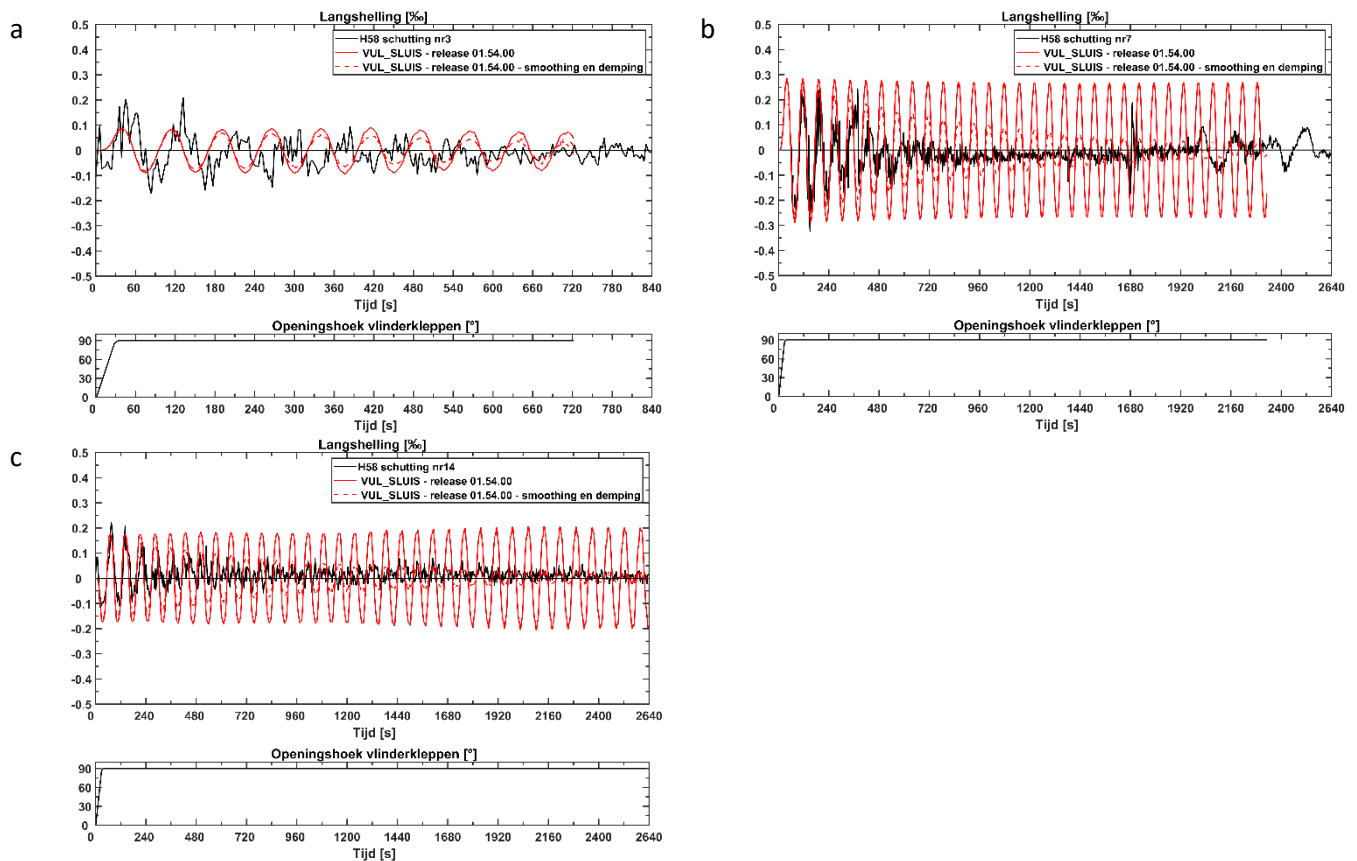
Daarna is voor de simulaties waarbij tijdens de terreinmeting één schip in de sluiskolk aanwezig was, de opgemeten waterspiegelhelling H14, H24, H57 en H58 vergeleken met de waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS. Deze vergelijking is grafisch voorgesteld in Figuur 53 tot en met Figuur 55. Wat betreft de waterspiegelhellingen berekend met VUL_SLUIS, zijn zowel de waterspiegelhellingen voorafgaand aan het uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven gevisualiseerd als de waterspiegelhellingen na het uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven. De extreme waarden van de opgemeten en berekende waterspiegelhellingen worden vergeleken in Figuur 56. Figuur 57 geeft een grafische voorstelling van de procentuele verschillen tussen de opgemeten en berekende waterspiegelhellingen. Uit Figuur 53 tot en met Figuur 55 volgt vooreerst dat de opgemeten waterspiegelhellingen schommelen rond nul, met uitzondering van de waterspiegelhelling H24 bij schutting nr. 3. Bij schutting nr. 3 wordt een constant negatieve waarde opgemeten. Hiervoor is geen verklaring gevonden. Het feit dat de overige opgemeten waterspiegelhellingen schommelen rond nul, kan verklaard worden door het feit dat deze waterspiegelhellingen enkel veroorzaakt worden door translatiegolven in de sluiskolk. De periode van de met VUL_SLUIS berekende waterspiegelhellingen komt voor alle simulaties en voor alle beschouwde waterspiegelhellingen relatief goed overeen met de periode van de opgemeten waterspiegelhellingen. De eerste positieve en negatieve piek van de waterspiegelschommelingen, dewelke ook de positieve en negatieve extreme waarde zijn, worden relatief goed benaderd met nog een zekere over- en onderschatting. De damping van de translatiegolven is in VUL_SLUIS minder uitgesproken dan bij de waterspiegelhellingen uit de terreinmeting. Voorafgaand aan uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven worden voor simulatie 014 het negatieve en het positieve extremum van waterspiegelhellingen H14, H24, en H57 overschat met maximum 35 % en het negatieve extremum van waterspiegelhelling H58 overschat met 79 %. Bij simulatie 018 wordt nog een beperkte overschatting vastgesteld van het negatieve extremum met 21 %. De overige waterspiegelhellingen worden voornamelijk onderschat door VUL_SLUIS. Met uitzondering van het negatieve extremum van waterspiegelhelling H14 bij simulatie 007 met een onderschatting van 163 % bedraagt de onderschatting van de opgemeten waterspiegelhellingen maximaal 61 %. Na uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven worden enkel nog het negatieve extremum van waterspiegelhelling H14 bij simulatie 018, het negatieve extremum van waterspiegelhellingen H57 en H58 bij simulatie 014 overschat door VUL_SLUIS met maximaal 39 %. De overige extrema van de opgemeten waterspiegelhellingen worden onderschat door VUL_SLUIS. Met uitzondering van het negatieve extremum van waterspiegelhelling H14 bij simulatie 007 met een onderschatting van 158 % bedraagt de onderschatting van de opgemeten waterspiegelhellingen maximaal 67 %. Aangezien het positieve en het negatieve extremum van de waterspiegelhellingen de eerste positieve en negatieve piek betreffen, heeft het uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven weinig invloed op de grootte van het positieve en negatieve extremum. De damping van translatiegolven heeft voornamelijk invloed naar het einde van de nivellering toe.



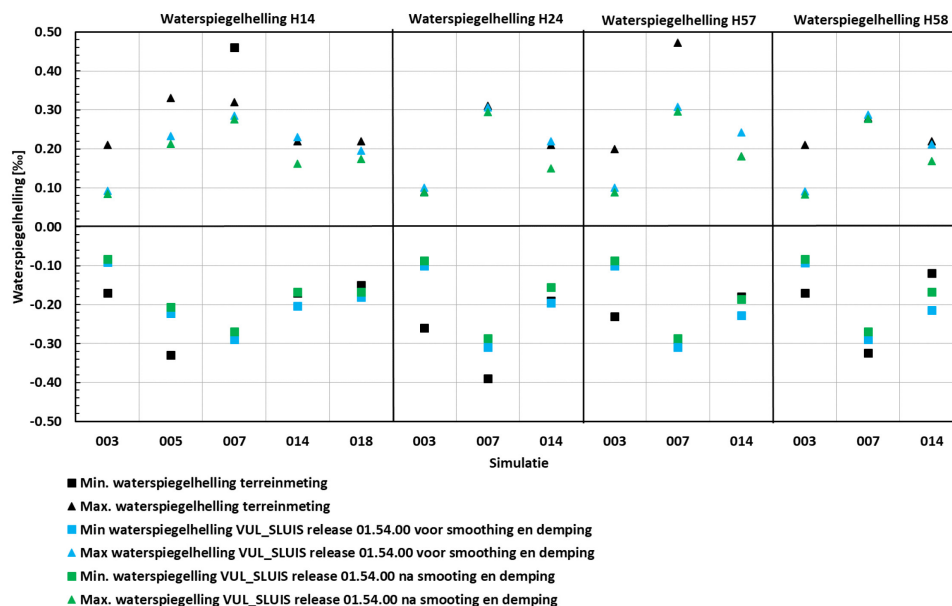
Figuur 53 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling H14 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 005 (b), 007 (c), 014 (d) en 018 (e)



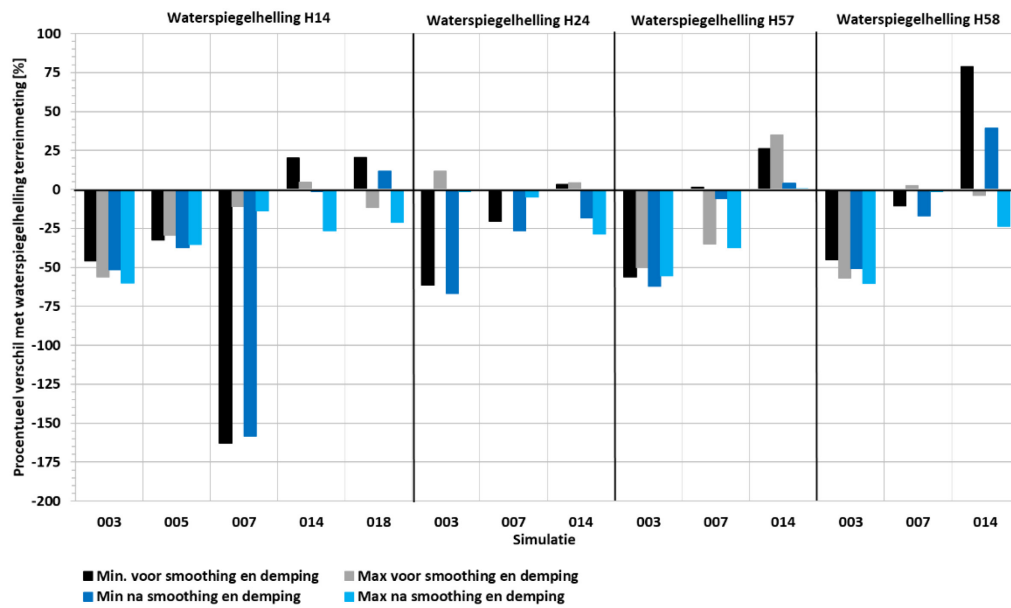
Figuur 54 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling H24 en H57 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 007 (b) en 014 (c)



Figuur 55 – Vergelijking variatie in de tijd van waterspiegelhelling H58 berekend met VUL_SLUIS met variatie in de tijd van waterspiegelhelling uit terreinmeting voor simulaties 003 (a), 007 (b) en 014 (c)



Figuur 56 – Vergelijking extreme waarde waterspiegelhelling uit terreinmeting met extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS



Figuur 57 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS en de extreme waarde van de waterspiegelhelling uit terreinmeting

6.4 Samenvatting resultaten

Tijdens de uitgevoerde terreinmeting in de Vandammesluis is voor elke nivellering enkel de afvoercoëfficiënt bij volledige geopende vlinderkleppen bepaald. Om die reden zijn alle simulaties eerst uitgevoerd met de afvoercoëfficiënt voor vlinderkleppen uit Schwanenberg & Jongeling (2003). Daarna is de variatie van de afvoercoëfficiënt in functie van de openingshoek aangepast. Bij de hoogste relatieve klepstand(en) is de waarde zodanig aangepast dat bij volledig geopende kleppen de waarde overeenkwam met de waarde afgeleid in Vercruysse *et al.* (2012). Na aanpassing van de afvoercoëfficiënt volgt dat de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL een goede overeenkomst vertoont met het opgemeten waterpeil. De bias varieert tussen -0.04 m en 0.05 m met een gemiddelde waarde van 0.01 m. Rekening houdend met de schommelingen in de variatie van het debiet in de tijd is er een goede overeenkomst tussen het debiet berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en het zwevend gemiddelde van het debiet uit de terreinmeting. Wat betreft variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen worden geen verschillen vastgesteld tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL.

Na aanpassing van de afvoercoëfficiënt van de vlinderkleppen in de roldeur wordt de nivelleertijd uit de terreinmeting door VUL_SLUIS voor 18 simulaties onderschat en door LOCKFILL voor 14 simulaties. Met uitzondering van 3 simulaties, gekenmerkt door klein verval en relatief korte nivelleertijd, met onderschattingen tot 29.5 % bedraagt de onderschatting van de nivelleertijd uit de terreinmeting maximaal 9.8 %. Voor de simulaties waarbij VUL_SLUIS en LOCKFILL de nivelleertijd overschatten, bedraagt de overschatting maximaal 8.9 % bij VUL_SLUIS en 13.2 % bij LOCKFILL. In tegenstelling tot de resultaten beschreven in vorige hoofdstukken worden beduidende verschillen in nivelleertijd berekend tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL, omwille van de toepassing van een verschillende tijdstap voor de opwaartse waterstand in de inputfiles van VUL_SLUIS en LOCKFILL. Mogelijk kunnen windgolven de opgemeten waterstand beïnvloeden. Een analyse van windgolven is voor de validatie in dit rapport niet uitgevoerd. Het is echter aanbevolen om zulke analyse uit te voeren.

Voor de simulaties met één schip in de sluiskolk is de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met de opgemeten waterspiegelhellingen tussen de divers die het dichtst bij de boeg en het hek van het schip aanwezig waren. Hieruit volgt dat voor twee simulaties de berekende langskracht de waterspiegelhellingen uit de terreinmeting beduidend overschat tot 319 % van de extreme waarden van de waterspiegelhelling. De verklaring hiervoor is de grote afstand van 150 m à 200 m tussen de diver opwaarts van de boeg en de boeg van het schip of afwaarts van het hek en het hek van het schip. Bij de overige simulaties is deze afstand kleiner (tussen 20 m en 88 m). Voor deze simulaties wordt het positieve extremum met maximaal 34 % over- of onderschat door VUL_SLUIS of LOCKFILL en het negatieve extremum met maximaal 24 % onderschat. De in de sluiskolk opgemeten waterspiegelhellingen betreffen enkel waterspiegelhellingen ten gevolge van translatiegolven. De demping van de met LOCKFILL en VUL_SLUIS berekende langskrachten is minder uitgesproken dan de demping van de tijdens de terreinmeting opgemeten waterspiegelhellingen.

Daarna zijn de waterspiegelhellingen H14, H24, H57 en H58 uit de terreinmeting vergeleken met de waterspiegelhellingen tussen dezelfde locaties berekend met VUL_SLUIS, zowel voorafgaand als na uitvoeren van smoothing en demping van translatiegolven. Vooreerst wordt vastgesteld dat de opgemeten waterspiegelhellingen schommelen rond nul, omwille van het feit dat deze veroorzaakt worden door translatiegolven in de sluiskolk. De periode van de met VUL_SLUIS berekende waterspiegelhellingen komt voor alle simulaties en voor alle beschouwde waterspiegelhellingen relatief goed overeen met de periode van de opgemeten waterspiegelhellingen. De eerste positieve en negatieve piek van de waterspiegelschommelingen, dewelke ook de positieve en negatieve extreme waarde zijn, worden relatief goed benaderd met nog een zekere over- en onderschatting. De demping van de translatiegolven is in VUL_SLUIS minder uitgesproken dan bij de waterspiegelhellingen uit de terreinmeting. Slechts enkele (zowel positieve als negatieve) extrema van de opgemeten waterspiegelhellingen worden overschat door VUL_SLUIS, het merendeel wordt onderschat.

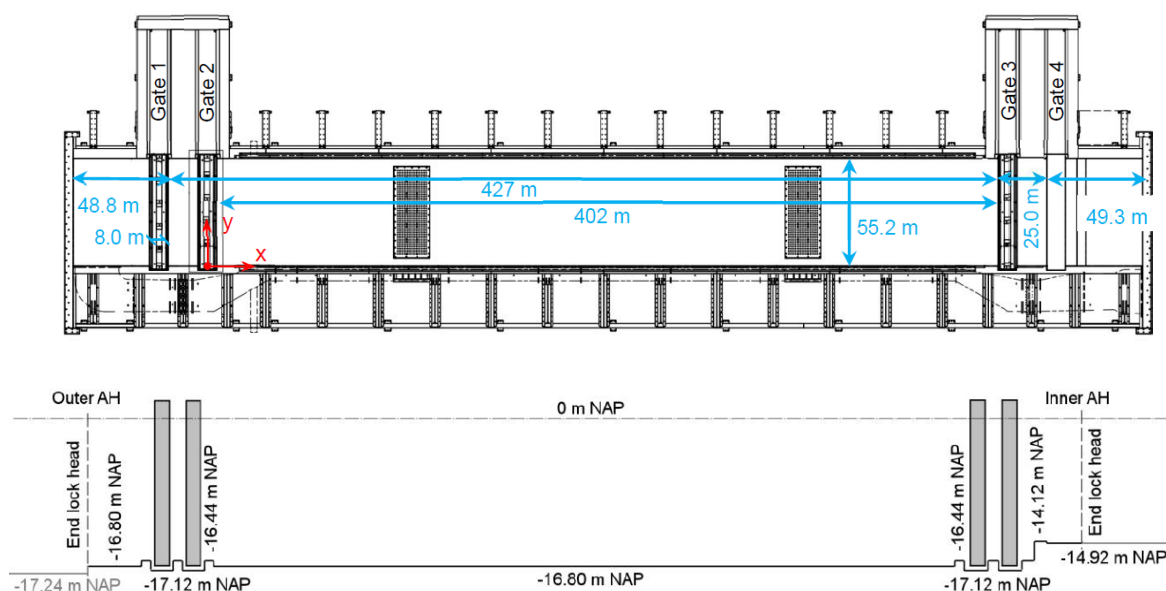
De overschatting bedraagt maximaal 39 %, met uitzondering van het negatieve extremum bij één simulatie met een overschatting van 79 %. De onderschatting van de extrema van de opgemeten waterspiegelhellingen bedraagt maximaal 67 %, met uitzondering van één simulatie met een onderschatting tot 163 %. Aangezien het positieve en het negatieve extremum van de waterspiegelhellingen de eerste positieve en negatieve piek betreffen, heeft het uitvoeren van smoothing en damping van translatiegolven weinig invloed op de grootte van het positieve en negatieve extremum. De damping van translatiegolven heeft voornamelijk invloed naar het einde van de nivellering toe.

7 Validatie met resultaten schaalmodel- onderzoek Nieuwe Sluis Terneuzen

7.1 Algemeen

Het sluizencomplex van Terneuzen is gesitueerd aan de ingang van het kanaal Gent-Terneuzen tussen de Westerschelde en het kanaal Gent-Terneuzen. Het huidige sluizencomplex bestaat uit drie sluizen met verschillende afmetingen: de Oostsluis (lengte: 280 m, breedte: 23.0 m), de Middensluis (lengte: 140 m, breedte: 18.0 m) en de Westsluis (lengte: 290 m, breedte: 40 m). De Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie bouwt een nieuwe grotere sluis (lengte: 452 m, breedte: 55 m) in het sluizencomplex van Terneuzen. Hierbij wordt de middensluis afgebroken. Het drempelpeil van de nieuwe sluis bedraagt -16.44 mNAP aan Scheldezijde en -14.12 mNAP aan kanaalzijde, het bodempeil van de sluis bedraagt -16.80 m NAP. Figuur 58 geeft een voorstelling van het ontwerp voor de Nieuwe Sluis Terneuzen. Zowel aan Scheldezijde als aan kanaalzijde zijn er twee roldeuren per sluishoofd. Het finale ontwerp van het nivelleersysteem van de nieuwe sluis betreft een langsruiol met bodemroosters.

Voor het ontwerp van het nivelleersysteem van de Nieuwe Sluis Terneuzen wordt de configuratie waarbij de sluiskolk afgesloten wordt door telkens de buitenste roldeur van één sluishoofd en de binnenste roldeur van het andere sluishoofd als standaardconfiguratie beschouwd. Op deze wijze wordt een lengte van de sluiskolk van 427 m bekomen. Het ontwerpschip voor het ontwerp van het nivelleersysteem betreft een bulk-carrier met lengte 265 m en breedte 40.0 m. De diepgang van dit schip bedraagt getijonafhankelijk 12.5 m en getij-afhankelijk 14.5 m.



Bron: van der Hout et al. (2019); Inner AH, Outer AH = Inner approach harbour, outer approach harbour

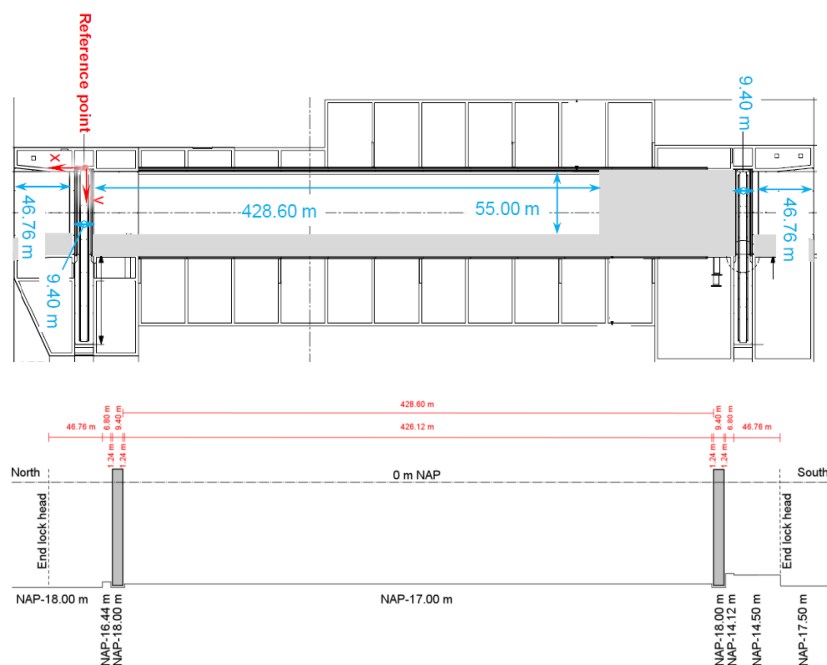
Figuur 58 – Ontwerp Nieuwe Sluis Terneuzen

Het streefpeil van het kanaal Gent-Terneuzen bedraagt +2.13 mNAP, met een bovengrens van +2.38 mNAP en een ondergrens van +1.88 m NAP. De karakteristieke waterpeilen voor de Westerschelde ter plaatse van Terneuzen worden gegeven in Tabel 37.

Tabel 37 – Karakteristieke waterpeilen in Westerschelde te Terneuzen

	Laagwater	Hoogwater
Gemiddeld doottij	-1.56 mNAP	+1.76 mNAP
Gemiddeld getij	-1.89 mNAP	+2.29 mNAP
Gemiddeld springtij	-2.13 mNAP	+2.29 mNAP

Tijdens het voorontwerp van de nieuwe sluis zijn ook openingen in de roldeuren afgesloten met hefschuiven beschouwd. Hierbij werden 12 cirkelvormige openingen met diameter 2.2 m in de roldeuren beschouwd. In het voorontwerp bevonden de schuiven zich op de beplating van de roldeuren. Aan kolkzijde werden hierbij ook breekbalken op de beplating voorzien. Om de krachten ten gevolge van de densiteitstromingen bij nivelleren van de sluiskolk en tijdens het openen van de roldeur te begroten zijn door Deltares tijdens het voorontwerp een aantal schaalmodelproeven uitgevoerd. De uitgevoerde schaalmodelproeven zijn gerapporteerd in Dos Santos Nogueira *et al.* (2016). Voor deze schaalmodelproeven werd het bestaande schaalmodel voor de sluis van IJmuiden aangepast zoals afgebeeld in Figuur 59. Het schaalmodel (schaal 1:40) werd versmald tot een breedte van 1.375 m en de lengte werd ingekort tot 10.715 m met behulp van een dichte plaat. In prototype komen deze afmetingen overeen met een breedte gelijk aan 55.0 m en een lengte van de sluiskolk gelijk aan 428.6 m. Aan afwaartse zijde worden bijgevolg de deurkamers van de roldeuren niet beschouwd. Eén deurkamer met roldeur aan opwaartse zijde is aanwezig in het schaalmodel. Voorafgaand aan de proeven met densiteitsverschil werden ook 6 proeven met zoet water en schip in de sluiskolk uitgevoerd met het oog op de validatie van LOCKFILL door Deltares. Deze 6 proeven zijn beschouwd voor de validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL in dit rapport.



Figuur 59 – Afmetingen schaalmodel Nieuwe Sluis Terneuzen

7.2 Geselecteerde cases voor validatie

Voor validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL zijn zes schaalmodelproeven beschouwd die uitgevoerd zijn met zoet water en met het ontwerpschip in de sluiskolk. Tabel 38 geeft een overzicht van de inputparameters voor deze 6 beschouwde cases. Vier cases betreffen vullen van de sluiskolk via het binnenhoofd (aan kanaalzijde), twee cases betreffen ledigen van de sluiskolk via het binnenhoofd (aan kanaalzijde). Tabel 39, respectievelijk Tabel 40 geven de toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt, respectievelijk de toegepaste openingswetten van de hefschuiven. De verschillende afmetingen en waarden uit deze tabellen zijn overgenomen uit Dos Santos Nogueira *et al.* (2016).

Bij deze tabellen wordt het volgende opgemerkt:

- In het schaalmodel zijn afmetingen voor lengte sluiskolk en bodempeil sluiskolk beschouwd, die beperkt afwijken van de afmetingen van het ontwerp van de sluis uit Figuur 58. Zo is een lengte van de sluiskolk beschouwd die gelijk is aan 428.6 m in plaats van 427.0 m en een bodempeil van de sluiskolk gelijk is aan -17.0 mNAP in plaats van 16.8 m NAP.
- In het schaalmodel is aan beide zijden van de aanwezige roldeur een opblaasbare afdichting aanwezig om lekkage te voorkomen. Bijgevolg zal de deurkas van deze roldeur tijdens het nivelleren niet vullen, in tegenstelling tot de toestand in prototype. Bij het uitvoeren van de simulaties is een minimale oppervlakte van 30 m² voor de deurkas van de roldeur beschouwd. Deze waarde is overgenomen uit de inputfile van LOCKFILL die door Deltares is opgeleverd in het kader van een gezamenlijke validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL door WL en Deltares. Vermoedelijk is deze oppervlakte toegevoegd om rekening te houden met het feit dat deze opblaasbare afdichting zich iets buiten de kolkwand bevindt.
- Omwille van de invloed van dichtheitsverschillen tussen voorhaven en achterhaven zijn bij het ontwerp van de sluisdeuren voor Nieuwe Sluis Terneuzen de nivelleeropeningen in het midden van de initiële waterdiepte in de kolk voorzien. De onderzijde van de openingen in de sluisdeur bevindt zich bijgevolg beduidend hoger dan bij de sluizen die in de vorige hoofdstukken beschouwd zijn.
- De onderzijde van de hefschuiven in het schaalmodel bevindt zich 0.36 m lager dan de onderrand van de openingen. De hefschuiven worden in gesloten toestand tegen de openingen geduwd. Hierbij is tussen de openingen en de hefschuiven nog een rubberen afdichting aanwezig. Wanneer de hefschuiven zich openen, bewegen deze eerst van de openingen weg, alvorens een opwaartse beweging te maken. Hierdoor ontstaat een kleine opening tussen de hefschuif en de rubberen afdichting. De lekkage door deze kleine opening heeft geen invloed op de translatiegolven in de sluiskolk. De variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen vertoont bij het begin van de nivellering echter een klein plateau bij een zeer laag debiet ten gevolge van deze lekkage. Om deze lekkage bij het uitvoeren van de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL in rekening te brengen zijn de hefschuiven bij het begin van de nivellering gedurende een beperkte periode (tussen 22.5 s en 91.6 s) geopend en daarna opnieuw gestopt. Indien deze eerste stop buiten beschouwing gelaten wordt, wordt vastgesteld dat bij openingswetten O1 tot en met O4 de hefschuiven met een constante openingssnelheid geopend worden. Bij openingswetten O5 en O6 worden de hefschuiven, buiten deze eerste periode, geopend met een constante openingssnelheid en twee tussenstops.
- Op basis van de schaalmodelproeven uitgevoerd voor de Nieuwe Sluis Terneuzen werd door Deltares een kalibratie van LOCKFILL uitgevoerd. Hieruit volgde een betere overeenkomst met de schaalmodelresultaten wat betreft berekende langskrachten op het schip bij verlaging van de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven van 0.40 naar 0.05. Om dit te controleren worden de simulaties met VUL_SLUIS in dit hoofdstuk zowel uitgevoerd met de waarde 0.40 als met de waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven.

Tabel 38 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten schaalmodelproeven Nieuwe Sluis Terneuzen

	Eenheid	001	002	003	004	005	006
		T2 1.09	T2 1.10	T2 1.11	T2 1.12	T2 1.13	T2 1.14
		Ledigen	Vullen	Ledigen	Vullen	Vullen	Vullen
		Kanaalzijde	Kanaalzijde	Kanaalzijde	Kanaalzijde	Kanaalzijde	Kanaalzijde
OPWAARTS KANAALPAND							
Peil opwaarts pand	[mNAP]	2.16	2.17	2.16	2.19	2.17	2.12
SLUISKOLK							
Lengte sluiscolk	[m]	428.6	428.6	428.6	428.6	428.6	428.6
Breedte sluiscolk	[m]	55	55	55	55	55	55
Bodempeil sluiscolk	[mNAP]	-17.00	-17.00	-17.00	-17.00	-17.00	-17.00
Initiele waterstand kolk	[mNAP]	4.63	-2.70	4.57	-2.67	-2.68	-2.69
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP							
Lengte	[m]	265.00	265.00	265.00	265.00	265.00	265.00
Breedte schip	[m]	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Diepgang	[m]	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
Massa	[ton]	98436.00	98436.00	98436.00	98436.00	98436.00	98436.00
Hoek boeg in de verticale	[°]	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluiscolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.42	0.64	0.42	0.63	0.63	0.64
HEFSCHUIVEN							
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Type vulopeningen	[-]	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig	cirkelvormig
Aantal openingen	[-]	12	12	12	12	12	12
Diameter openingen	[m]	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Afvoercoëfficiënt	[-]	H1	H2	H1	H2	H2	H2
Openingssnelheid v _n	[m/s]	O1	O2	O3	O4	O5	O6
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiscolk (bij begin nivellering)	[-]	0.0383	0.0580	0.0385	0.0579	0.0579	0.0580
VLINDERKLEPPEN							
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diameter vulopening (cirkelvormige opening)	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek gesloten stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek open stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid v _n	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluiscolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Breekbalken							
Niveau bovenkant vulopeningen	[mNAP]	-9.315	-9.315	-9.315	-9.315	-9.315	-9.315
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	5.485	5.485	5.485	5.485	5.485	5.485
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	73.92	73.92	73.92	73.92	73.92	73.92
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur							
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	30	30	30	30	30	30
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	0	0	0	0	0	0
Extra uitvoerpunten							
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

Tabel 39 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt van de openingen in de roldeur

Relatieve hefhoogte	H1	H2
[m/m]	[-]	[-]
0.00	0.880	0.880
0.15	0.880	0.884
0.20	0.859	0.859
0.50	0.746	0.849
1.00	0.682	0.614

Tabel 40 – Toegepaste waarden voor de openingswet van de hefschuiven

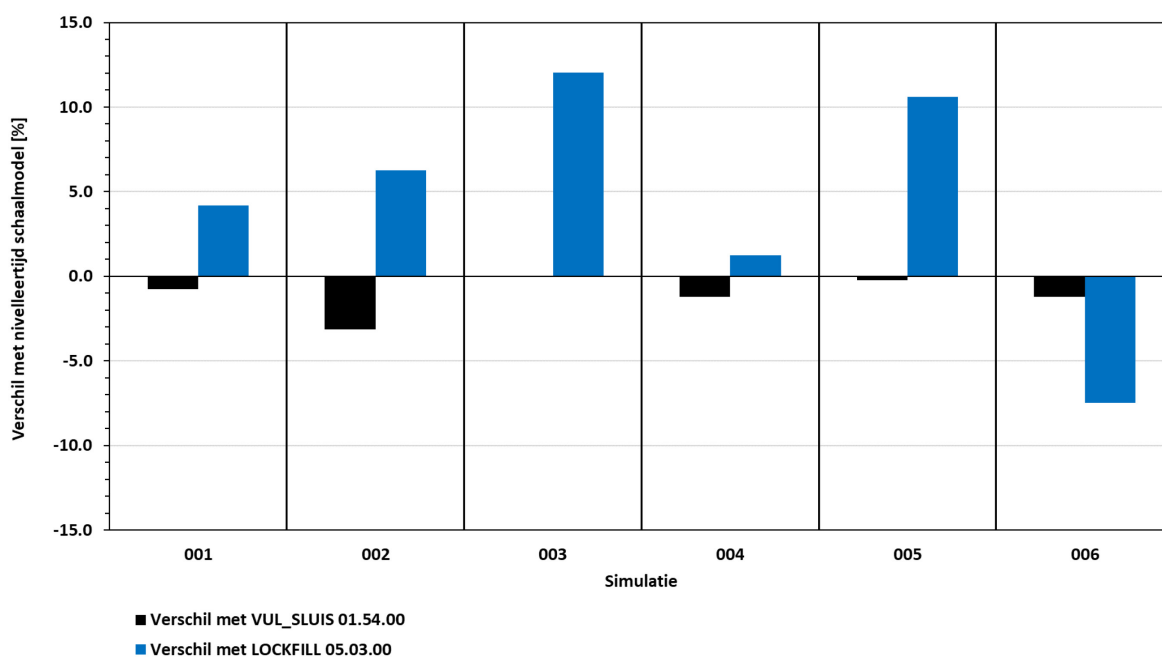
Openingswet O1		Openingswet O2		Openingswet O3		Openingswet O4		Openingswet O5		Openingswet O6	
Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid	Tijd	Openings-snelheid
[s]	[m/s]	[s]	[m/s]	[s]	[m/s]	[s]	[m/s]	[s]	[m/s]	[s]	[m/s]
0.0	0.0011	0.0	0.0011	0.0	0.0030	0.0	0.0011	0.0	0.0030	0.0	0.0030
91.5	0.0011	62.5	0.0011	32.5	0.0030	62.5	0.0011	22.5	0.0030	22.5	0.0030
91.6	0.0000	62.6	0.0000	32.6	0.0000	62.6	0.0000	22.6	0.0000	22.6	0.0000
450.0	0.0000	385.0	0.0000	155.0	0.0000	125.0	0.0000	120.0	0.0000	120.0	0.0000
>450.1	0.0010	>385.1	0.0010	>155.1	0.0030	>125.1	0.0030	120.1	0.0030	120.1	0.0030
								410.0	0.0030	410.0	0.0030
								410.1	0.0000	410.1	0.0000
								1288.0	0.0000	800.0	0.0000
								>1288.1	0.0030	>800.1	0.0030

7.3 Resultaten validatie

Figuur 108 en Figuur 109 in Bijlage 6 vergelijken voor de zes beschouwde cases de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met dit uit de schaalmodelproeven. Uit deze figuren volgt een goede overeenkomst tussen de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en de waarden uit het schaalmodelonderzoek. Echter het waterpeil in de sluiskolk berekend met LOCKFILL overschat het opgemeten waterpeil beduidend bij ledigen en onderschat dit bij vullen. Het debiet door de nivelleeropeningen berekend met LOCKFILL is ook in de tijd verschoven ten opzichte van het debiet uit de schaalmodelproeven. Ook is de maximale waarde van het debiet berekend met LOCKFILL beduidend hoger, respectievelijk lager dan het debiet uit het schaalmodel bij ledigen, respectievelijk vullen van de sluiskolk. Dit zijn beduidende verschillen tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL. Echter de input voor beide programma's is nagenoeg hetzelfde. Het enige verschil betreft de wijze waarop de cirkelvormige openingen met hefschuiven opgegeven zijn in de inputfile. In VUL_SLUIS is het mogelijk om het aantal openingen en de diameter op te geven. Het debiet door de opening wordt dan aan de hand van de wiskundige formulering voor de sectie onder de hefschuif berekend. In LOCKFILL echter wordt een tabel opgegeven met de variatie van de breedte van de openingen in functie van de relatieve hefhoogte. Vermoedelijk wordt het verschil in berekende debiet door de nivelleeropeningen en het waterpeil in de sluiskolk tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL veroorzaakt door de wijze van interpolatie in de tabel met opgegeven breedtes van de cirkelvormige openingen in LOCKFILL.

Voor de vergelijking van de variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door de nivelleeropeningen zijn de waarden voor de berekende statistische parameters gegeven in Tabel 63 in Bijlage 6. Uit deze tabel volgt dat de bias tussen het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en dit opgemeten in het schaalmodel varieert tussen -0.02 m en 0.06 m met een gemiddelde waarde van 0.02 m. De root-mean-square error en de standaarddeviatie variëren tussen 0.02 m en 0.07 m. Voor de simulaties uitgevoerd met LOCKFILL wordt een bias berekend tussen het waterpeil in de sluiskolk en dit berekend met LOCKFILL die varieert tussen -0.32 m en 0.11 m, met een gemiddelde van -0.05 m. De root-mean-square error en de standaarddeviatie variëren tussen 0.06 m en 0.38 m.

Voor alle uitgevoerde simulaties vergelijkt Tabel 64 in Bijlage 6 de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met de nivelleertijd uit de schaalmodelproeven. Hierbij wordt de nivelleertijd met restverval 0.05 m beschouwd. Figuur 49 geeft het procentueel verschil tussen de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de nivelleertijd uit het schaalmodelonderzoek. Uit deze figuur volgt dat VUL_SLUIS de nivelleertijd voor alle simulaties beperkt onderschat met maximaal 3.2 % en dat LOCKFILL de nivelleertijd overschat met maximaal 12.0 %.

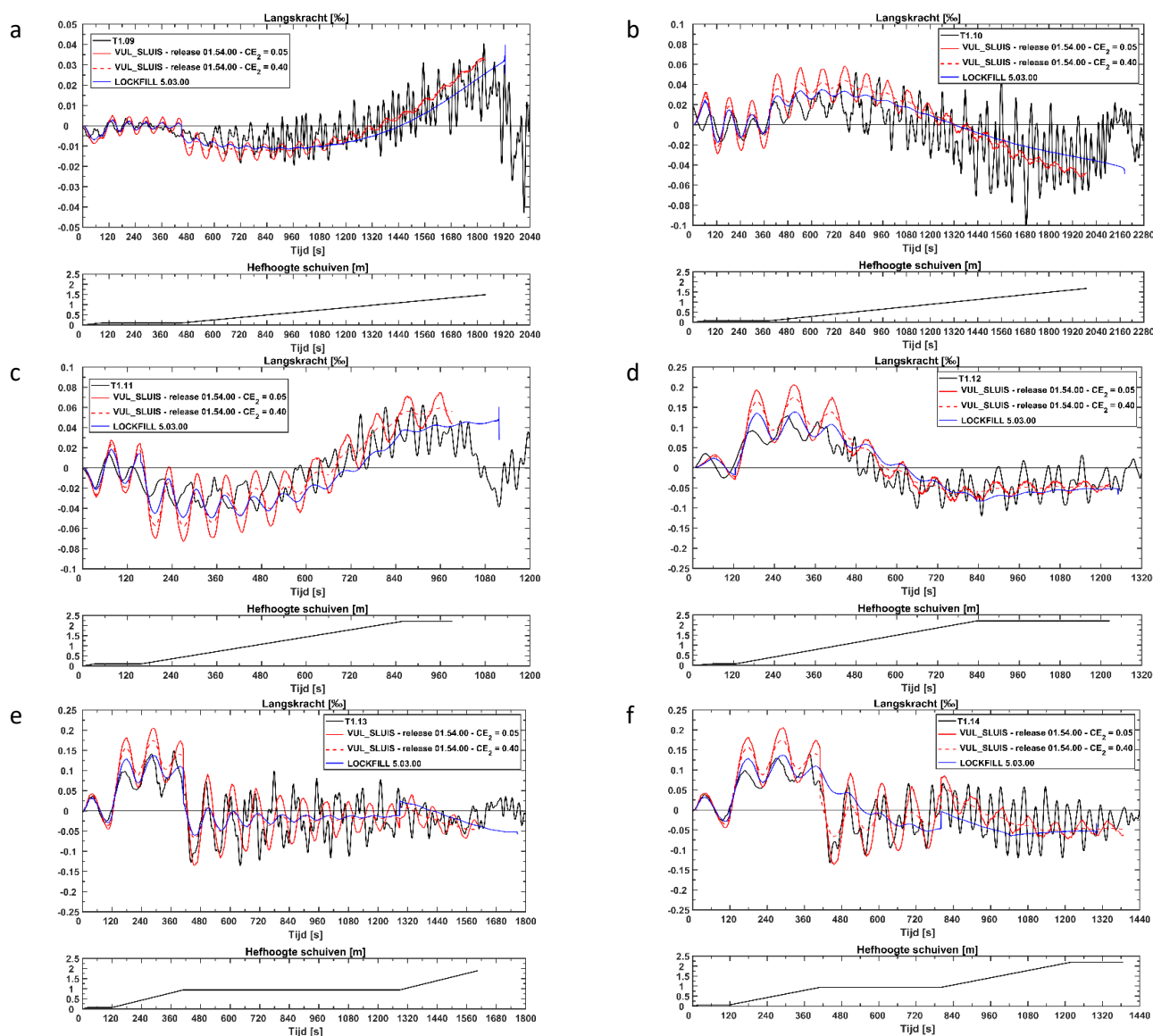


Figuur 60 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit schaalmodelonderzoek en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Voor alle uitgevoerde simulaties vergelijkt Figuur 61 de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met de langskracht op het schip opgemeten tijdens het schaalmodelonderzoek. Met VUL_SLUIS is de langskracht op het schip zowel berekend met waarde 0.05 als met een waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 die de demping van translatiegolven beschrijft. Vooreerst wordt vastgesteld dat zowel de opgemeten als de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskrachten op het schip bij vullen (respectievelijk ledigen) eerst positief (respectievelijk negatief) zijn en naar het einde van de nivellering toe negatief (respectievelijk positief), daarna terug positief (respectievelijk negatief) worden. Controle in de resultaten van de simulatie met VUL_SLUIS leert dat dit verloop aanwezig is in de component ten gevolge van translatiegolven. Dit verloop kan verklaard worden door het feit dat de blokkering van de natte sectie van de sluiskolk door het schip relatief groot is. Bij het begin van de nivellering varieert deze tussen 42 % en 64 %. Hierdoor zal het schip bij het begin van de nivellering bij vullen van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur weggeduwd worden en bij ledigen naar de voor nivelleren gebruikte sluisdeur toe getrokken worden. Op deze wijze wordt een primaire translatiegolf met zeer grote periode (ca. de helft van de nivelleertijd) gevormd. Bovenop deze primaire golf ontstaan dan de secundaire translatiegolven met een beduidend kleinere periode.

Bij simulatie 001, 002 en 004 worden de hefschuiven geopend met een grotere hefsnelheid dan bij simulaties 003, 005 en 006. Bij simulatie 001, 002 en 004 wordt vastgesteld dat gedurende de eerste 120 s, de fase waarbij de hefschuif initieel kort geopend wordt, de overeenkomst tussen de met VUL_SLUIS en met LOCKFILL berekende langskracht op het schip en de langskracht uit het schaalmodel niet goed is. Bij sneller openen van de hefschuiven wordt gedurende deze eerste fase wel een goede overeenkomst met de opgemeten langskracht bekomen. Na deze eerste fase is er bij alle simulaties een goede overeenkomst tussen de periode van de met LOCKFILL en met VUL_SLUIS berekende langskrachten en deze van de langskrachten uit het schaalmodelonderzoek. Niettegenstaande de hierboven vermelde verschillen in variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL worden met LOCKFILL langskrachten op het schip berekend met dezelfde periode als bij de langskrachten berekend met VUL_SLUIS. De amplitude van de met beide programma's berekende langskrachten is wel verschillend. Bij alle simulaties wordt vastgesteld dat de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS met een coëfficiënt $CE_2 = 0.05$ groter is dan deze van de langskrachten berekend met LOCKFILL.

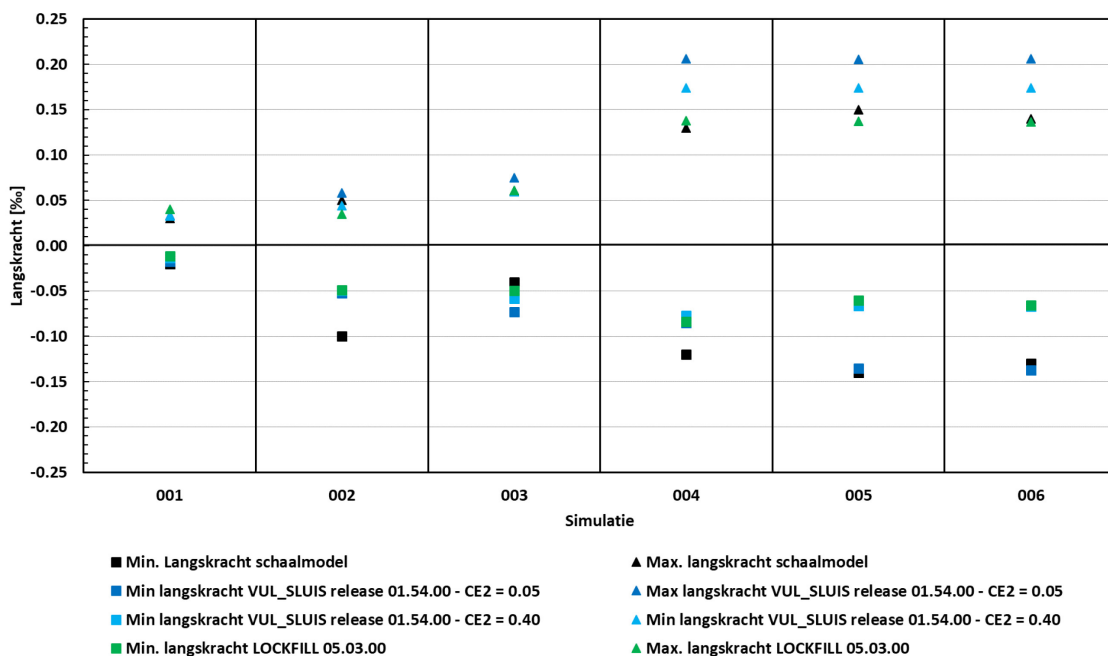
Bij verhoging van de coëfficiënt CE_2 naar 0.40 neemt de damping van de translatiegolven toe naar het einde van de nivellering en wordt een betere overeenkomst bekomen tussen de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS en deze van de langskrachten berekend met LOCKFILL. Voor alle simulaties geldt ook dat de amplitude van de eerste piek in de langskrachten berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL goed overeenkomt met deze van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel, onafhankelijk van de waarde van de coëfficiënt CE_2 . Daarna volgt bij alle simulaties dat de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.05$ een overschatting is van de amplitude van de langskrachten uit het schaalmodelonderzoek. Door de hogere waarde van de coëfficiënt CE_2 voor de damping van translatiegolven in LOCKFILL is de overeenkomst tussen de berekende en opgemeten amplitude van de langskrachten op het schip beter. Echter in het laatste gedeelte van de nivellering is de damping van de translatiegolven bij alle simulaties zowel bij VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.05$ als bij VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.40$, als bij LOCKFILL beduidend groter dan deze van de langskrachten opgemeten tijdens het schaalmodelonderzoek.



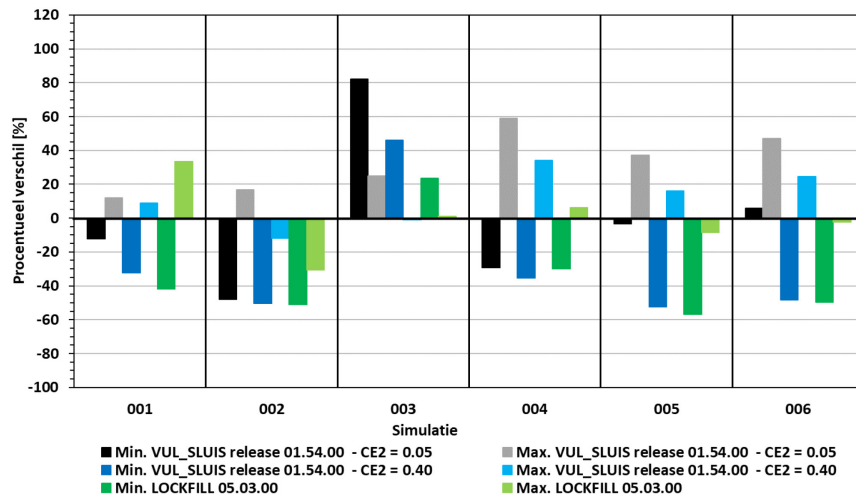
Figuur 61 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van langskracht uit schaalmodelproeven voor simulaties 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e) en 006 (f)

Voor alle uitgevoerde simulaties geeft Tabel 65 in Bijlage 6 en Figuur 62 een overzicht van de extreme waarden van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de langskracht opgemeten op het schaalmodel. De procentuele verschillen tussen de extreme waarden van de berekende en opgemeten langskracht op het schip zijn grafisch voorgesteld in Figuur 63. Voor de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.05$ volgt uit deze tabel en deze figuren dat het positieve extremum bij alle simulaties overschat wordt tot 60 %. Met uitzondering van simulatie 003 met een overschatting van 82 % en simulatie 006 met een overschatting van 6 % wordt het negatieve extremum van de opgemeten langskrachten bij de overige simulaties tot 48 % onderschat door VUL_SLUIS. Na verhoging van de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven naar 0.40 wordt het positieve extremum van de opgemeten langskrachten overschat door VUL_SLUIS met 33%, met uitzondering van simulatie 002 en 003 met een onderschatting tot 12 %. Het negatieve extremum van de opgemeten langskrachten wordt, met uitzondering van simulatie 003 met een overschatting van 45 %, bij alle overige simulaties tot 53 % onderschat door VUL_SLUIS. Voor de simulatie met LOCKFILL geldt een analoge conclusie als bij de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.40$. Het positieve extremum van de opgemeten langskrachten wordt, met uitzondering van simulaties 002, 005 en 006 met een onderschatting tot 31 %, overschat met maximaal 33 %. Het negatieve extremum van de opgemeten langskrachten wordt, met uitzondering van simulatie 003 met een overschatting van 24 %, bij alle overige simulaties tot 57 % onderschat door LOCKFILL.

Uit bovenstaande vaststellingen volgt dat, specifiek voor de zes beschouwde simulaties voor de Nieuwe Sluis Terneuzen, door het beschouwen van $CE_2 = 0.05$ bij de demping van translatiegolven niet noodzakelijk betere overeenkomsten met de opgemeten langskrachten bekomen worden dan bij het beschouwen van $CE_2 = 0.40$. Uit de vergelijking van de variatie in de tijd van de opgemeten en de berekende langskrachten volgt een demping van translatiegolven die afhankelijk is van het moment tijdens de nivellering. Vermoedelijk wordt de demping van de translatiegolven bijvoorbeeld ook beïnvloed door bijvoorbeeld het waterpeil in de sluisolk.



Figuur 62 – Vergelijking extreme waarde langskracht op schip uit schaalmodelonderzoek met extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL



Figuur 63 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met de extreme waarde van de langskracht op het schip uit het schaalmodelonderzoek

7.4 Samenvatting resultaten

Uit de validatie volgt voor de zes beschouwde cases een goede overeenkomst tussen de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en de waarden uit het schaalmodelonderzoek. Echter het waterpeil in de sluiskolk berekend met LOCKFILL overschat het opgemeten waterpeil beduidend bij ledigen en onderschat dit bij vullen. Het debiet door de nivelleeropeningen berekend met LOCKFILL is ook in de tijd verschoven ten opzichte van het debiet uit de schaalmodelproeven. Dit zijn beduidende verschillen tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL, alhoewel de input voor beide programma's zo goed als identiek is, met uitzondering van de wijze waarop de cirkelvormige openingen in de inputfile voor beide programma's zijn ingegeven. De interpolatie in een tabel met de variatie van de breedte van de opening in functie van de hefhoogte in LOCKFILL is vermoedelijk de oorzaak voor deze beduidende verschillen.

De bias tussen het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en dit opgemeten in het schaalmodel varieert tussen -0.02 m en 0.06 m met een gemiddelde waarde van 0.02 m. De root-mean-square error en de standaarddeviatie variëren tussen 0.02 m en 0.07 m. Voor de simulaties uitgevoerd met LOCKFILL wordt een bias berekend tussen het opgemeten waterpeil in de sluiskolk en dit berekend met LOCKFILL die varieert tussen -0.32 m en 0.11 m, met een gemiddelde van -0.05 m. De root-mean-square error en de standaarddeviatie variëren tussen 0.06 m en 0.38 m. De nivelleertijd uit het schaalmodel wordt door VUL_SLUIS onderschat met 3.2 % en door LOCKFILL overschat met maximaal 12.0 %.

Zowel de opgemeten als de met VUL_SLUIS en LOCKFILL berekende langskrachten op het schip bij vullen (respectievelijk ledigen) zijn eerst positief (respectievelijk negatief) van teken en worden naar het einde het einde van de nivellering toe negatief (respectievelijk positief). Dit verloop is aanwezig in de component ten gevolge van translatiegolven en kan verklaard worden door de relatief grote blokkering van de natte sectie van de sluiskolk door het schip bij het begin van de nivellering. Hierdoor wordt bij vullen het schip van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur weggeduwd en bij ledigen naar de voor nivelleren gebruikte sluisdeur toe getrokken. Op deze wijze wordt een primaire translatiegolf met zeer grote periode (ca. de helft van de nivelleertijd) gevormd. Boven op deze primaire golf ontstaan dan de secundaire translatiegolven met een beduidend kleinere periode.

Voor alle simulaties vertonen de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL een relatief goede overeenkomst met de op het schaalmodel opgemeten langskrachten. De amplitude van de eerste piek in de langskrachten berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL komt voor alle simulaties goed overeenkomt met deze van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel, onafhankelijk van de waarde van de coëfficiënt CE_2 . Daarna volgt bij alle simulaties dat de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.05$ groter is dan deze berekend met LOCKFILL, dewelke een betere overeenkomst heeft met de amplitude van de langskrachten uit het schaalmodelonderzoek.

Bij verhoging van de coëfficiënt CE_2 naar 0.40 in VUL_SLUIS neemt de damping van de translatiegolven toe naar het einde van de nivellering en wordt een betere overeenkomst bekomen. Naar het einde van de nivellering toe echter is de damping van de translatiegolven bij alle simulaties zowel bij VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.05$ als bij VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.40$, als bij LOCKFILL beduidend groter dan deze van de langskrachten opgemeten tijdens het schaalmodelonderzoek.

Voor de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.05$ volgt dat het positieve extremum bij alle simulaties overschat wordt tot 60 %. Met uitzondering van één simulatie met een overschatting van 82 % wordt het negatieve extremum van de opgemeten langskrachten bij de overige simulaties tot 48 % onderschat door VUL_SLUIS. Na verhoging van de coëfficiënt CE_2 voor de damping van translatiegolven naar 0.40 verlaagt de overschatting, respectievelijk onderschatting van het positieve extremum, respectievelijk het negatieve extremum van de opgemeten langskrachten met ca. 30 % met uitzondering van enkele simulaties waarbij de overschatting een beperkt onderschatting wordt en omgekeerd.

Voor de simulatie met LOCKFILL geldt een analoge conclusie als bij de simulaties uitgevoerd met VUL_SLUIS met $CE_2 = 0.40$. Het positieve extremum van de opgemeten langskrachten wordt, met uitzondering van drie simulaties met een onderschatting tot 31 %, overschat met maximaal 33 %. Het negatieve extremum van de opgemeten langskrachten wordt met uitzondering van één simulatie met een overschatting van 24 %, bij alle overige simulaties tot 57 % onderschat door LOCKFILL.

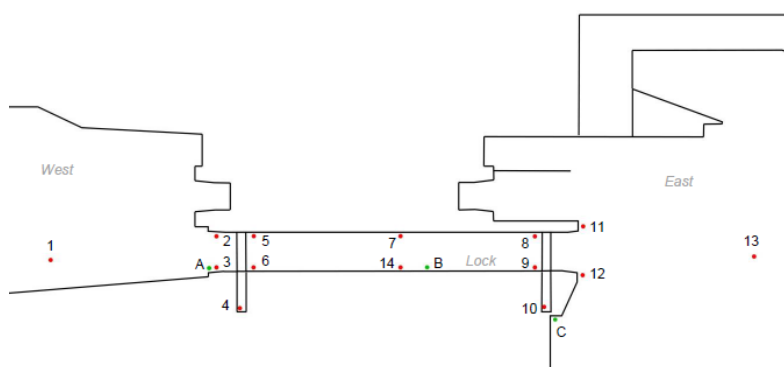
Uit bovenstaande vaststellingen volgt dat, specifiek voor de zes beschouwde simulaties voor de Nieuwe Sluis Terneuzen, het beschouwen van $CE_2 = 0.05$ bij de demping van translatiegolven niet noodzakelijk aanleiding geeft tot betere overeenkomsten met de opgemeten langskrachten dan bij het beschouwen van $CE_2 = 0.40$. Uit de vergelijking van de variatie in de tijd van de opgemeten en de berekende langskrachten volgt een demping van translatiegolven die afhankelijk is van het moment tijdens de nivellering. Vermoedelijk wordt de demping van de translatiegolven bijvoorbeeld ook beïnvloed door bijvoorbeeld het waterpeil in de sluiskolk.

8 Validatie met resultaten schaalmodel-onderzoek Zeesluis IJmuiden

8.1 Algemeen

Het sluizencomplex van IJmuiden is gesitueerd aan de ingang van Noordzeekanaal naar de haven van Amsterdam. Het huidige sluizencomplex bestaat uit de Noordersluis (lengte: 400 m; breedte: 50 m), de Middensluis (lengte: 225 m, breedte: 25 m), de Zuidersluis (lengte: 120 m, breedte: 18 m), een spuisluis en een gemaal. In opdracht van Rijkswaterstaat wordt tussen de Noordersluis en de Middensluis een nieuwe sluis gebouwd door de aannemerscombinatie OpenIJ. De sluis wordt aan beide sluishoofden afgesloten met één roldeur. De lengte van de kolk tussen deze roldeuren is 500 m en de breedte van de sluiskolk is 70 m. Het bodempeil van de sluiskolk bevindt zich op -17.75 mNAP. Het nivelleersysteem bestaat uit 16 rechthoekige openingen breedte 2.2 m en hoogte 3.0 m in de roldeuren afgesloten met hefschuiven. De totale breedte van de rechthoekige openingen wordt hierdoor 35.2 m. De hartlijn van de openingen in de deuren bevindt zich op -10.25 mNAP. Het ontwerp van de sluis, alsook het ontwerp van het nivelleersysteem is uitgevoerd door OpenIJ.

Het definitieve ontwerp van het nivelleersysteem van OpenIJ is door Deltares getoetst aan de ontwerpcriteria aan de hand van een schaalmodel (op schaal 1:40). Een bovenaanzicht van dit schaalmodel is gegeven in Figuur 64.



Figuur 64 – Bovenaanzicht schaalmodel Zeesluis IJmuiden met aanduiding locatie waterstandssensoren

Na uitvoering van de schaalmodelproeven in opdracht van OpenIJ werden door Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat nog een aantal bijkomende schaalmodelproeven uitgevoerd.

De data van twee schaalmodelproeven in opdracht van OpenIJ en vijf schaalmodelproeven in opdracht van Rijkswaterstaat werden door Deltares aan WL ter beschikking gesteld in het kader van een gezamenlijke validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL door WL en Deltares.

8.2 Geselecteerde cases voor validatie

Voor de validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL worden zeven schaalmodelproeven op het schaalmodel van de Zeesluis IJmuiden beschouwd, namelijk twee schaalmodelproeven uitgevoerd door Deltares in opdracht van OpenIJ en vijf schaalmodelproeven uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat. Tabel 41 geeft een overzicht van de inputparameters voor deze 7 beschouwde cases. 4 cases betreffen vullen van de sluiskolk via het buitenhoofd (aan zeezijde), één case betreft het ledigen van de sluiskolk via het buitenhoofd, één case betreft het vullen van de sluiskolk via het binnenhoofd (aan kanaalzijde) en één case betreft het ledigen van de sluiskolk via het binnenhoofd. Tabel 42 geeft de toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt van de openingen in de roldeur.

Bij deze tabellen wordt het volgende opgemerkt:

- Alle gegevens uit de inputfiles voor deze simulaties zijn overgenomen uit de inputfiles van de simulaties uitgevoerd door Deltares in het kader van de gezamenlijke validatie van VUL_SLUIS en LOCKFILL door Deltares en WL.
- In het schaalmodel is een afmetingen voor de lengte van de sluiskolk (545.76 m) beschouwd, die groter is dan de lengte van het ontwerp van de sluis (500 m). De verklaring hiervoor is niet gekend.
- Omwille van de invloed van dichtheidsverschillen tussen voorhaven en achterhaven zijn bij het ontwerp van de sluisdeuren voor Nieuwe Sluis Terneuzen de nivelleeropeningen in het midden van de initiële waterdiepte in de kolk voorzien. De onderzijde van de openingen in de sluisdeur bevindt zich bijgevolg beduidend hoger dan bij de sluizen die in de hoofdstuk 2 tot en met hoofdstuk 6 beschouwd zijn.
- Analoog als in hoofdstuk 7 worden de simulaties in dit hoofdstuk zowel uitgevoerd met de waarde 0.40 als met de waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 voor de demping van translatiegolven.

Tabel 41 – Geselecteerde cases voor validatie met resultaten schaalmodelproeven IJmuiden

	Eenheid	001	002	003	004	005	006	007
		OpenIJ A3	OpenIJ A4	RWS T3.02	RWS T3.03	RWS T3.07	RWS T3.15	RWS T3.24
		Vullen	Ledigen	Vullen	Vullen	Vullen	Ledigen	Vullen
		Zeezijde	Zeezijde	Zeezijde	Zeezijde	Zeezijde	Kanaalzijde	Kanaalzijde
OPWAARTS KANAALPAND								
Peil opwaarts pand	[mNAP]	4.18	-0.75	4.00	4.01	1.20	-0.39	0.11
SLUISKOLK								
Lengte sluisolk	[m]	545.76	545.76	545	545	545	545	545
Breedte sluisolk	[m]	70	70	70	70	70	70	70
Bodempeil sluisolk	[mNAP]	-17.75	-17.75	-17.75	-17.75	-17.75	-17.75	-17.75
Initiele waterstand kolk	[mNAP]	-0.75	4.17	-0.70	-0.73	-0.41	1.17	-1.77
Ruwheid kolkwanden en kolkbodem	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
SCHIP								
Lengte	[m]	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00
Breedte schip	[m]	52.60	52.60	52.60	52.60	52.60	52.60	52.60
Diepgang	[m]	14.05	14.05	14.05	14.05	14.05	14.05	14.05
Massa	[ton]	190580.00	190580.00	190580.00	190580.00	190580.00	190580.00	190580.00
Hoek boeg in de verticale	[°]	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Hoek boeg in de horizontale	[°]	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	50.00	50.00	50.00	35.00	50.00	50.00	50.00
Ruwheid romp van het schip	[m]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (bij begin nivellering)	[-]	0.621	0.482	0.619	0.620	0.609	0.558	0.661
HEFSCHUIVEN								
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	3.00	3.00	3.04	3.04	2.20	2.20	2.20
Type vulopeningen	[-]	rechthoekig	rechthoekig	rechthoekig	rechthoekig	rechthoekig	rechthoekig	rechthoekig
Totale breedte openingen	[m]	35.2	35.2	31.36	31.36	31.36	31.36	31.36
Afvoercoëfficiënt	[-]	H1	H1	H2	H2	H2	H2	H3
Openingssnelheid v _h	[m/s]	0.0030	0.0030	0.0027	0.0027	0.0050	0.0050	0.0043
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	0.089	0.069	0.080	0.080	0.057	0.052	0.062
VLINDERKLEPPEN								
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Diameter vulopening (cirkelvormige opening)	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek gesloten stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Klephoek open stand	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid v _h	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verhouding totale oppervlakte openingen tot natte sectie sluisolk (bij begin nivellering)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Breekbalken								
Niveau bovenkant vulopeningen	[mNAP]	-8.75	-7.00	-7.00	-7.00	-7.00	-7.00	-7.00
Afstand onderkant opening tot kolkbodem	[m]	6.00	7.75	7.71	7.71	8.55	8.55	8.55
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	105.6	95.3	95.33	95.3	95.3	95.3	95.3
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0
Deurkas Roldeur								
Extra oppervlakte opwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra oppervlakte afwaarts	[m²]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten								
X-coördinaat opwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
X-coördinaat afwaarts uitvoerpunt	[m]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

n.v.t. = niet van toepassing

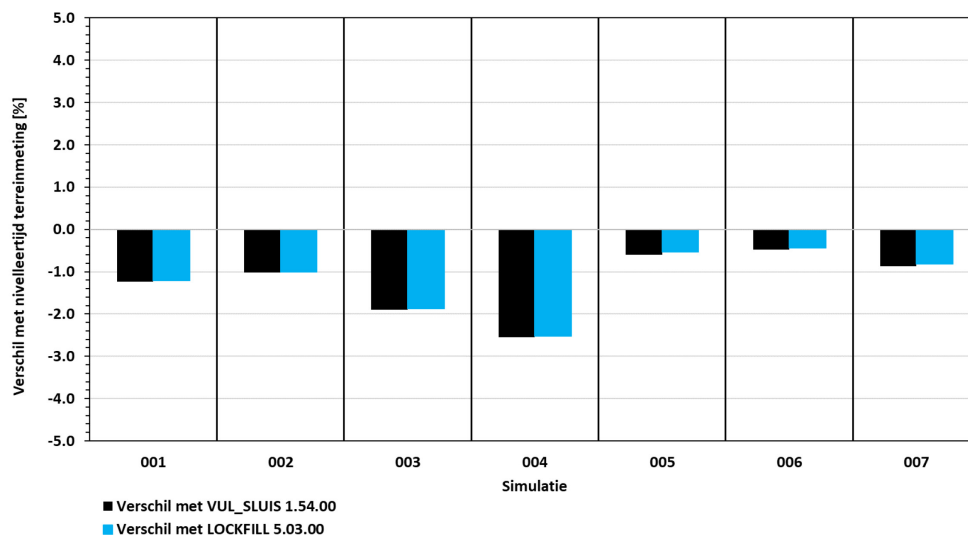
Tabel 42 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt van de openingen in de roldeur

Relatieve hefhoogte	H1	H2	H3
[m/m]	[-]	[-]	[-]
0.00	0.783	1.800	0.900
0.01	0.783	1.700	0.900
0.05	0.769	1.200	0.900
0.10	0.750	1.000	0.900
0.20	0.713	0.870	0.830
0.30	0.676	0.790	0.760
0.40	0.639	0.750	0.710
0.50	0.602	0.720	0.670
0.60	0.566	0.670	0.640
0.70	0.529	0.620	0.610
0.80	0.492	0.580	0.570
0.90	0.455	0.540	0.540
0.95	0.436	0.520	0.520
1.00	0.418	0.480	0.500

8.3 Resultaten validatie

Figuur 110 en Figuur 111 in Bijlage 7 vergelijken voor de zeven beschouwde cases de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met dit uit de schaalmodelproeven. Uit deze figuren volgt een goede overeenkomst tussen de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de waarden uit het schaalmodelonderzoek. Enkel voor simulatie 003 is het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL beperkt lager dan dit opgemeten in het schaalmodel. Bij deze figuren wordt opgemerkt dat het waterpeil in de voorhaven afneemt tijdens vullen van de sluiskolk en toeneemt bij ledigen, terwijl bij de simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL het waterpeil in de voorhaven constant blijft. Wat variatie in de tijd van het debiet betreft, wordt voor simulatie 001 en 002 een goede overeenkomst bekomen met de variatie in de tijd van het debiet uit het schaalmodelonderzoek. Bij de overige simulaties worden in de variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen opgemeten in het schaalmodel schommelingen met een grote periode vastgesteld in de debietskromme. Deze schommelingen zijn niet aanwezig in de variatie in de tijd van het debiet berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL. Er worden geen verschillen vastgesteld tussen variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL. Tabel 66 geeft een overzicht van de statistische parameters voor de vergelijking van variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door de nivelleeropeningen. De bias tussen het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL en dit opgemeten in het schaalmodel varieert tussen -0.06 m en 0.04 m met een gemiddelde waarde van 0.00 m. De root-mean-square error en de standaarddeviatie variëren tussen 0.01 m en 0.08 m.

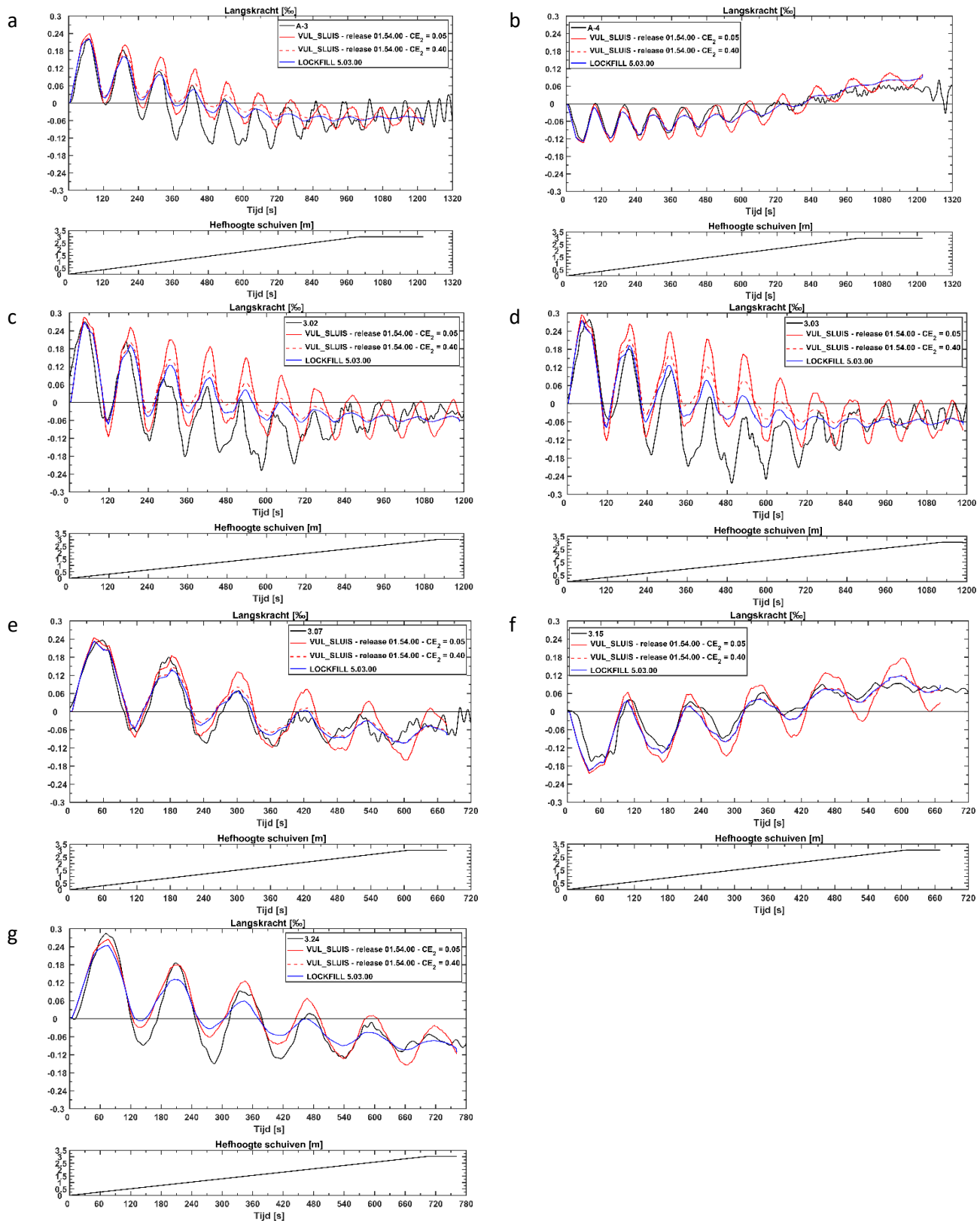
Voor alle uitgevoerde simulaties vergelijkt Tabel 68 in Bijlage 7 de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met de nivelleertijd uit de schaalmodelproeven. Hierbij wordt de nivelleertijd met restverval 0.05 m beschouwd. Figuur 65 geeft een grafische voorstelling van het procentueel verschil tussen de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de nivelleertijd uit het schaalmodelonderzoek. Uit deze figuur volgt dat VUL_SLUIS en LOCKFILL de nivelleertijd voor alle simulaties beperkt onderschatten met maximaal 2.6 %.



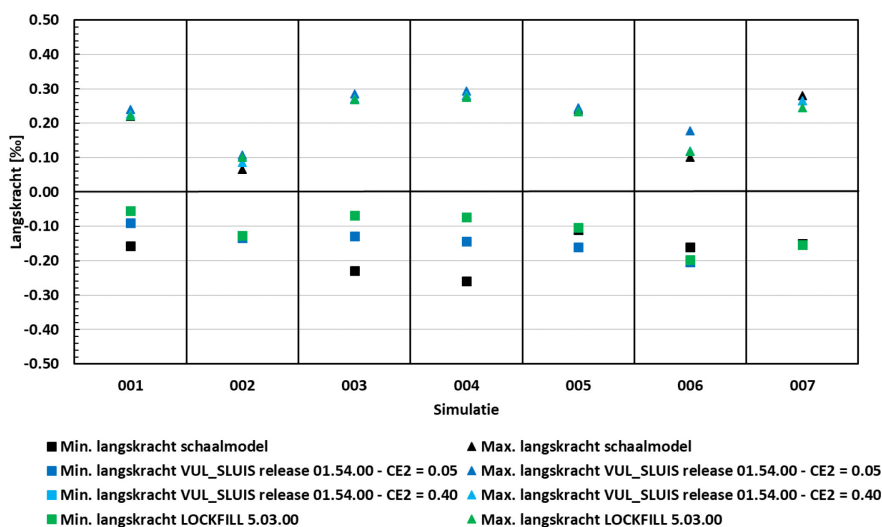
Figuur 65 – Procentueel verschil tussen nivelleertijd uit schaalmodelonderzoek en nivelleertijd uit simulaties met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Voor alle uitgevoerde simulaties vergelijkt Figuur 66 de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met de langskracht op het schip opgemeten tijdens het schaalmodelonderzoek. Met VUL_SLUIS is de langskracht op het schip zowel berekend met waarde 0.05 als met een waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 die de demping van translatiegolven beschrijft. Uit deze figuur volgt dat, analoog als bij de langskrachten op het schip in het schaalmodel van de Nieuwe Sluis Terneuzen, de langskracht bij vullen bij het begin van de nivellering positief is van teken (beweging van de roldeur weg) en aan het einde van de nivellering negatief van teken wordt (beweging naar de roldeur toe). Bij ledigen is de langskracht op het schip bij begin nivelleren negatief van teken en aan het einde van de nivellering wordt deze positief van teken. Bij alle simulaties wordt vastgesteld dat de periode van de langskracht berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL bij het begin van de nivellering een goede overeenkomst vertoont met de periode van de langskracht opgemeten in het schaalmodel. Naar het einde van de nivellering toe neemt de periode van de berekende langskracht beperkt toe, waardoor de overeenkomst met de periode van de opgemeten langskrachten iets minder goed wordt. De amplitude van de eerste positieve piek bij vullen en de eerste negatieve piek bij ledigen wordt voor alle simulaties door VUL_SLUIS en LOCKFILL goed benaderd. Naar het einde van de nivellering toe neemt de demping van de translatiegolven in VUL_SLUIS en LOCKFILL toe. Bij de simulatie met VUL_SLUIS met waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 die de demping van translatiegolven beschrijft is deze demping minder groot dan bij LOCKFILL en VUL_SLUIS met waarde gelijk aan 0.40 voor deze coëfficiënt. Met uitzondering van simulatie 006, wordt bij de overige simulaties een betere overeenkomst vastgesteld tussen de amplitude van de langskracht berekend met VUL_SLUIS met waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 en de amplitude van de opgemeten langskrachten dan met deze berekend met LOCKFILL en VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor deze coëfficiënt. Bij simulatie 006 overschat VUL_SLUIS waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 de amplitude van de berekende langskrachten beperkt en is deze berekend met LOCKFILL en berekend met VUL_SLUIS waarde gelijk aan 0.40 voor deze coëfficiënt ongeveer gelijk aan deze van de opgemeten langskrachten. Analoog als in paragraaf 7.3 bij de validatie met resultaten van het schaalmodelonderzoek voor de Nieuwe Sluis Terneuzen komt de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 relatief goed overeen met deze van de langskrachten berekend met LOCKFILL. Bij simulaties 001, 002, 004 en 007, simulaties voor vullen van de sluiskolk, valt op dat de negatieve extrema van de in het schaalmodel opgemeten langskrachten halfweg de nivellering beduidend lager zijn dan deze berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL. Vermoedelijk wordt hier de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname onderschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL. Bij de beide simulaties voor ledigen wordt dit niet vastgesteld.

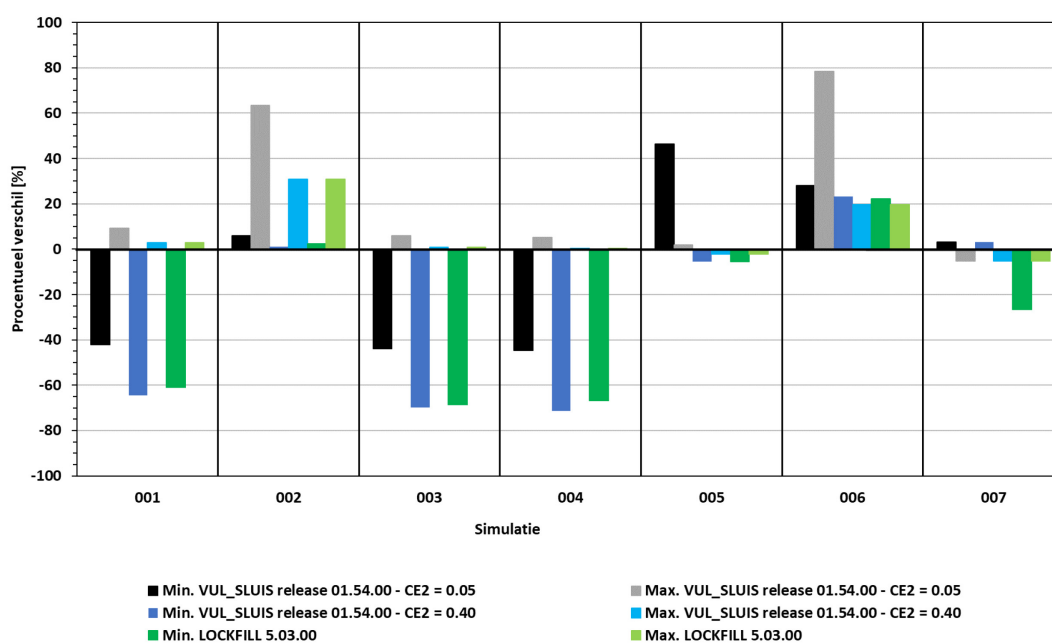
Voor alle uitgevoerde simulaties geeft Tabel 68 in Bijlage 7 en Figuur 67 een overzicht van de extreme waarden van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de langskracht opgemeten op het schaalmodel. De procentuele verschillen tussen de extreme waarden van de berekende en opgemeten langskracht op het schip in de sluiskolk zijn grafisch voorgesteld in Figuur 68. Uit deze figuur volgt dat de positieve extrema van de langskracht berekend met VUL_SLUIS waarde $CE_2 = 0.05$ voor de coëfficiënt die de demping van translatiegolven beschrijft, met uitzondering van deze voor simulatie 002 en 006, de negatieve extrema van de langskracht uit het schaalmodel met 10 % beperkt onder- of overschatten. Bij simulatie 002 en 006 bedraagt de overschatting van het positieve extremum door VUL_SLUIS 68 % en 73%. Bij simulaties 001, 003 en 004 wordt het negatieve extremum van de opgemeten langskracht door VUL_SLUIS met waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 onderschat met 42 % à 45 %. Bij de overige simulaties wordt het negatieve extremum door VUL_SLUIS tot 46 % overschat. Voor VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 die de demping van translatiegolven beschrijft en LOCKFILL gelden analoge besluiten. Met uitzondering van simulaties 002 en 006 worden de positieve extrema door VUL_SLUIS met maximaal 5 % en door LOCKFILL met maximaal 13 % onder- of overschat. Voor simulatie 002, respectievelijk simulatie 006 worden de positieve extrema met 31 %, respectievelijk 20 % overschat door VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 en met 18 %, respectievelijk 55 % door LOCKFILL. Met uitzondering van simulaties 002, 006 en 007 bij VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor coëfficiënt CE_2 en simulaties 002 en 006 bij LOCKFILL worden de negatieve extrema met 71 % onderschat door VUL_SLUIS en tot 68 % door LOCKFILL. Voor simulaties 002, 006 en 007 worden door VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor coëfficiënt CE_2 de opgemeten negatieve extrema tot 23 % overschat. Bij simulaties 002 en 006 bedraagt de overschatting van de opgemeten negatieve extrema door LOCKFILL maximaal 22 %.



Figuur 66 – Vergelijking variatie in de tijd van langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met variatie in de tijd van langskracht uit schaalmodelproeven voor simulaties 001 (a), 002 (b), 003 (c), 004 (d), 005 (e), 006 (f) en 007 (g)



Figuur 67 – Vergelijking extreme waarde langskracht op schip uit schaalmodelonderzoek met extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL



Figuur 68 – Procentuele verschillen tussen extreme waarde langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de extreme waarde van de langskracht op het schip uit het schaalmodelonderzoek

8.4 Samenvatting resultaten

Uit de validatie volgt een goede overeenkomst tussen de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en de waarden uit het schaalmodelonderzoek. Wat variatie in de tijd van het debiet betreft, wordt bij twee simulaties een goede overeenkomst bekomen met het debiet uit het schaalmodelonderzoek. Bij de overige simulaties worden in de variatie in de tijd van het opgemeten debiet door de nivelleeropeningen schommelingen met een grote periode vastgesteld in de debietskromme. Deze schommelingen zijn niet aanwezig in de variatie in de tijd van het debiet berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL. De bias tussen het waterpeil in de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL en dit opgemeten in het schaalmodel varieert tussen -0.06 m en 0.04 m met een gemiddelde waarde van 0.00 m, de root-mean-square error en de standaarddeviatie variëren tussen 0.01 m en 0.08 m. Voor alle simulaties wordt de nivelleertijd uit het schaalmodel door VUL_SLUIS en LOCKFILL met maximaal 2.6 % onderschat. Tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL worden geen verschillen vastgesteld wat betreft de variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk, de variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen en de nivelleertijd.

Daarna is de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met de langskracht op het schip opgemeten op het schaalmodel. Met VUL_SLUIS is de langskracht op het schip zowel berekend met waarde 0.05 als met een waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 die de damping van translatiegolven beschrijft. De variatie van de langskracht op het schip opgemeten in het schaalmodel is bij vullen, respectievelijk ledigen bij het begin van de nivellering positief (beweging van het schip van de roldeur weg), respectievelijk negatief van teken (beweging van het schip naar de roldeur toe) en aan het einde van de nivellering negatief, respectievelijk positief van teken. De periode van de langskracht berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL vertoont voor alle simulaties bij het begin van de nivellering een goede overeenkomst met de periode van de langskracht opgemeten in het schaalmodel. Naar het einde van de nivellering toe neemt de periode van de berekende langskracht beperkt toe, waardoor een iets minder goede overeenkomst met de periode van de opgemeten langskrachten bekomen wordt. De amplitude van de eerste positieve piek bij vullen en de eerste negatieve piek bij ledigen wordt voor alle simulaties door VUL_SLUIS en LOCKFILL goed benaderd. Naar het einde van de nivellering toe neemt de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL af omwille van de damping van de translatiegolven. De amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS met waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 vertoont hierbij een betere overeenkomst met deze van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 en met deze berekend met LOCKFILL. De amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 komt relatief goed overeen met deze van de langskrachten berekend met LOCKFILL. Bij simulaties voor vullen van de sluiskolk valt op dat de negatieve extrema van de in het schaalmodel opgemeten langskrachten halfweg de nivellering beduidend lager zijn dan deze berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL, mogelijk omwille van een onderschatting van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname door VUL_SLUIS en LOCKFILL.

De positieve extrema van de langskracht opgemeten in het schaalmodel worden door VUL_SLUIS met de waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 , respectievelijk VUL_SLUIS met de waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 en LOCKFILL over- of onderschatten met 10 % respectievelijk 5% en 13 %, met uitzondering van twee simulaties met een overschatting tot respectievelijk 73 %, 31 % en 55%. De negatieve extrema van de in het schaalmodel opgemeten langskracht worden door VUL_SLUIS met waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 , respectievelijk VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 en LOCKFILL overschat tot 46 %, respectievelijk onderschat tot 71 % en onderschat tot 68 % met uitzondering van 3 simulaties met een onderschatting tot 45 %, respectievelijk 3 simulaties met een overschatting van 23 % en 2 simulaties met een overschatting van 22 %.

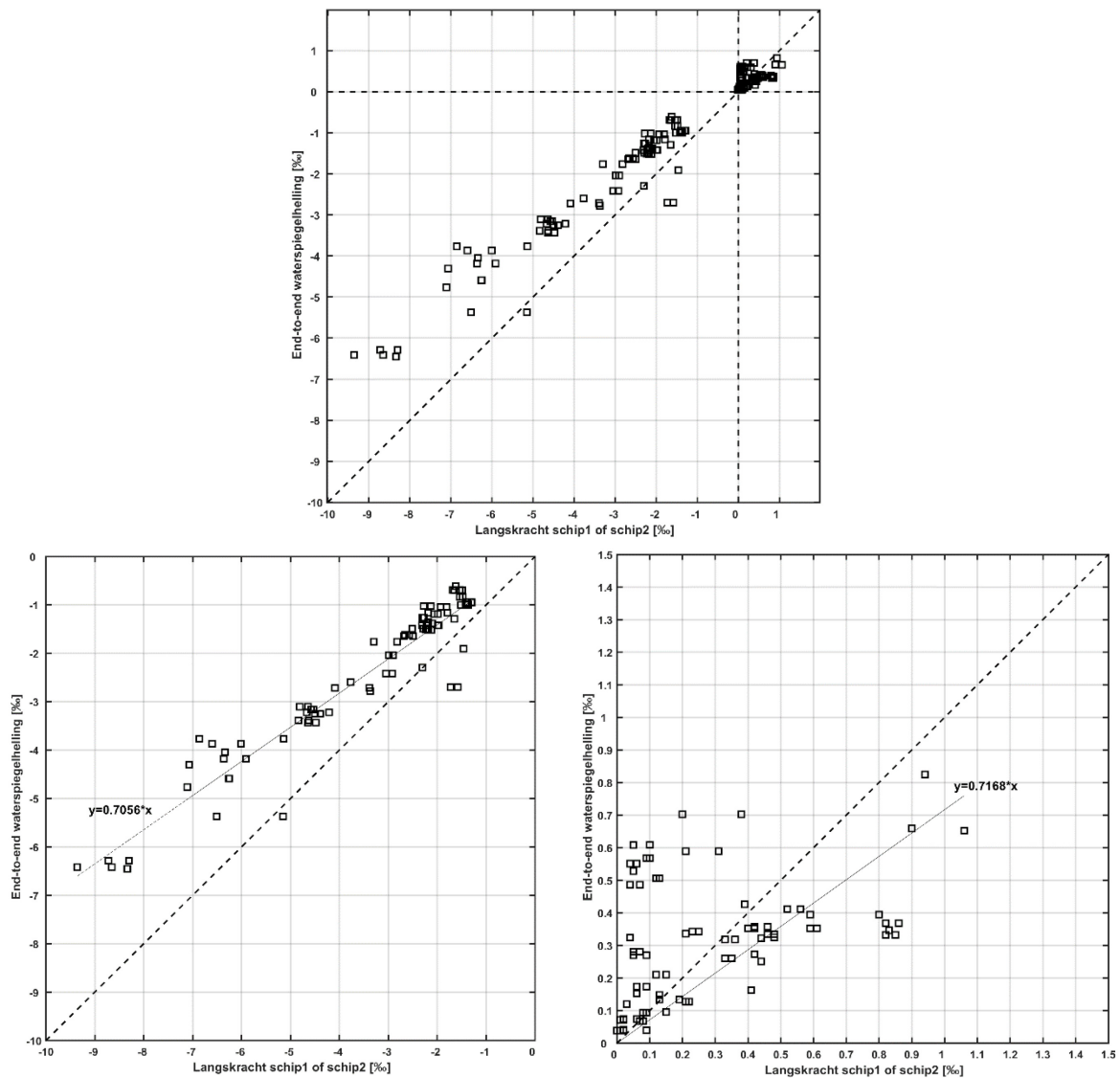
9 Uitgebreide analyse van de resultaten van validatie

In de vorige hoofdstukken werden voor de verschillende cases beschouwd voor de validatie de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk, de variatie in de tijd van het debiet door de nivelleeropeningen, de variatie in de tijd van de opgemeten waterspiegelhellingen of langskracht en de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en berekend met LOCKFILL 5.03.00 vergeleken met de waarden uit de schaalmodelmetingen of deze uit de terreinmetingen. In dit hoofdstuk worden een aantal meer gedetailleerde analyses uitgevoerd. Vooreerst wordt in paragraaf 9.1 voor het schaalmodelonderzoek te Zemst de relatie tussen opgemeten langskracht op een schip en opgemeten end-to-end waterspiegelhellingen in de sluiskolk onderzocht. Daarna worden in paragraaf 9.2, respectievelijk paragraaf 9.3 de afwijkingen tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wat betreft nivelleertijd, respectievelijk langskracht op het schip in detail geanalyseerd.

9.1 Relatie langskracht op een schip – end-to-end waterspiegelhelling in de sluiskolk

Tijdens het schaalmodelonderzoek voor de sluis te Zemst zijn naast de langskrachten op het schip in de kolk ook de helling van het schip en de helling van de waterspiegel opgemeten. LOCKFILL en VUL_SLUIS berekenen in hoofdzaak de kracht op het schip in de kolk. In hoofdstuk 3 werden om die reden enkel de krachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL vergeleken met deze gemeten tijdens het schaalmodelonderzoek. In deze paragraaf wordt voor de in deze studie beschouwde schaalmodelproeven met het nivelleersysteem te Zemst de waarde van het positief en negatief extremum van de van de end-to-end waterspiegelhelling in de sluiskolk vergeleken met het positief en negatief extremum van de langskracht gemeten op het schip. Uit paragraaf 3.2 volgt dat het merendeel van de beschouwde schaalmodelproeven is uitgevoerd met twee duwkonvooien naast elkaar in de sluiskolk. Voor deze proeven wordt het positief en negatief extremum van de langskracht opgemeten op elk schip vergeleken met het positief en negatief extremum van de van de end-to-end waterspiegelhelling opgemeten in de sluiskolk. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur 69. In deze figuur worden in de bovenste deelfiguur zowel de positieve als de negatieve extrema voorgesteld. In de deelfiguur linksonder worden enkel de negatieve extrema voorgesteld en in de deelfiguur rechtsonder enkel de positieve extrema.

Uit Figuur 69 volgt dat het positieve en het negatieve extremum van de waterspiegelhelling in de sluiskolk (in absolute waarde) 28 % à 29 % lager zijn dan dit van de langskracht opgemeten op elk van de beide schepen in het schaalmodel. Bij het positieve extremum betreft dit echter een gemiddelde waarde, gezien de grotere spreiding. Het positieve extremum van de waterspiegelhelling kan hierbij zowel groter als kleiner zijn dan dit van de langskracht opgemeten in het schaalmodel, terwijl het negatieve extremum van de waterspiegelhelling (in absolute waarde) altijd lager is dan dit van de opgemeten langskracht.



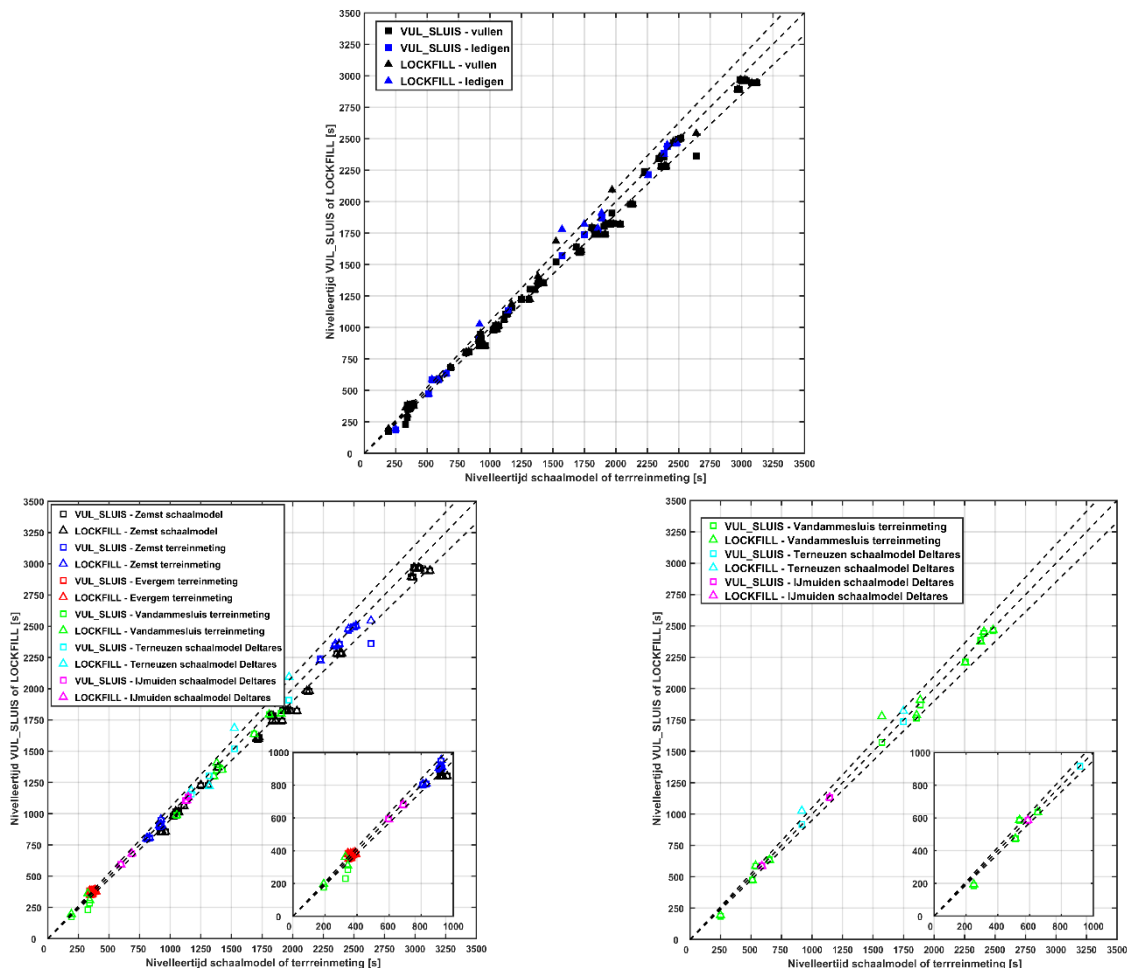
Boven: Positieve en negatieve extrema;

Links onder: lineaire fit negatieve extrema;rechts onder: lineaire fit positieve extrema

Figuur 69 – Vergelijking positief en negatief extremum opgemeten end-to-end waterspieghelling en positief en negatief extremum opgemeten langskracht op elk van beide schepen uit schaalmodelonderzoek sluis Zemst

9.2 Afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wat betreft nivelleertijd

Vooreerst wordt voor alle voor de validatie beschouwde cases in Figuur 70 de nivelleertijd van de sluiskolk berekend met VUL_SLUIS en deze berekend met LOCKFILL vergeleken met de nivelleertijd uit de terreinmetingen.



Boven: alle simulaties; onder links: enkel simulaties voor vullen sluiskolk; onder rechts: enkel simulaties voor ledigen sluiskolk
Streeplijnen duiden ideale correlatie en respectievelijk - 5% en +5 % afwijking van deze ideale correlatie aan.

Figuur 70 – Vergelijking nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met nivelleertijd uit schaalmodel of terreinmeting

Uit de Figuur 70 volgt dat de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS of deze berekend met LOCKFILL voor de meeste simulaties minder dan 5 % afwijkt van de nivelleertijd uit schaalmodelmetingen of uit de terreinmetingen. Bij de simulaties met grotere afwijkingen in nivelleertijd dan 5 % kan niet worden vastgesteld dat dit een specifiek type nivellering betreft of een bepaald type sluis betreft. Uit de gedetailleerde beschrijving van de resultaten van de simulaties voor Nieuwe Sluis Terneuzen in hoofdstuk 7 volgde dat de nivelleertijd berekend met LOCKFILL de nivelleertijd uit de schaalmodelproeven beduidend overschatte. Dit volgt ook uit Figuur 70. De gedetailleerde beschrijving van de resultaten van de simulaties voor de sluis te Evergem leert dat de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL algemeen de nivelleertijd uit de terreinmetingen overschatte, met uitzondering van een onderschatting bij 3 simulaties. De relatief kleine nivelleertijden en kleine verschillen tussen de nivelleertijden voor de uitgevoerde simulaties voor deze sluis maken dat dit niet duidelijk merkbaar is in Figuur 70.

Na opdelen van de simulaties in vullen en ledigen van de kolk wordt vastgesteld dat bij vullen de nivelleertijd over het algemeen beperkt onderschat wordt door VUL_SLUIS of LOCKFILL. Bij simulaties voor ledigen van de sluiskolk is niet echt een trend merkbaar.

9.3 Afwijking tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL wat betreft positief en negatief extremum van de langskracht

In deze paragraaf wordt voor de verschillende cases beschouwd voor de validatie een analyse uitgevoerd van de afwijking tussen het positief en negatief extremum van de langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL en het positief en negatief extremum van de langskracht of waterspiegelhelling uit het schaalmodelonderzoek of uit de terreinmeting. Hiervoor is de variatie van het positief en negatief extremum van de langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL in functie van het positief of negatief extremum van de langskracht of de waterspiegelhelling uit het schaalmodelonderzoek of uit de terreinmeting grafisch voorgesteld. Voor het schaalmodelonderzoek sluis Zemst is deze grafische voorstelling gegeven in Figuur 71, voor de terreinmeting in de sluis te Zemst in Figuur 72, voor de terreinmeting in de Vandammesluis, in Figuur 73 en voor schaalmodelonderzoek sluis IJmuiden en schaalmodelonderzoek sluis Terneuzen in Figuur 74. De waarde van de onderschatting/overschatting van de positieve en negatieve extrema is voor elke voor de validatie beschouwde case en voor elke vergeleken parameter bepaald door het fitten van een lineair verband door de puntwolk voor deze parameter in de figuur. De helling van deze gefitte rechte geeft dan een indicatie van de onderschatting/overschatting van de positieve en negatieve extrema. Een overzicht van de op deze wijze afgeleide onderschatting/overschatting van de positieve en negatieve extrema van de langskracht of de waterspiegelhelling uit het schaalmodelonderzoek of uit een terreinmeting door LOCKFILL of VUL_SLUIS is gegeven in Tabel 43.

Op basis van deze figuren en Tabel 43 kan het volgende vastgesteld worden:

- Bij cases waarbij langskrachten zijn opgemeten in een schaalmodel (sluis Zemst, sluis IJmuiden en Sluis Terneuzen) is op enkele uitzonderingen na de afwijking tussen het positief extremum van de langskrachten berekend met LOCKFILL en VUL_SLUIS en deze opgemeten in het schaalmodel beduidend lager dan de afwijking op de negatieve extrema. De afwijkingen op het negatieve extremum betreffen onderschattingen tussen 10 % en 53 %. De afwijkingen op het positieve extremum variëren, met uitzondering van de overschatting met 44 % bij de simulatie met VUL_SLUIS voor nieuwe sluis Terneuzen met een waarde 0.05 voor de coëfficiënt CE_2 , van een onderschatting van 8 % tot een overschatting van 18 %.
- Bij de cases waarbij tijdens een terreinmeting waterspiegelhellingen zijn opgemeten (sluis Zemst, sluis Evergem en Vandammesluis) wordt bij de simulaties voor de Vandammesluis vastgesteld dat het positieve en het negatieve extremum van de waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS het positieve en negatieve extremum van de waterspiegelhelling uit de terreinmeting onderschat met 11 % à 35 %. Bij de simulaties voor het nivelleersysteem van de sluis van Zemst en de simulaties met het nivelleersysteem voor de sluis te Evergem wordt het positieve extremum van waterspiegelhellingen uit de terreinmeting door VUL_SLUIS overschat met 6 % à 21 % en wordt het negatieve extremum onderschat met 36 % à 86 %.
- Wanneer voor cases waarbij tijdens een terreinmeting waterspiegelhellingen zijn opgemeten, het positieve of het negatieve extremum van de langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL wordt vergeleken met het positieve of het negatieve extremum van de opgemeten waterspiegelhelling worden grotere afwijkingen vastgesteld. Voor simulaties met het nivelleersysteem van de sluis te Evergem en dit van de sluis te Zemst is het positieve extremum van de langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL tussen 1 % à 50 % groter dan het positieve extremum van de opgemeten waterspiegelhelling, het negatieve extremum is (in absolute waarde) 27 à 73 % kleiner dan het negatieve extremum van de opgemeten waterspiegelhelling. Bij de simulaties met het nivelleersysteem van de Vandammesluis is zowel het positieve als het negatieve extremum van de langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL 51 % à 74 % groter dan deze van de opgemeten waterspiegelhellingen. Zoals hierboven reeds vermeld volgt uit de schaalmodelproeven van het nivelleersysteem van de sluis te Zemst dat het positieve en het negatieve extremum van de waterspiegelhelling in de sluiskolk ca. 30 % lager zijn dan dit van de langskracht opgemeten op een schip in het schaalmodel. Naast de eigenlijke afwijking op de extrema van de langskracht maakt dit

verschil onderdeel uit van de grotere afwijkingen tussen de extrema van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL en deze van de tijdens de terreinmetingen opgemeten waterspiegelhellingen. Bij een terreinmeting is men ook gebonden aan een aantal vaste locaties van divers en tussenafstanden van divers voor het bepalen van de waterspiegelhelling. Deze locaties komen ook niet noodzakelijk overeen met de locatie van boeg en hek van het aangemeerde ship. Bijgevolg is het niet aan te bevelen om extrema van langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL te vergelijken met extrema van tijdens een terreinmeting opgemeten waterspiegelhellingen.

Bij vullen van een sluiskolk geldt over het algemeen dat de positieve extrema van de langskracht en voornamelijk de eerste positieve piek van de langskracht veroorzaakt wordt door de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven in de sluiskolk en dat negatieve extrema veroorzaakt worden door de component van de langskracht ten gevolge van de impulsafname en vulstraalwerking (met uitsluitend negatieve waarden). Bij ledigen van een sluiskolk wordt de eerste negatieve piek veroorzaakt door de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven in de sluiskolk, maar is de variatie in de tijd van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname ook constant negatief. Bij ledigen kan het negatieve extremum bijgevolg zowel veroorzaakt worden door de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven als door de component ten gevolge van de impulsafname. Met uitzondering van de simulaties voor Nieuwe Sluis Terneuzen is de afwijking door LOCKFILL of VUL_SLUIS op het positieve extremum kleiner dan de afwijking op het negatieve extremum. Rekening houdend met het feit dat beduidend minder simulaties uitgevoerd zijn voor ledigen van een sluiskolk (slechts 4%) dan voor vullen kan hieruit besloten worden dat de component van de langskrachten ten gevolge van impulsafname minder nauwkeurig berekend wordt door VUL_SLUIS of LOCKFILL dan de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De opgemeten waterspiegelhellingen in de Vandammesluis vertonen een verloop dat voornamelijk gekarakteriseerd is door translatiegolven (een afwisselend positief en negatief verloop) en minder een verloop dat gekarakteriseerd is door de component van impulsafname of vulstraalwerking (een constant negatief verloop). Voor de simulaties met het nivelleersysteem van de Vandammesluis is de afwijking op de positieve en negatieve extrema van de waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS ongeveer even groot (11 % à 35 %) als de afwijking tussen het positieve extremum van de langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL en het positieve extremum van de langskracht uit de terreinmeting of schaalmodel voor de andere cases.

Bij de simulaties met het nivelleersysteem van de sluis te Zemst is de onderschatting van het positieve en het negatieve extremum door LOCKFILL beperkt groter dan deze door VUL_SLUIS. Bij Nieuwe Sluis Terneuzen is de onderschatting door LOCKFILL van het negatieve extremum van de langskracht ongeveer gelijk aan de onderschatting door VUL_SLUIS, maar is de afwijking door LOCKFILL op het positieve extremum van de langskracht beduidend kleiner dan de afwijking door VUL_SLUIS op dit extremum. Bij de simulaties voor sluis IJmuiden is de onderschatting door LOCKFILL van het negatieve extremum van de langskracht ongeveer gelijk aan de onderschatting door VUL_SLUIS en is de afwijking door LOCKFILL op het positieve extremum van de langskracht ongeveer dezelfde als de afwijking door VUL_SLUIS. Hieruit volgt dat niet algemeen geconcludeerd kan worden dat langskrachten op het schip in de kolk berekend met VUL_SLUIS een betere benadering geven van de langskrachten opgemeten in een schaalmodel dan de langskrachten berekend met LOCKFILL en omgekeerd.

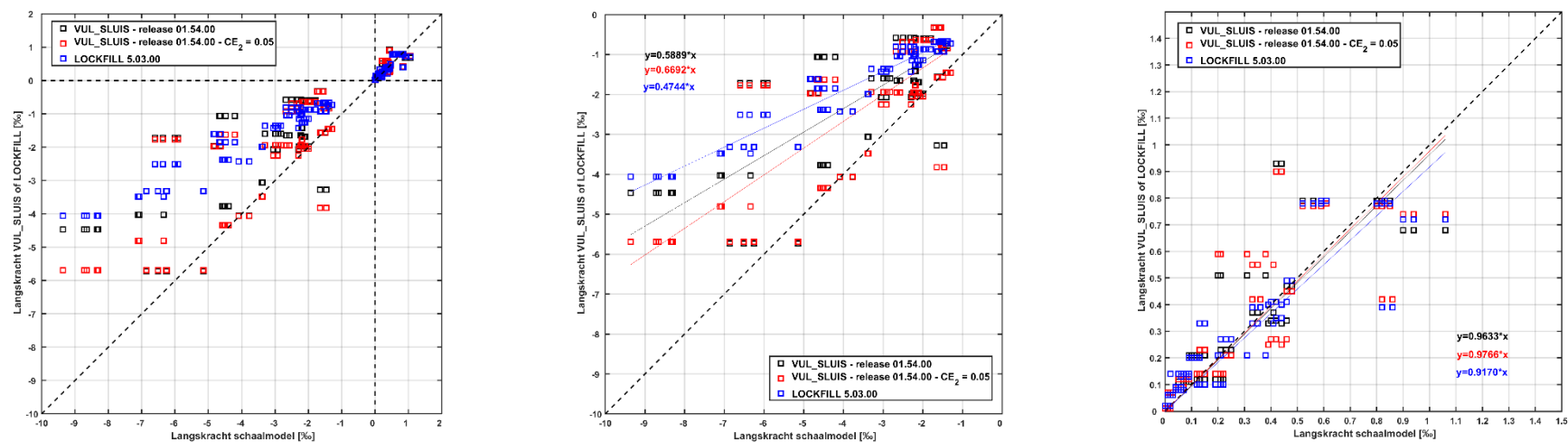
Wat betreft de waarde van de coëfficiënt CE_2 , i.e. de coëfficiënt met betrekking tot de demping van translatiegolven in VUL_SLUIS en LOCKFILL, wordt het volgende vastgesteld bij de cases waarbij langskrachten zijn opgemeten in een schaalmodel (sluis Zemst, sluis IJmuiden en Sluis Terneuzen):

- In LOCKFILL 5.03.00 wordt standaard de waarde 0.40 voor coëfficiënt CE_2 toegepast. Deze waarde kan niet gewijzigd worden door de gebruiker. Met uitzondering van het positieve extremum bij de simulaties voor Nieuwe Sluis Terneuzen en het negatieve extremum bij de simulaties voor sluis Zemst geldt dat zowel voor het positieve als voor het negatieve extremum de waarde berekend met VUL_SLUIS met waarde 0.40 voor de coëfficiënt CE_2 en de waarde berekend met LOCKFILL (op enkele procenten na) aan elkaar gelijk zijn. Bij de simulaties voor Nieuwe Sluis Terneuzen, respectievelijk sluis Zemst, wordt een verschil van 19 %, respectievelijk 12 % vastgesteld tussen de afwijking tussen LOCKFILL en VUL_SLUIS op het positieve, respectievelijk negatieve extremum.

- Het wijzigen van de waarde voor de coëfficiënt CE_2 van 0.40 naar 0.05 in VUL_SLUIS zorgt voor een verkleining met 4% à 13 % van de afwijking tussen de negatieve extrema van de berekende langskracht en deze van de in het schaalmodel opgemeten langskracht. Bij de simulaties met het nivelleersysteem van de sluis IJmuiden en de sluis te Zerst heeft de wijziging van de waarde van de coëfficiënt CE_2 in VUL_SLUIS slechts een beperkte invloed (-1 % à +6 %) op de afwijking tussen de positieve extrema van de berekende langskracht en deze van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. Enkel bij de simulaties met het nivelleersysteem voor Nieuwe Sluis Terneuzen wordt een beduidend grotere overschatting (26 %) van het positieve extremum van de langskracht met VUL_SLUIS berekend. Dit volgde ook al uit de bespreking van de resultaten van de simulaties voor Nieuwe Sluis Terneuzen in paragraaf 7.3.

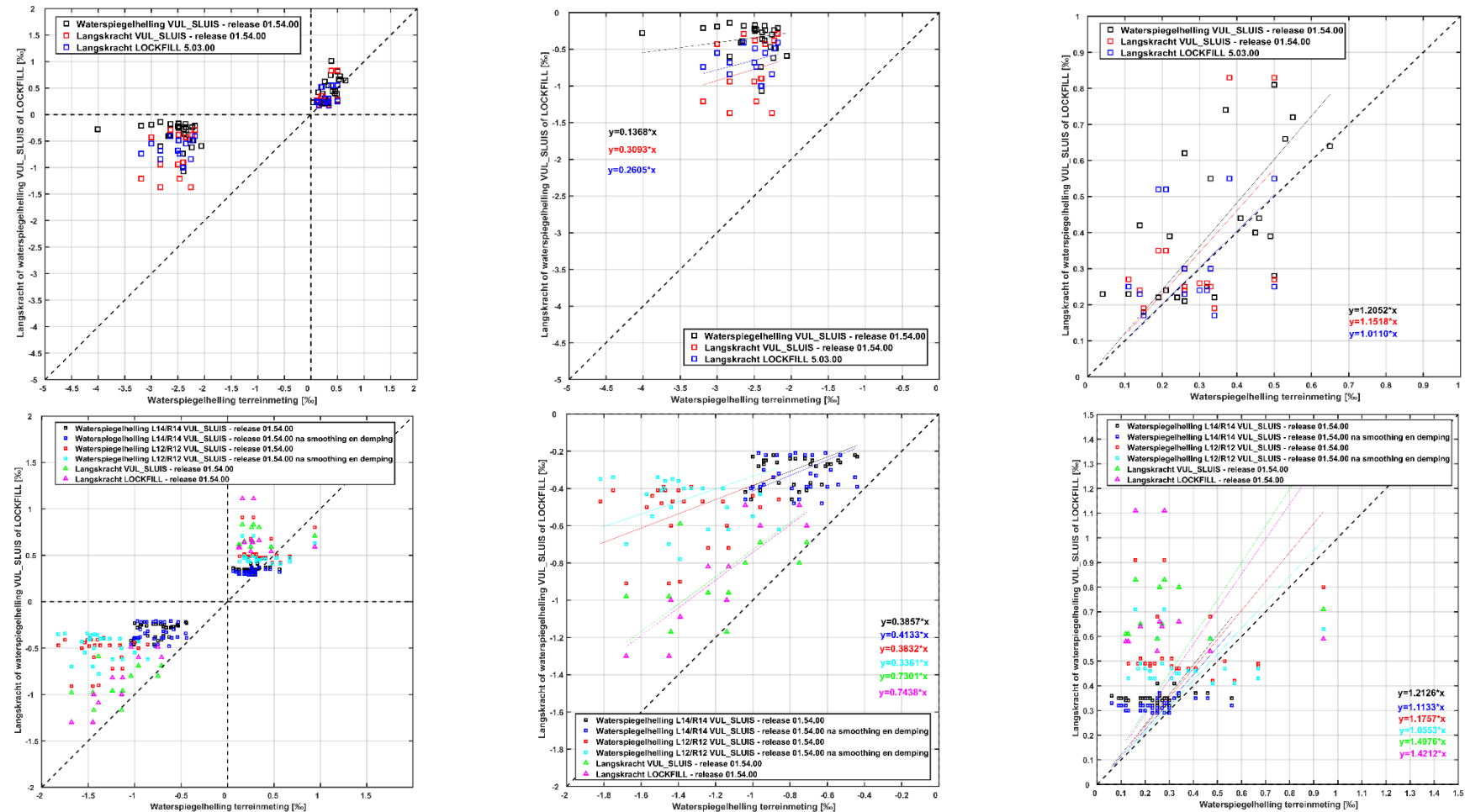
Tabel 43 – Onderschatting (-)/overschatting (+) van negatief en positief extremum bij vergelijking van langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL meet deze uit terreinmeting of schaalmodelonderzoek

Case validatie	Vergelijking variabele	Negatief extremum	Positief extremum
Schaalmodel-onderzoek sluis Zerst	Langskracht VUL_SLUIS $CE_2=0.40$ – Langskracht schaalmodel	-41 %	-4 %
	Langskracht VUL_SLUIS $CE_2=0.05$ – Langskracht schaalmodel	-37 %	-3 %
	Langskracht LOCKFILL – Langskracht schaalmodel	-53 %	-8 %
Terreinmeting sluis Zerst	Waterspiegelhelling VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-86 %	+21 %
	Langskracht VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-69 %	+15%
	Langskracht LOCKFILL - Waterspiegelhelling terreinmeting	-73 %	+1 %
Terreinmeting sluis Evergem	Waterspiegelhelling L14/R14 VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-71 %	+22 %
	Waterspiegelhelling L14/R14 VUL_SLUIS na smoothing en demping – Waterspiegelhelling terreinmeting	-59 %	+11 %
	Waterspiegelhelling L12/R12 VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-62 %	+18 %
	Waterspiegelhelling L12/R12 VUL_SLUIS na smoothing en demping – Waterspiegelhelling terreinmeting	-36 %	+6 %
	Langskracht VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-27 %	+50 %
	Langskracht LOCKFILL - Waterspiegelhelling terreinmeting	-26 %	+42 %
Terreinmeting Vandammesluis	Waterspiegelhelling H14 VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-35 %	-29 %
	Waterspiegelhelling H24 VUL_SLUIS - Waterspiegelhelling terreinmeting	-35 %	-11 %
	Waterspiegelhelling H57 VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	-20 %	-35 %
	Waterspiegelhelling H58 VUL_SLUIS – Waterspiegelhelling terreinmeting	-17 %	-22 %
	Langskracht VUL_SLUIS– Waterspiegelhelling terreinmeting	+74 %	+60 %
	Langskracht LOCKFILL - Waterspiegelhelling terreinmeting	+68 %	+51 %
Schaalmodel-onderzoek IJmuiden	Langskracht VUL_SLUIS $CE_2=0.05$ – Langskracht schaalmodel	-24 %	+6 %
	Langskracht VUL_SLUIS $CE_2=0.40$ – Langskracht schaalmodel	-43 %	+0 %
	Langskracht LOCKFILL – Langskracht schaalmodel	-44 %	-3 %
Schaalmodel-onderzoek Terneuzen	Langskracht VUL_SLUIS $CE_2=0.05$ – Langskracht schaalmodel	-10 %	+44 %
	Langskracht VUL_SLUIS $CE_2=0.40$ – Langskracht schaalmodel	-43 %	+18 %
	Langskracht LOCKFILL – Langskracht schaalmodel	-46 %	-1 %



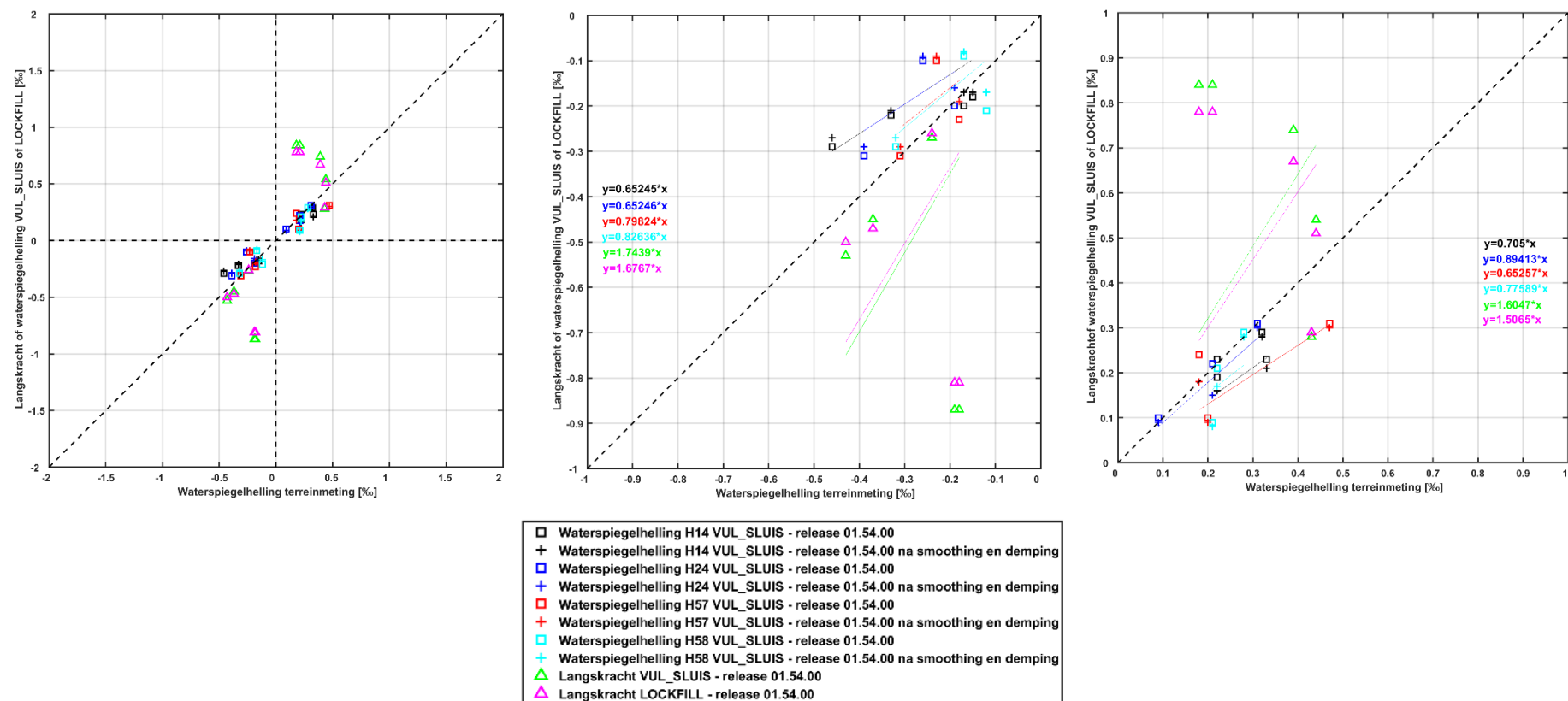
Links: Positieve en negatieve extrema; midden: lineaire fit negatieve extrema; rechts: lineaire fit positieve extrema

Figuur 71 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek sluis Zemst



Links: Positieve en negatieve extrema; midden: lineaire fit negatieve extrema; rechts: lineaire fit positieve extrema
 Boven: Resultaten simulaties terreinmeting sluis Zemst; onder: Resultaten simulaties terreinmeting sluis Evergem

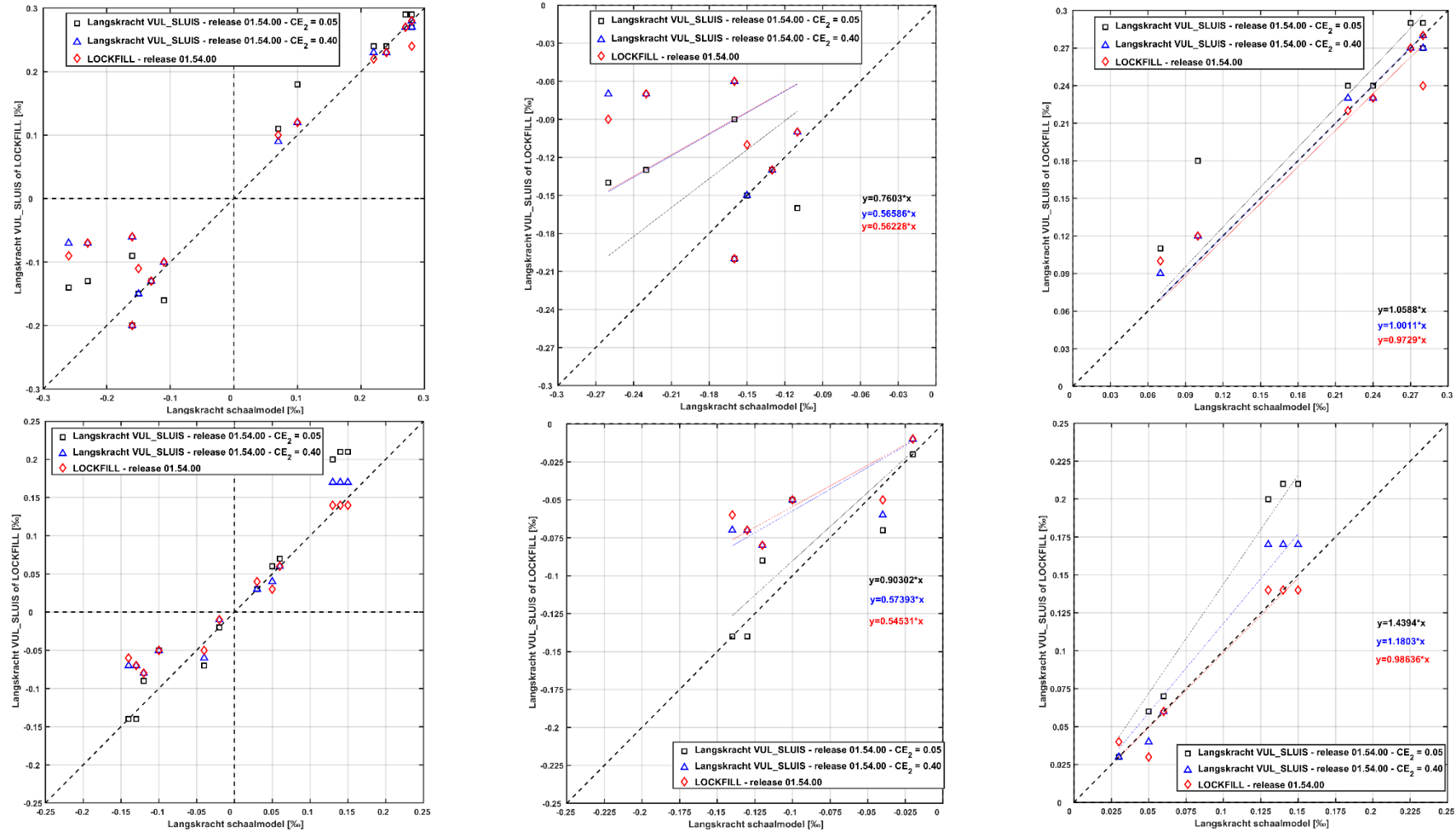
Figuur 72 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht of waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum waterspiegelhelling uit terreinmeting voor resultaten simulaties terreinmeting sluis Zemst en resultaten simulaties terreinmeting sluis Evergem



Links: Positieve en negatieve extrema; midden: lineaire fit negatieve extrema; rechts: lineaire fit positieve extrema

Waterspiegellingen berekend met VUL_SLUIS: Lineaire fit enkel uitgevoerd voor waterspiegellingen berekend na smoothing en damping

Figuur 73 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht of waterspiegelling berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum waterspiegelling uit terreinmeting voor resultaten simulaties terreinmeting Vandammesluis



Links: Positieve en negatieve extrema; midden: lineaire fit negatieve extrema; rechts: lineaire fit positieve extrema
 Boven: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden; onder: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Terneuzen

Figuur 74 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen

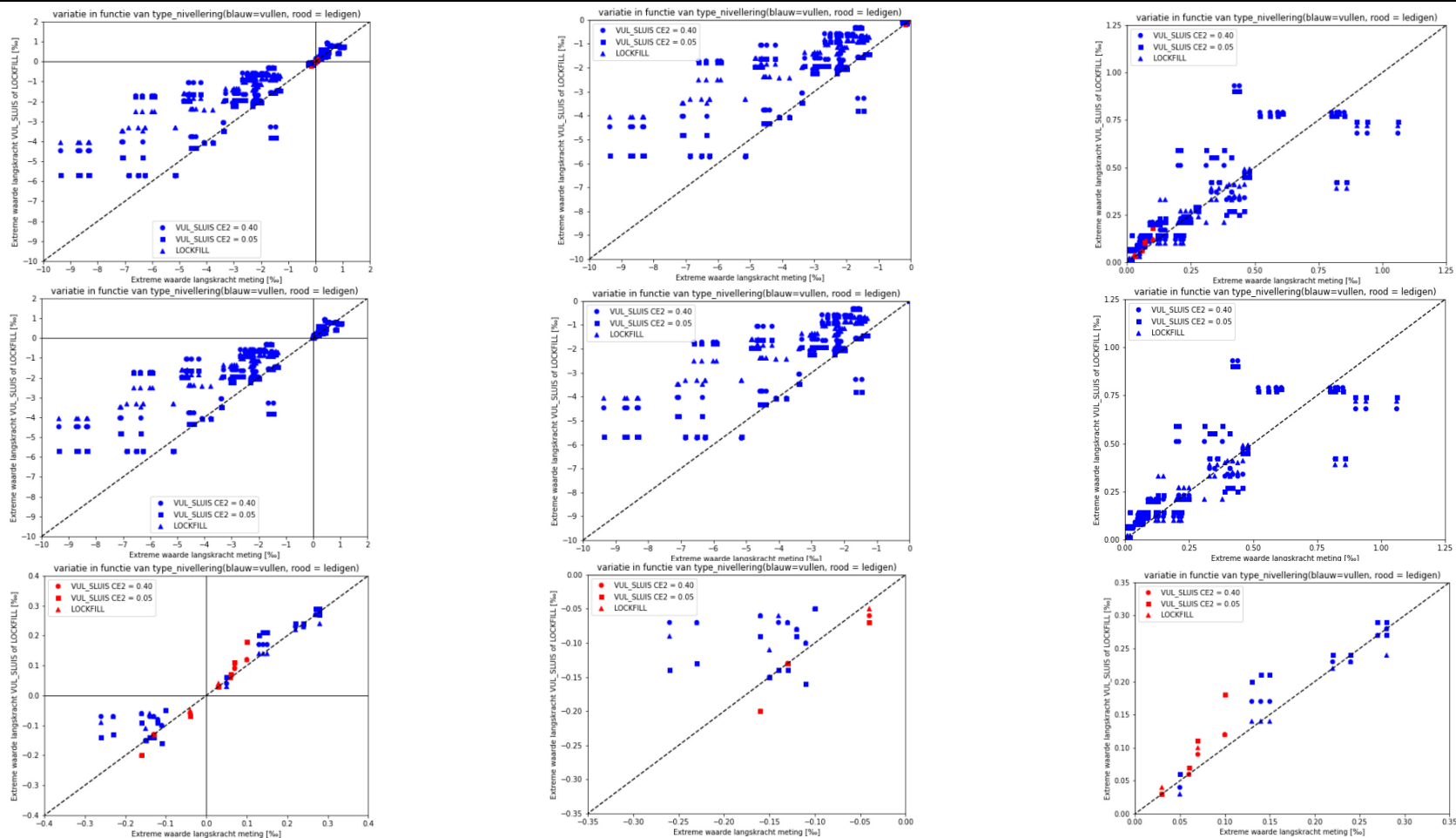
Voor de verschillende cases beschouwd voor de validatie werd hierboven de afwijking op het positieve en het negatieve extremum van de langskracht door VUL_SLUIS en LOCKFILL algemeen beschreven. Nu wordt getracht om na te gaan of en welke parameters deze afwijkingen beïnvloeden. Concreet wordt onderzocht of er een correlatie is tussen de vastgestelde afwijkingen en het type nivellering (vullen/ledigen), de blokkering van het dwarsprofiel van de sluiskolk door het schip, de afstand van het schip tot de voor nivelleren gebruikte sluisdeur, de afstand van de onderzijde van de openingen in de sluisdeur tot de bodem van de sluiskolk en de verhouding van de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur tot de initiële natte sectie van de sluiskolk (verder aangeduid met relatieve oppervlakte van de openingen). Hierbij wordt opgemerkt dat met de initiële natte sectie van de sluiskolk het product van waterdiepte bij begin nivellering en breedte sluiskolk bedoeld wordt. Eerder werd reeds aangehaald dat bij vergelijking van langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met waterspiegelhellingen opgemeten tijdens terreinmetingen grotere afwijkingen vastgesteld werden. Om die reden worden de correlaties tussen de berekende afwijkingen op de negatieve en positieve extrema en de verschillende parameters enkel berekend voor de cases waarbij de langskrachten in een schaalmodel zijn opgemeten, i.e. de simulaties met het nivelleersysteem voor de sluis te Zemst, zeesluis IJmuiden en Nieuwe Sluis Terneuzen. Om deze correlaties te onderzoeken wordt in de scatterplots dewelke de positieve en negatieve extrema vergelijken aan elk symbool een kleur gegeven afhankelijk van de waarde van de betreffende parameter. Een grafische voorstelling van deze correlaties is gegeven in Figuur 75 (correlatie met type nivellering), Figuur 76 (correlatie met blokkering dwarsprofiel sluiskolk door schip), Figuur 77 (correlatie met afstand schip tot sluisdeur), Figuur 78 (correlatie met afstand onderzijde opening tot bodem) en Figuur 79 (correlatie met relatieve oppervlakte van de opening in de sluisdeur). De beoordeling van de correlatie is bijgevolg kwalitatief, er wordt geen kwantitatieve beoordeling uitgevoerd.

Bij de figuren moet opgemerkt worden dat, analoog als de vorige figuren in deze paragraaf, de linkse deelfiguur zowel de positieve als de negatieve extrema weergeeft, de middelste deelfiguur enkel de negatieve extrema en de rechtse deelfiguur enkel de positieve extrema. De bovenste rij deelfiguren toont de positieve en negatieve extrema voor de drie beschouwde cases, de middelste rij enkel de extrema voor de simulaties met het nivelleersysteem van de sluis te Zemst en de onderste rij enkel de extrema voor de simulaties met het nivelleersysteem voor de Nieuwe Sluis Terneuzen en de sluis te IJmuiden. Er is gekozen voor deze opdeling omdat de sluis te Zemst een zeesluis betreft met kleinere afmetingen en een groter verval, waarin ook relatief kleinere schepen genivelleerd worden. De zeesluizen te Terneuzen en IJmuiden hebben beduidend grotere afmetingen en ook de afmetingen van schepen die genivelleerd worden en de afstand tussen de boeg van het schip en de sluisdeur is groter.

Wat betreft de verschillende beschouwde correlaties wordt het volgende vastgesteld:

- Algemeen wordt vastgesteld dat de spreiding op de punten in de figuren kleiner is bij de positieve extrema dan bij de negatieve extrema. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat bij vullen de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname minder nauwkeurig berekend wordt.
- De hier vermelde vaststellingen wat betreft de correlaties tussen de afwijking op de positieve en negatieve extrema van de langskracht door VUL_SLUIS en LOCKFILL en een bepaalde parameter zijn bepaald op basis van alle data in de figuren. Het is niet echt mogelijk om kwalitatief een onderscheid te maken tussen de correlatie tussen de afwijking op het extremum van de langskracht berekend met VUL_SLUIS en de betreffende parameter en de correlatie tussen de afwijking op het extremum van de langskracht berekend met LOCKFILL en de betreffende parameter.
- Er is niet echt een correlatie merkbaar tussen de afwijking op de positieve en negatieve extrema van de langskracht door VUL_SLUIS en LOCKFILL en het type nivellering. Hierbij wordt opgemerkt dat beduidend meer simulaties voor vullen van de sluiskolk beschouwd zijn dan voor ledigen.

- Wat betreft de blokkering van het schip in het dwarsprofiel van de sluiskolk wordt vastgesteld dat de afwijking op het negatieve extremum van de langskracht door VUL_SLUIS of LOCKFILL beperkt groter is bij een grotere blokkering van het schip in het dwarsprofiel van de sluiskolk, dan bij de lagere waarden van de blokkering. Er wordt niet echt een correlatie vastgesteld tussen de afwijking op het positieve extremum van de langskracht door VUL_SLUIS of LOCKFILL en de grootte van de blokkering van het schip in het dwarsprofiel van de sluiskolk.
- Voor de validatie zijn voor de zeesluizen te Terneuzen en IJmuiden enkel cases beschouwd waarbij het schip op 50 m van de voor nivelleren beschouwde deur was gelegen. Bijgevolg kan voor deze cases geen correlatie tussen de afwijkingen op het positieve en negatieve extremum van de langskracht door VUL_SLUIS en LOCKFILL en de afstand tot de sluisdeur worden afgeleid. Bij de simulaties met het nivelleersysteem voor de sluis te Zemst wordt vastgesteld dat de afwijking tussen het negatieve extremum van de langskracht berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL en het negatief extremum van de langskracht uit het schaalmodel groter wordt bij een grotere afstand van het schip tot de sluisdeur. Bij een groter wordende afstand tot de sluisdeur is de onderschatting van de impulsafname door VUL_SLUIS en LOCKFILL groter. Bij deze case wordt niet echt een correlatie vastgesteld tussen de afwijking op het positieve extremum van de langskracht door VUL_SLUIS en LOCKFILL en de afstand tussen schip en sluisdeur.
- Zowel voor de positieve als voor de negatieve extrema van de langskracht wordt voor alle beschouwde cases niet echt een correlatie vastgesteld tussen de afwijking op deze extrema door VUL_SLUIS en LOCKFILL en de afstand tussen de onderzijde opening in de sluisdeur en sluiskolkbodem.
- Wat de relatieve oppervlakte van de openingen in de voor nivelleren gebruikte sluisdeur betreft volgt dat voor de simulaties met het nivelleersysteem van Nieuwe Sluis Terneuzen en zeesluis IJmuiden de afwijking op de negatieve extrema van de langskracht door VUL_SLUIS en LOCKFILL groter wordt bij een grotere relatieve oppervlakte van de openingen in de sluisdeur (ten opzichte van de initiële natte sectie van de sluiskolk). Bij deze simulaties is geen correlatie merkbaar tussen de afwijking door VUL_SLUIS en LOCKFILL op de positieve extrema van de langskracht en de relatieve oppervlakte van de openingen in de sluisdeur. Voor de simulaties met het nivelleersysteem van de sluis te Zemst lijkt de grootte van de afwijking door VUL_SLUIS en LOCKFILL op de negatieve extrema dezelfde bij lagere en hogere waarden van de relatieve oppervlakte van de openingen in de sluisdeur. Echter bij de lagere waarden van de relatieve oppervlakte van de openingen in de sluisdeur (ten opzichte van de initiële natte sectie in de kolk) is de spreiding op de punten in de figuren groter dan bij de hogere waarden van de relatieve oppervlakte van de openingen. Wat de positieve extrema betreft lijkt het alsof de afwijking door VUL_SLUIS en LOCKFILL op deze extrema bij hogere waarden van de relatieve oppervlakte van de openingen groter is dan bij lagere waarden, maar dit betreffen een kleiner aantal simulaties met een relatief grote spreiding op de positieve extrema.

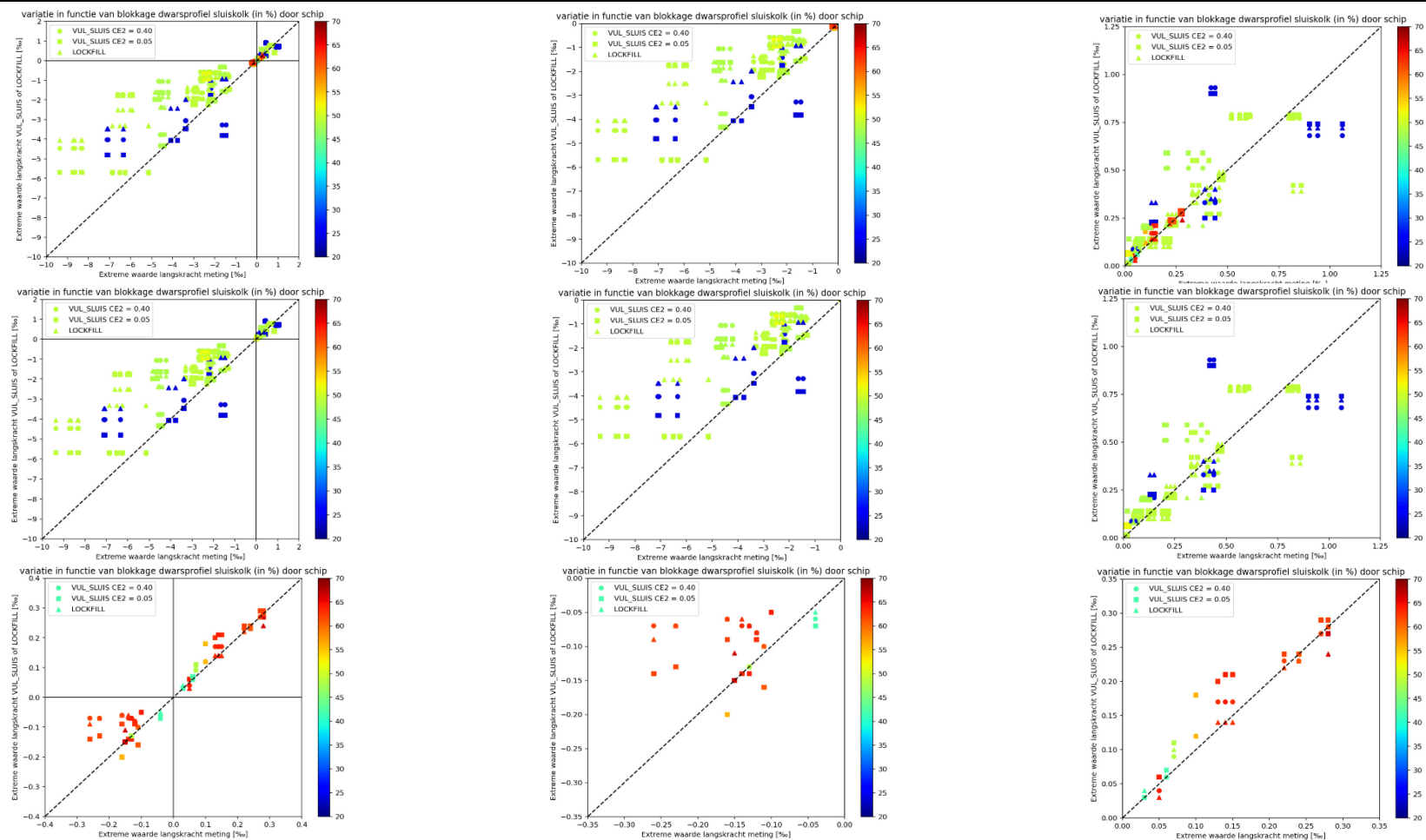


Links: Positieve en negatieve extrema; midden: enkel negatieve extrema; rechts: enkel positieve extrema

Boven: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, Ijmuiden en Terneuzen; Midden: Resultaten schaalmodelonderzoek Zemst;

onder: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden en Terneuzen

Figuur 75 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van type nivellering

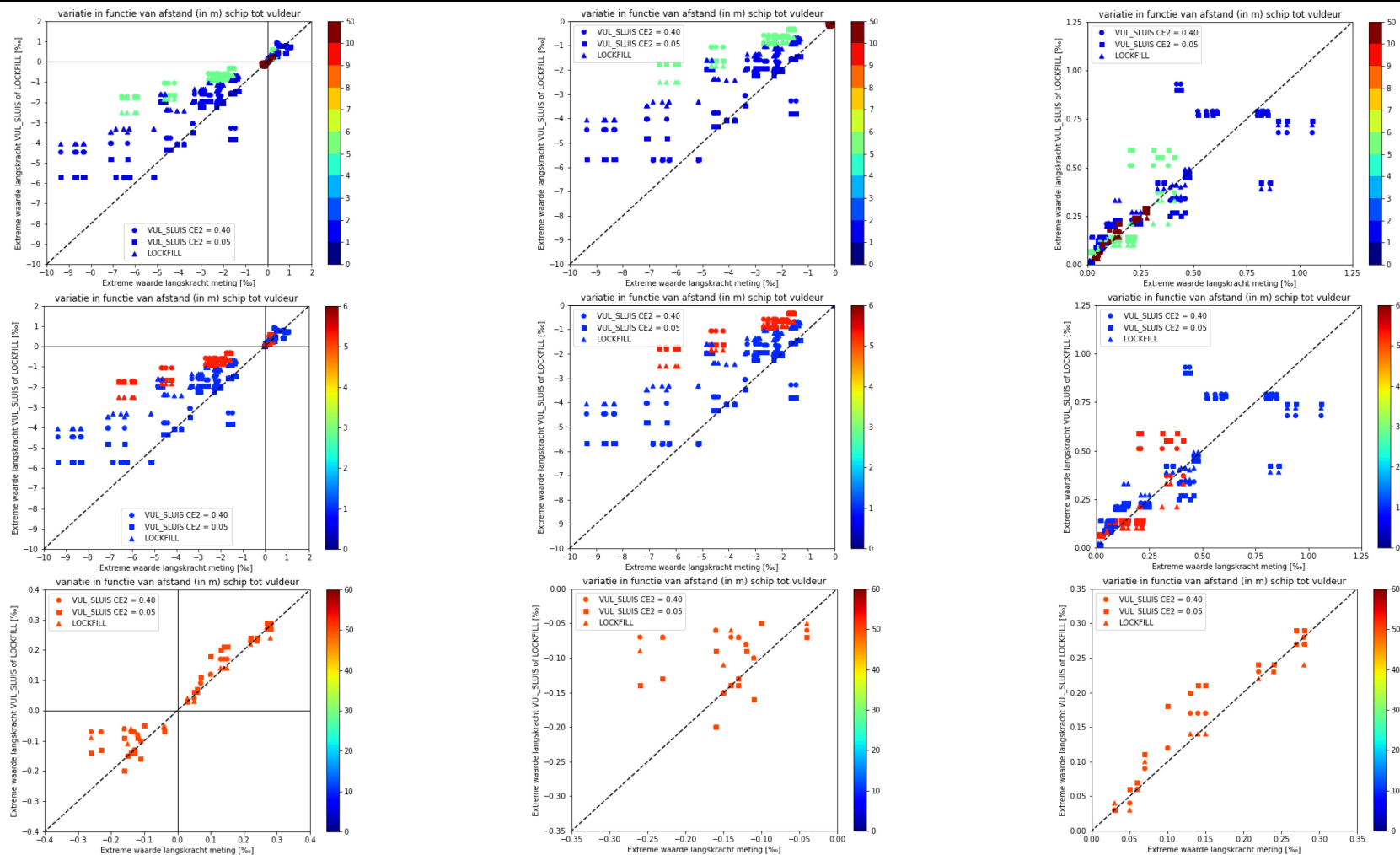


Links: Positieve en negatieve extrema; midden: enkel negatieve extrema; rechts: enkel positieve extrema

Boven: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, Ijmuiden en Terneuzen; Midden: Resultaten schaalmodelonderzoek Zemst;

onder: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden en Terneuzen

Figuur 76 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van blokkage dwarsprofiel sluisolk door schip (in %)

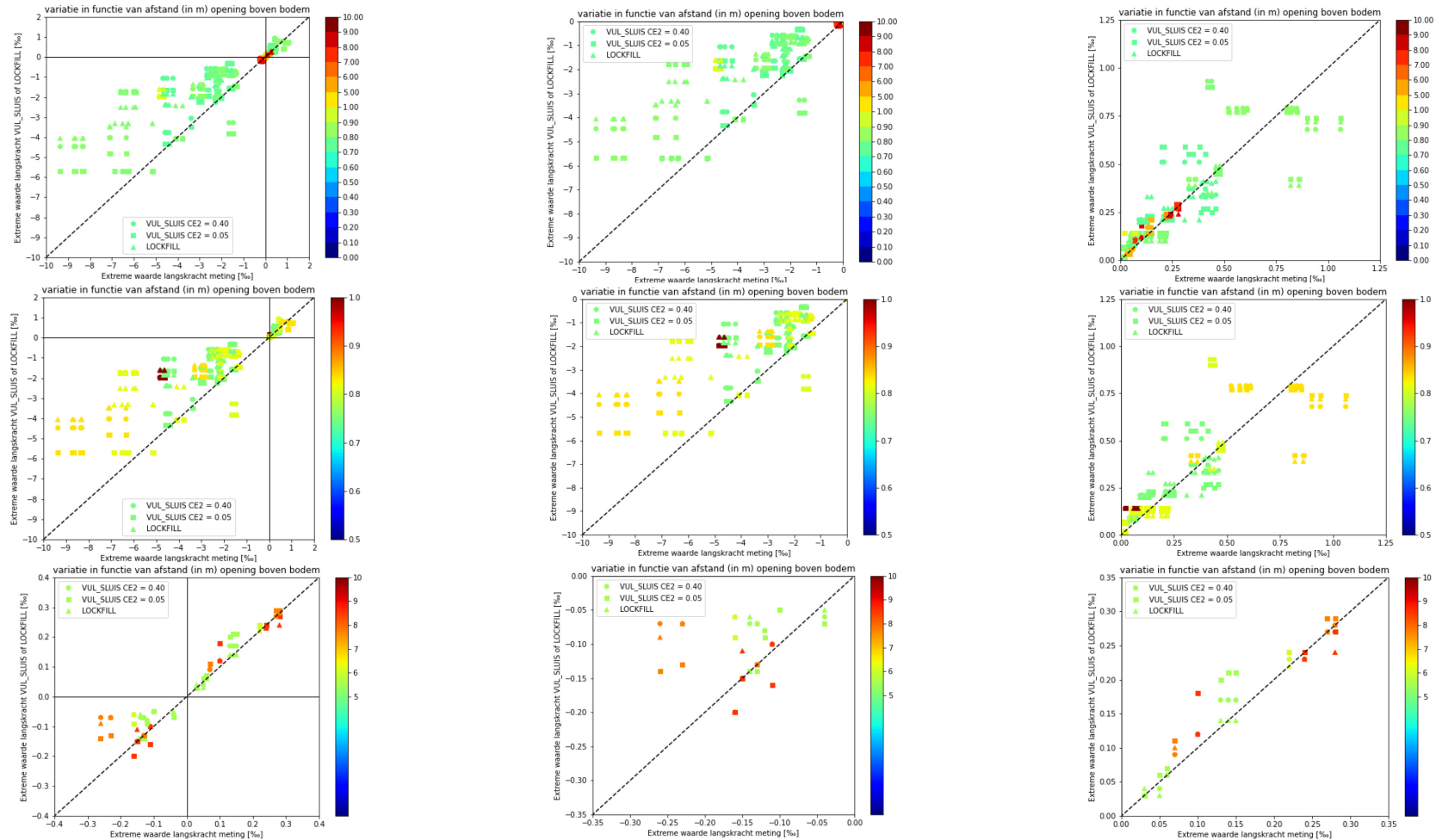


Links: Positieve en negatieve extrema; midden: enkel negatieve extrema; rechts: enkel positieve extrema

Boven: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, Ijmuiden en Terneuzen; Midden: Resultaten schaalmodelonderzoek Zemst;

onder: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden en Terneuzen

Figuur 77 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van afstand schip tot vuldeur [in m]

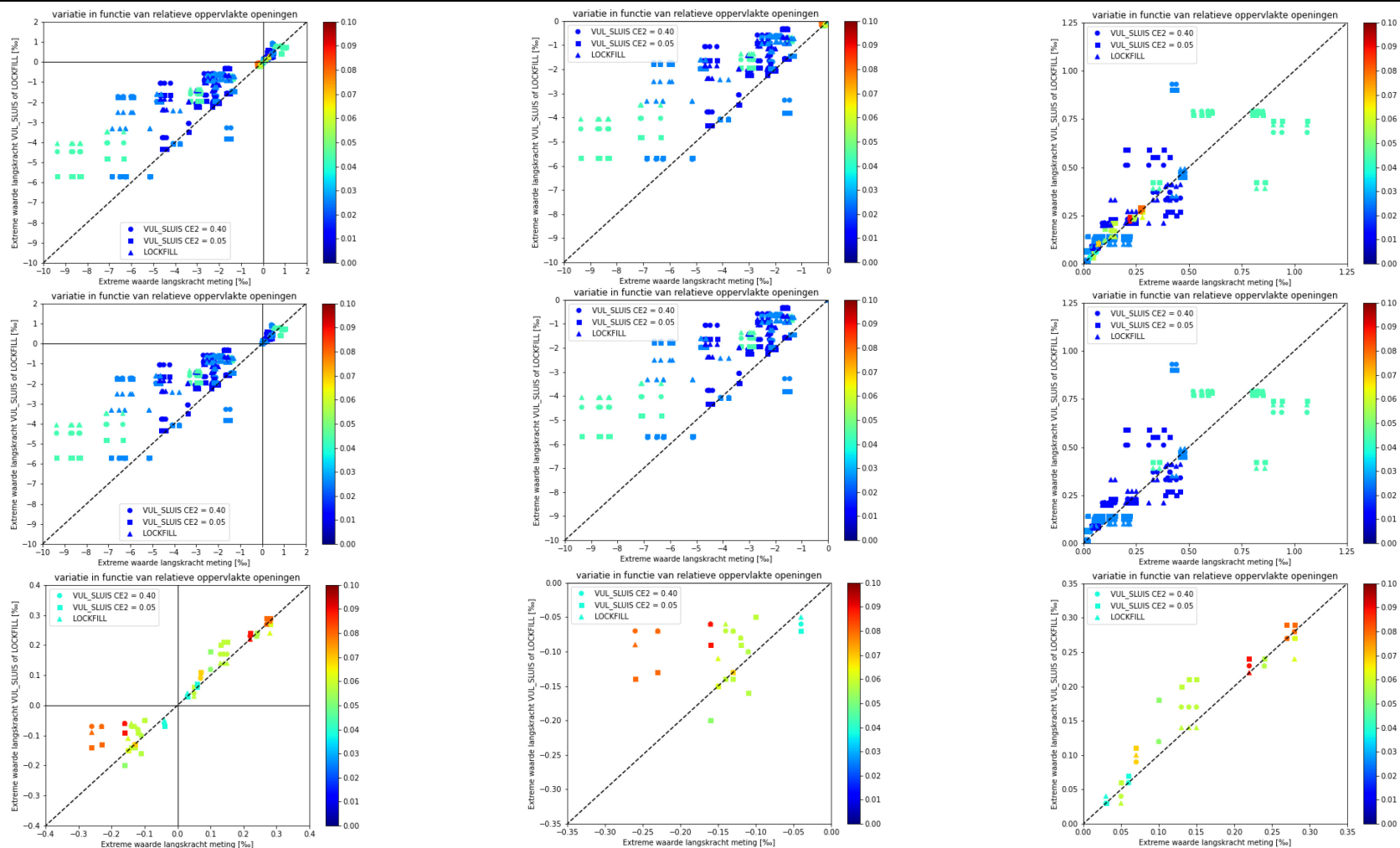


Links: Positieve en negatieve extrema; midden: enkel negatieve extrema; rechts: enkel positieve extrema

Boven: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, Ijmuiden en Terneuzen; Midden: Resultaten schaalmodelonderzoek Zemst;

Onder: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden en Terneuzen

Figuur 78 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van afstand onderzijde vulopening tot bodem sluisolk



Links: Positieve en negatieve extrema; midden: enkel negatieve extrema; rechts: enkel positieve extrema

Boven: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, Ijmuiden en Terneuzen; Midden: Resultaten schaalmodelonderzoek Zemst;

Onder: Resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Ijmuiden en Terneuzen

Figuur 79 – Vergelijking positief en negatief extremum langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL met positief en negatief extremum langskracht uit schaalmodelonderzoek voor resultaten simulaties schaalmodelonderzoek Zemst, schaalmodelonderzoek Ijmuiden en schaalmodelonderzoek Terneuzen; variatie in functie van verhouding totale oppervlakte openingen in sluisdeur tot initiële natte sectie sluisdeur (aangeduid met relatieve oppervlakte van de openingen)

10 Conclusies

In 2008 is door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) begonnen met het ontwikkelen van een eigen programma, VUL_SLUIS genaamd, dat het nivelleren van een schutsluis via openingen in de deuren beschrijft. Dit programma is gebaseerd op literatuur met betrekking tot het programma LOCKFILL, ontwikkeld door Deltares in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Het programma VUL_SLUIS beschrijft in geschematiseerde vorm het vul- en ledigingsproces van een schutsluis via openingen in de sluisdeuren. Het programma berekent de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk, het debiet door de openingen in de deuren en de verschillende componenten van de langskracht op het schip. Bij de ontwikkeling van dit programma is enkel het nivelleren via openingen in de sluisdeuren beschouwd. Nivelleren via korte omloopriolen, nivelleren via omloopriolen met woelkelder en de berekening van de component van de langskracht ten gevolge van dichtheidsverschillen is op dit ogenblik niet beschouwd.

Binnen het project met betrekking tot de verdere ontwikkeling van het programma VUL_SLUIS, zijn reeds een aantal deelonderzoeken uitgevoerd. Deze zijn gerapporteerd in Verelst *et al.* (2017), Vercruysse *et al.* (2019) en Verelst *et al.* (2019). Dit heeft geresulteerd in de ontwikkeling van VUL_SLUIS release 01.54.00. In vorige releases van VUL_SLUIS werd de langskracht op het schip nog berekend op twee verschillende wijzen (versie A en versie B van het programma). In deze laatste release worden de langskrachten op het schip in de sluiskolk op slechts één wijze berekend.

In voorliggend rapport is een validatie uitgevoerd van de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL voor volgende **praktijkcases**:

- Validatie gebruik makend van simulaties met LOCKFILL uitgevoerd in het kader van het ontwerp van het nivelleersysteem van de Royerssluis; Hierbij wordt vooral LOCKFILL 5.03.00 vergeleken met LOCKFILL 3.02.
- Validatie gebruik makend van de resultaten van schaalmodelstudies (sluis Zemst, Nieuwe sluis Terneuzen en sluis IJmuiden).
- Validatie gebruik makend van de resultaten van terreinmetingen (afwaartse sluiskolk Zemst, sluis Evergem en de Vandammesluis).

Voor al deze cases is in dit rapport vooreerst de variatie in de tijd van de waterstand in de sluiskolk en het debiet door de nivelleeropening en de nivelleertijd berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en berekend met LOCKFILL 5.03.00 vergeleken met de waarden uit het schaalmodelonderzoek of uit de terreinmeting. Bij de cases met betrekking tot schaalmodelonderzoek is de langskracht op het schip in de sluiskolk uit het schaalmodelonderzoek vergeleken met de langskracht berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL. Voor de cases met betrekking tot terreinmetingen is enkel de waterspiegelhelling beschikbaar dewelke is opgemeten tussen twee locaties in de sluiskolk. Voor deze cases is zowel de variatie in de tijd van de langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL vergeleken met de waterspiegelhellingen opgemeten tussen locaties die zich het dichtst bij boeg en hek van het schip bevinden, als de variatie in de tijd van de waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS tussen dezelfde locaties als bij de terreinmeting. Voor de meeste beschouwde parameters is hierbij eerst een grafische vergelijking van de variatie in de tijd van de berekende en opgemeten waarde voor deze parameter uitgevoerd. Voor de langskrachten op het schip en waterspiegelhellingen zijn ook de extreme waarden van de berekende grootheden (zowel grafisch als kwantitatief) vergeleken met deze opgemeten tijdens de terreinmeting of tijdens het schaalmodelonderzoek.

Algemeen kan uit de validatie besloten worden dat beperkte verschillen tussen VUL_SLUIS 1.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en de metingen worden vastgesteld wat betreft variatie in de tijd van waterpeil in de sluiskolk, variatie in de tijd van debiet door de nivelleeropeningen en de nivelleertijd. Voor cases met langskrachten opgemeten op een schaalmodel kan algemeen besloten worden dat het verloop van de langskrachten op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL hetzelfde is als dit van de langskrachten opgemeten in het schaalmodel. De amplitude van de eerste piek van de berekende langskrachten (positief bij vullen, negatief bij ledigen) vertoont een goede overeenkomst met deze van de in het schaalmodel opgemeten langskrachten. Naar het einde van de nivellering toe neemt de amplitude van de langskrachten berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL af omwille van de damping van de translatiegolven. Bij de sluis van Zemst worden gedurende het overige gedeelte van de nivellering de in het schaalmodel opgemeten langskrachten op het schip beduidend onderschat door VUL_SLUIS en LOCKFILL. Ook kan niet besloten worden dat langskrachten berekend met VUL_SLUIS een betere benadering geven van de langskrachten opgemeten in een schaalmodel dan de deze berekend met LOCKFILL of omgekeerd. Worden individuele simulaties vergeleken dan kunnen de positieve en de negatieve extrema van de langskracht op het schip berekend met LOCKFILL of met VUL_SLUIS beduidend over- of onderschat worden (tot 158 %). De gemiddelde afwijking op het negatieve extremum door VUL_SLUIS of LOCKFILL varieert tussen -10 % en -53 %. De afwijkingen op het positieve extremum door VUL_SLUIS of LOCKFILL variëren, met uitzondering van één overschatting tot 44 %, tussen -8 % en +18 %.

Er wordt geen correlatie vastgesteld tussen de gemiddelde afwijking op de positieve en negatieve extrema van de langskracht door VUL_SLUIS of LOCKFILL, type nivellering en de afstand tussen de onderzijde opening in de sluisdeur en sluiskolkbodem. Er wordt een correlatie vastgesteld tussen de gemiddelde afwijking op het negatieve extremum van de langskracht door VUL_SLUIS of LOCKFILL en de blokkering van het schip in het dwarsprofiel van de sluiskolk, de afstand van het schip tot de sluisdeur (bij simulaties met het nivelleersysteem van de sluis te Zemst) en de relatieve oppervlakte van de openingen in de voor nivelleren gebruikte sluisdeur (bij simulaties voor Nieuwe sluis Terneuzen en sluis IJmuiden). Wat het positieve extremum betreft wordt tussen de gemiddelde afwijking op het extremum van de langskracht door VUL_SLUIS of LOCKFILL en deze parameters geen correlatie vastgesteld.

Bij deze besluiten wordt nog het volgende opgemerkt en aanbevolen:

1. Verder onderzoek is aanbevolen naar een nauwkeurigere bepaling van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname, een nauwkeurigere berekening van waterspiegelhellingen tussen twee punten in de sluiskolk (mogelijk door implementatie van de 1D Saint-Venant vergelijkingen), de vastgestelde correlaties met de negatieve extrema van de langskracht en de invloed van het waterpeil in de sluiskolk op de damping van translatiegolven. Wat betreft correlaties met de extrema van de langskracht kan ook de correlatie met de vorm van de openingen (rond of rechthoekig), de correlatie met het afsluitmiddel van de openingen (hefschuif of vlinderklep) of nog mogelijke andere correlaties onderzocht worden. Daarnaast is een analyse van de resultaten van de correlatie met de blokkage van het dwarsprofiel van de sluiskolk door het schip ook aanbevolen. Dit verdere onderzoek kan uitgevoerd worden aan de hand van vergelijking met terreinmetingen, het vergelijken met resultaten van schaalmodelonderzoek of met behulp van CFD-modellering.
2. Bij toepassen van LOCKFILL 5.03.00 voor deze validatie werden een aantal praktische nadelen vastgesteld, o.a. onrealistische resultaten bij toepassen van een tijdsstap kleiner dan de standaard tijdsstap van 1.0 s. Ook werden verschillen in resultaten tussen VUL_SLUIS en LOCKFILL berekend omwille van de wijze van ingeven van cirkelvormige openingen afgesloten met hefschuiven in de inputfiles (zie paragraaf 7.3) en omwille van de beperking van het aantal lijnen in de inputfile voor het ingeven van de waterstand in het opwaarts pand in de inputfile van LOCKFILL. Zowel bij simulaties met LOCKFILL als simulaties met VUL_SLUIS werden bij één simulatie met vlinderkleppen bij het begin van het openen van de vlinderkleppen het optreden van één spike in de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven vastgesteld. Voor het optreden van deze spike in de resultaten is geen verklaring gevonden.

3. In VUL_SLUIS is het mogelijk om een opening in de deur zonder breekbalken te simuleren. Door toepassen van contractie in de straal van de jet, wordt de doorsnede van de jet afwaarts van de opening sterk vernauwd. Hierdoor kunnen vooral bij openingen afgesloten met hefschuiven in het begin van de nivellering zeer hoge stroomsnelheden in de jet berekend worden, dewelke dan aanleiding geven tot hoge krachten op het schip. Paragraaf 3.2 vermeldt een praktische werkwijze om openingen in een deur zonder breekbalken te simuleren door in de inputfile van VUL_SLUIS of LOCKFILL openingen met breekbalken te beschouwen. Het is aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de variatie van de stroomsnelheden in de vulstraal bij afwezigheid van breekbalken en de manier om dit met programma's als LOCKFILL of VUL_SLUIS te simuleren.
4. Voor de cases met betrekking tot terreinmetingen zijn een aantal metingen nagerekend waarbij geen schip in de sluiskolk aanwezig was. In VUL_SLUIS en in LOCKFILL moet echter altijd een schip in de inputfile opgegeven worden. Om die reden zijn deze simulaties uitgevoerd met een dummy schip in de sluiskolk, i.e. een schip met lengte 10 m, breedte 1.0 m en diepgang 0.1 m. Hierbij is het ook aanbevolen om ook simulaties zonder schip mogelijk te maken in VUL_SLUIS of LOCKFILL.
5. Bij terreinmetingen is het relatief eenvoudig om waterspiegelhellingen in de sluiskolk op te meten. Deze waterspiegelhellingen zijn een maat voor de hydrostatische kracht op het schip in de kolk. Echter de negatieve component ten gevolge van impulsafname, die in de opgemeten waterspiegelhellingen aanwezig is, wordt niet door VUL_SLUIS berekend. Het is niet aan te bevelen om extrema van langskracht berekend met VUL_SLUIS of LOCKFILL te vergelijken met extrema van tijdens een terreinmeting opgemeten waterspiegelhellingen. Daarnaast is het aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de correcte berekening van waterspiegelhellingen in de sluiskolk in VUL_SLUIS.
6. Door WL werden recent in een aantal andere projecten de bewegingen van een schip in 6 dimensies opgemeten. De helling van het schip in de langsrichting is hierbij een goede maat voor de langskrachten op een schip in de kolk. Bijgevolg kunnen de aan de hand van VUL_SLUIS of LOCKFILL berekende krachten op het schip ook vergeleken worden met de opgemeten helling van het schip in de kolk in plaats van met de opgemeten waterspiegelhellingen tussen twee punten in de sluiskolk. Op deze wijze wordt voornamelijk het nadeel dat de boeg en hek van het schip in de kolk die niet samenvallen met de locaties voor opmeting van de waterspiegelhellingen in de kolk ondervangen. Ook is meer onderzoek nodig naar de correlaties tussen langshelling van het schip, langse waterspiegelhelling en langskracht op het schip en mogelijke invloeden die deze correlaties kunnen beïnvloeden (inertie van het schip, ...).

11 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
- D'Agostino, R.B.; Stephens, M.A. (Eds.). (1986).** Goodness-of-fit-techniques. Marcel Dekker, INC: New York
- Deltares. (2015).** LOCKFILL. User and Technical manual. version 0.00 8 July 2015
- Dos Santos Nogueira, H.; van der Hout, A.J.; O'Mahoney, T. (2016).** Scale model of the new lock in Terneuzen. Results of levelling and lock-exchange tests.. 1220959-000: Delft, The Netherlands
- Hogg, R.V.; McKean, J.W.; Craig, A.T. (2019).** Introduction to mathematical statistics. Eighth Edi. Pearson education inc.
- Hydrobel. (1980).** Zeesluis Zeebrugge Elektromechanische uitrusting Bestek Y11/4042: Berekeningsnota van de hydraulische groepen der vlinderkleppen
- Schindfessel, L.; De Mulder, T. (2017).** Studieopdracht naar de berekening van debiet en impuls in het programma vul_sluis.m. Laboratorium voor Hydraulica van de Universiteit Gent: Gent
- Schneggenburger, C. (1998).** Spectral wave modelling with nonlinear dissipation. Universität Hamburg: Hamburg, Germany
- Schwanenberg, D.; Jongeling, T.H.G. (2003).** Vul- en ledigingssysteem Royerssluis: deelopdracht I. Eerste ontwerp. Q2887. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- van der Hout, A.J.; Dos Santos Nogueira, H.; Boschetti, T. (2019).** Scale model of the new lock in Terneuzen. Results of the verification tests for the final design of the levelling system. Deltares: Delft, The Netherlands
- Vercruysse, J.B.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2011).** Ringvaart om Gent - Tweede sluis Evergem: verslag van terreinmeting inzake vullen- en ledigen. *WL Rapporten*, 760_13. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; De Mulder, T.; Verelst, K.; Schindfessel, L.; Peeters, P. (2013).** Zeekanaal Brussel Schelde - sluis Zemst: rapportage schaalmodelonderzoek vulling via openingen in het middenhoofd. *WL Rapporten*, 12_044. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2019).** VERDERE ONTWIKKELING PROGRAMMA VUL_SLUIS. Systematische vergelijking VUL_SLUIS en LOCKFILL.: Antwerpen, België.
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2012).** Haven van Zeebrugge - SHIP: terreinmeting nivelleren Vandammesluis. *WL Rapporten*, 12_036. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016a).** Haven van Antwerpen - Royerssluis: deelrapport 2. Hydraulisch ontwerp nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden voor vernieuwde Royerssluis. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 12_131_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XI, 104 + 35 p. appendices pp.
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016b).** Zeekanaal Brussel Schelde – sluis Zemst: verslag terreinmeting vulling afwaartse kolk. *WL Adviezen*, 15_061. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Verelst, K.; De Mulder, T.; Mostaert, F.. (2019).** Verdere ontwikkeling programma VUL_SLUIS. Vergelijking VUL_SLUIS, LOCKFILL, LOCKSIM en Delft3D. Versie 5.0. *WL rapporten*, 15_007_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Verelst, K.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2018). Verdere ontwikkeling programma vul_sluis. Vergelijking vul_sluis, LOCKFILL, LOCKSIM en Delft3D. *versie 1.0*, 15_007_3: Antwerpen, België

Verelst, K.; De Mulder, T.; Schindfessel, L.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017). Verdere ontwikkeling programma vul_sluis: Vergroten inzicht in code en formuleringen.. *WL Rapporten*, 15_007_1: Antwerpen

Verelst, K.; Vercruysse, J.B.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2013). Haven van Antwerpen - Royerssluis: voorontwerp nivelleersysteem vernieuwde Royerssluis. *WL Rapporten*, 12_131. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage 1: Tabellen en figuren voor validatie met resultaten modellering LOCKFILL voor Royerssluis

Tabellen

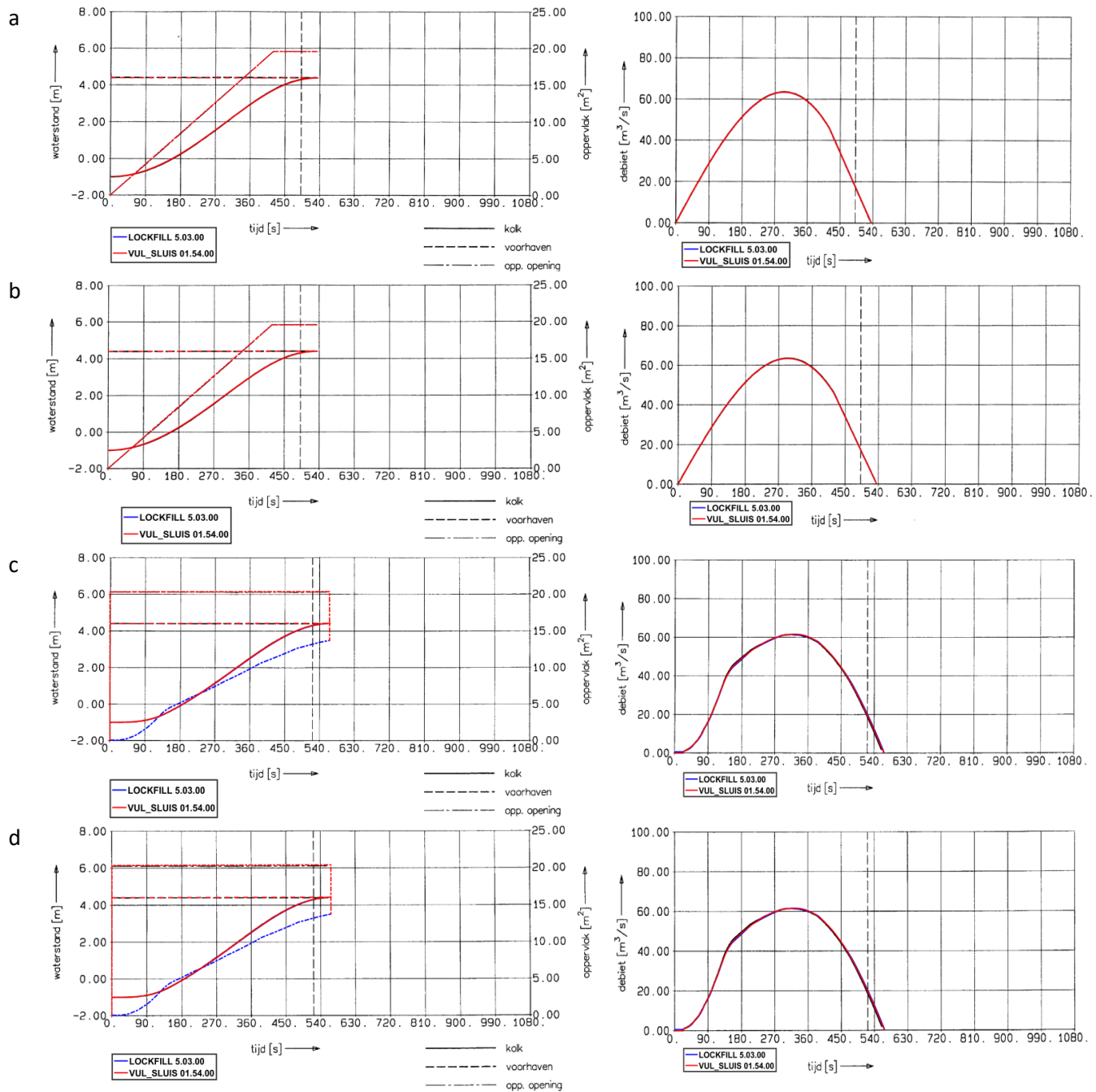
Tabel 44 – Nivelleertijd en extreme waarden langskracht voor simulatie A1 tot en met A28 berekend met LOCKFILL 3.02, VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Type	Nivelleer-systeem	Schip	Simulatie	LOCKFILL 3.02			VUL_SLUIS release 01.54.00					LOCKFILL 5.03.00				
				Nivelleertijd restverval 10 cm	Langskracht		Nivelleertijd restverval 10 cm	Langskracht		Verschil met langs- kracht LOCKFILL 3.02		Nivelleertijd restverval 10 cm	Langskracht		verschil met langs- kracht LOCKFILL 3.02	
					Negatief extremum	Positief extremum		Negatief extremum	Positief extremum	Negatief extremum	Positief extremum		Negatief extremum	Positief extremum	Negatief extremum	Positief extremum
				s	‰	‰	s	‰	‰	%	%	s	‰	‰	%	%
Vullen	R1	JOWI	A1	492	-0.66	0.58	490	-1.12	0.56	70	-4	490	-0.68	0.56	4	-3
		Duwkonvooi CEMT Va	A2	492	-0.81	0.61	490	-1.23	0.59	51	-3	490	-0.82	0.61	1	-1
	V1	JOWI	A3	522	-0.66	0.42	523	-0.98	0.41	48	-2	525	-0.70	0.43	6	2
		Duwkonvooi CEMT Va	A4	522	-0.82	0.56	523	-1.05	0.47	28	-15	525	-0.86	0.54	4	-3
	R2	JOWI	A5	530	-0.66	0.52	529	-0.98	0.50	48	-3	529	-0.68	0.50	3	-3
		Duwkonvooi CEMT Va	A6	530	-0.81	0.56	529	-1.08	0.53	34	-5	529	-0.80	0.54	-2	-3
	V2	JOWI	A7	560	-0.67	0.40	559	-0.89	0.39	33	-2	560	-0.70	0.39	4	-2
		Duwkonvooi CEMT Va	A8	560	-0.82	0.56	559	-0.92	0.48	12	-15	560	-0.84	0.56	2	0
	R3	JOWI	A9	606	-0.71	0.47	604	-0.84	0.45	19	-4	604	-0.72	0.45	2	-3
		Duwkonvooi CEMT Va	A10	606	-0.83	0.51	604	-0.87	0.48	5	-6	604	-0.83	0.49	0	-5
	V3	JOWI	A11	628	-0.68	0.36	628	-0.79	0.39	16	8	629	-0.70	0.36	4	-1
		Duwkonvooi CEMT Va	A12	628	-0.83	0.51	628	-0.79	0.46	-5	-9	629	-0.85	0.52	2	2
	R4	JOWI	A13	678	-0.73	0.62	677	-0.70	0.60	-5	-3	677	-0.75	0.60	3	-3
		Duwkonvooi CEMT Va	A14	678	-0.77	0.66	677	-0.76	0.63	-2	-5	677	-0.80	0.64	4	-3
	V4	JOWI	A15	702	-0.72	0.43	701	-0.67	0.43	-7	1	702	-0.75	0.44	4	2
		Duwkonvooi CEMT Va	A16	702	-0.80	0.60	700	-0.65	0.52	-18	-13	701	-0.85	0.59	6	-2
	R5	JOWI	A17	840	-0.60	0.67	839	-0.52	0.67	-13	0	839	-0.61	0.67	2	0
		Duwkonvooi CEMT Va	A18	840	-0.52	0.73	839	-0.51	0.70	-3	-4	839	-0.56	0.72	7	-2
	V5	JOWI	A19	794	-0.71	0.44	793	-0.59	0.44	-17	-1	794	-0.75	0.44	6	1
		Duwkonvooi CEMT Va	A20	794	-0.66	0.58	793	-0.60	0.51	-9	-12	794	-0.68	0.59	4	2
Ledigen	R3	JOWI	A21	508	-0.40	0.24	507	-0.43	0.23	6	-3	507	-0.44	0.25	9	4
		Duwkonvooi CEMT Va	A22	508	-0.49	0.28	507	-0.47	0.27	-4	-4	507	-0.50	0.27	2	-4
	V3	JOWI	A23	524	-0.48	0.23	524	-0.45	0.20	-6	-12	525	-0.48	0.21	1	-11
		Duwkonvooi CEMT Va	A24	524	-0.60	0.22	524	-0.51	0.23	-15	4	525	-0.54	0.26	-10	18
	R5	JOWI	A25	838	-0.27	0.06	836	-0.27	0.05	-1	-9	836	-0.27	0.06	-1	-7
		Duwkonvooi CEMT Va	A26	838	-0.33	0.06	836	-0.30	0.06	-10	1	836	-0.30	0.06	-11	1
	V5	JOWI	A27	784	-0.28	0.08	784	-0.26	0.08	-6	-4	785	-0.28	0.09	-1	13
		Duwkonvooi CEMT Va	A28	784	-0.33	0.08	784	-0.32	0.09	-4	11	785	-0.32	0.09	-4	18

Tabel 45 – Nivelleertijd en extreme waarden langskracht voor simulatie B1 tot en met B40 berekend met LOCKFILL 3.02, VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

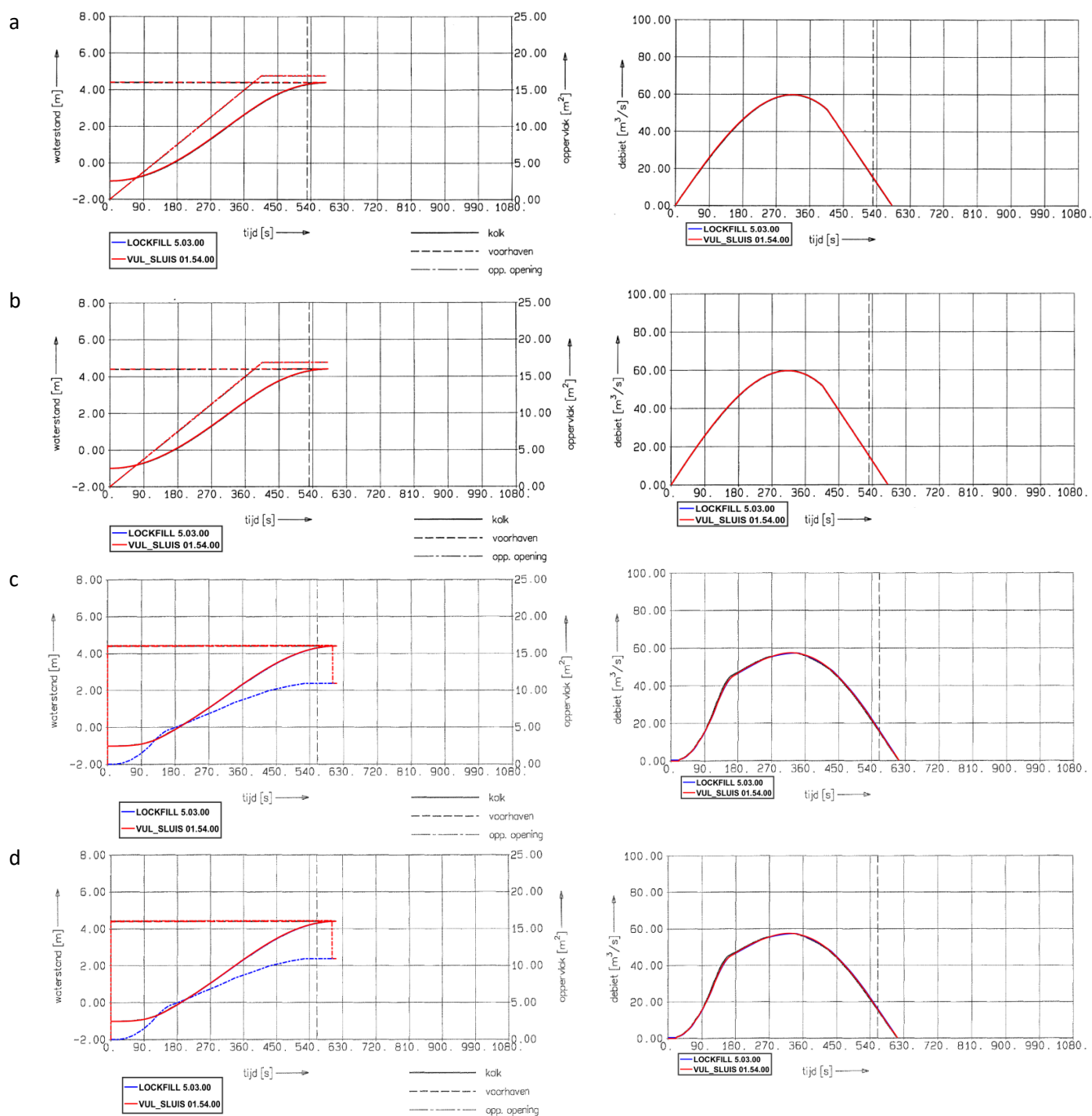
Nivelleer-systeem	Schip	Simulatie	LOCKFILL 3.02		VUL_SLUIS release 01.54.00					LOCKFILL 5.03.00				
			Nivelleertijd restverval 10 cm	Max. abs. waarde langskracht	Nivelleer-tijd restverval 10 cm	Langskracht				Nivelleer-tijd restverval 10 cm	Langskracht			
						Negatief extremum	Positief extremum	Max. abs. waarde	Vershil met LOCKFILL 3.02		Negatief extremum	Positief extremum	Max. abs. waarde	Vershil met LOCKFILL 3.02
			s	‰	s	‰	‰	‰	%	s	‰	‰	‰	%
R3	JOWI	B1	650	0.66	652	-0.78	0.41	0.78	18	652	-0.66	0.41	0.66	-1
	duwkonvooi CEMT Va	B2	650	0.79	652	-0.80	0.43	0.80	1	652	-0.76	0.44	0.76	-4
V3	JOWI	B3	676	0.61	676	-0.68	0.36	0.68	11	677	-0.61	0.33	0.61	1
	duwkonvooi CEMT Va	B4	676	0.74	676	-0.68	0.43	0.68	-8	677	-0.76	0.47	0.76	3
R3	JOWI	B5	564	0.74	564	-0.92	0.50	0.92	24	564	-0.75	0.50	0.75	1
	duwkonvooi CEMT Va	B6	564	0.91	564	-0.98	0.52	0.98	7	564	-0.91	0.53	0.91	0
V3	JOWI	B7	588	0.78	588	-0.88	0.39	0.88	12	589	-0.79	0.38	0.79	2
	duwkonvooi CEMT Va	B8	588	0.96	588	-0.89	0.48	0.89	-7	589	-0.97	0.55	0.97	1
R3	JOWI	B9	606	1.05	604	-1.31	0.43	1.31	25	604	-1.06	0.44	1.06	1
	duwkonvooi CEMT Va	B10	606	1.29	604	-1.59	0.46	1.59	23	604	-1.29	0.48	1.29	0
V3	JOWI	B11	626	1.22	628	-1.57	0.26	1.57	28	629	-1.23	0.32	1.23	1
	duwkonvooi CEMT Va	B12	626	1.48	628	-1.83	0.31	1.83	24	629	-1.46	0.43	1.46	-2
R3	JOWI	B13	606	0.45	604	-0.26	0.45	0.45	0	604	-0.32	0.45	0.45	0
	duwkonvooi CEMT Va	B14	606	0.47	604	-0.28	0.48	0.48	2	604	-0.34	0.48	0.48	2
V3	JOWI	B15	626	0.38	628	-0.22	0.42	0.42	10	629	-0.28	0.40	0.40	5
	duwkonvooi CEMT Va	B16	626	0.49	628	-0.24	0.49	0.49	1	629	-0.32	0.49	0.49	0
R3	JOWI	B33	606	0.82	604	-0.84	0.45	0.84	2	604	-0.81	0.46	0.81	-1
	duwkonvooi CEMT Va	B34	606	0.97	604	-0.85	0.48	0.85	-12	604	-0.95	0.49	0.95	-2
V3	JOWI	B35	626	0.78	628	-0.78	0.39	0.78	0	629	-0.80	0.36	0.80	2
	duwkonvooi CEMT Va	B36	626	0.95	628	-0.77	0.47	0.77	-19	629	-0.98	0.52	0.98	3
R3	JOWI	B37	606	0.66	604	-0.85	0.45	0.85	29	604	-0.65	0.45	0.65	-1
	duwkonvooi CEMT Va	B38	606	0.77	604	-0.89	0.48	0.89	15	604	-0.75	0.48	0.75	-2
V3	JOWI	B39	626	0.63	628	-0.79	0.38	0.79	26	629	-0.64	0.35	0.64	2
	duwkonvooi CEMT Va	B40	626	0.77	628	-0.80	0.46	0.80	4	629	-0.77	0.52	0.77	1

Figuren



Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven. links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiskolk en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen
Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen als uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen als uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Figuur 80 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A1 (a), A2 (b), A3 (c) en A4 (d)

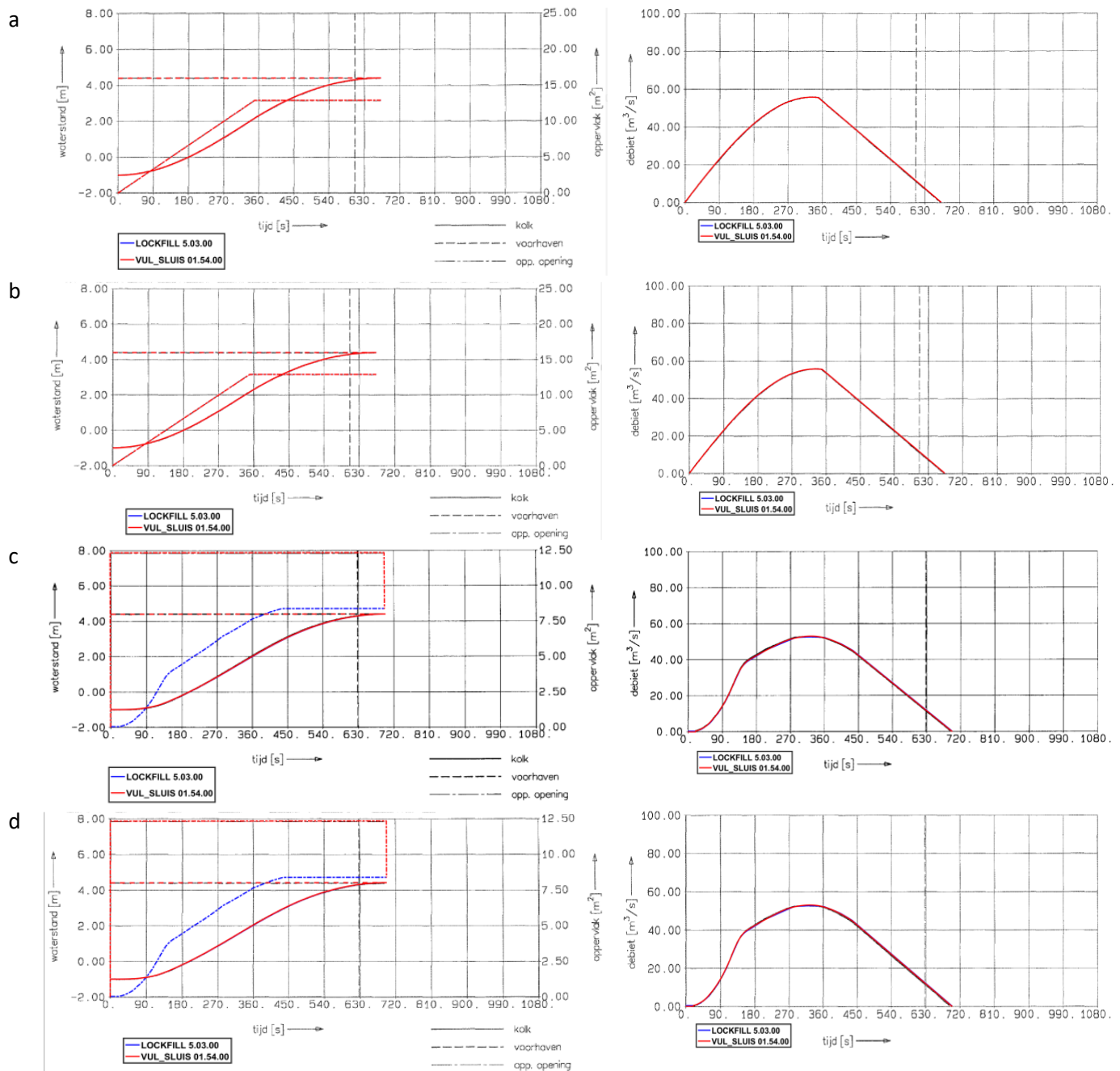


Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven.

links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiskolk en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

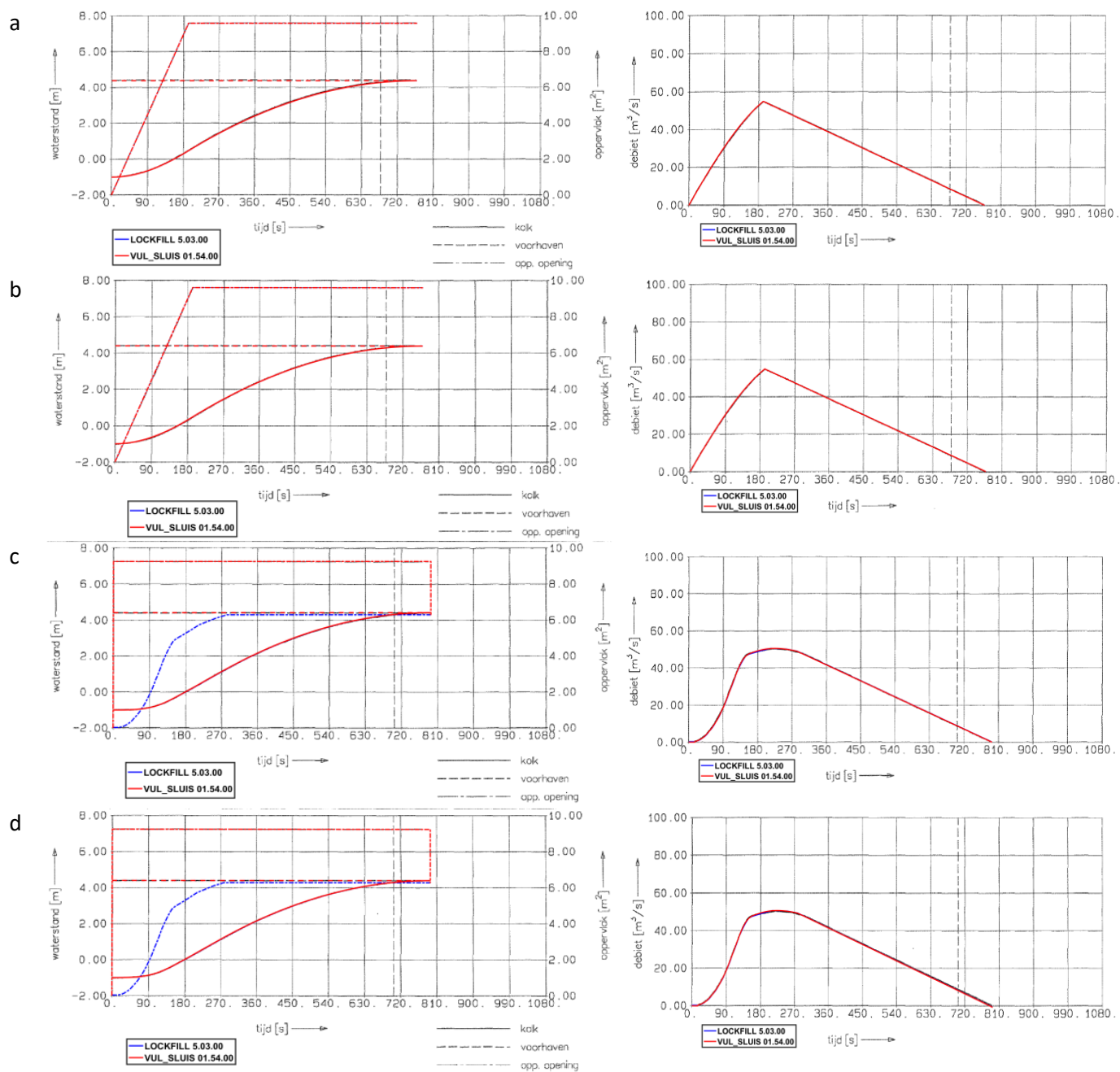
Figuur 81 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A5 (a), A6 (b), A7 (c) en A8 (d)



Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven. links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiskolk en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Figuur 82 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A9 (a), A10 (b), A11 (c) en A12 (d)

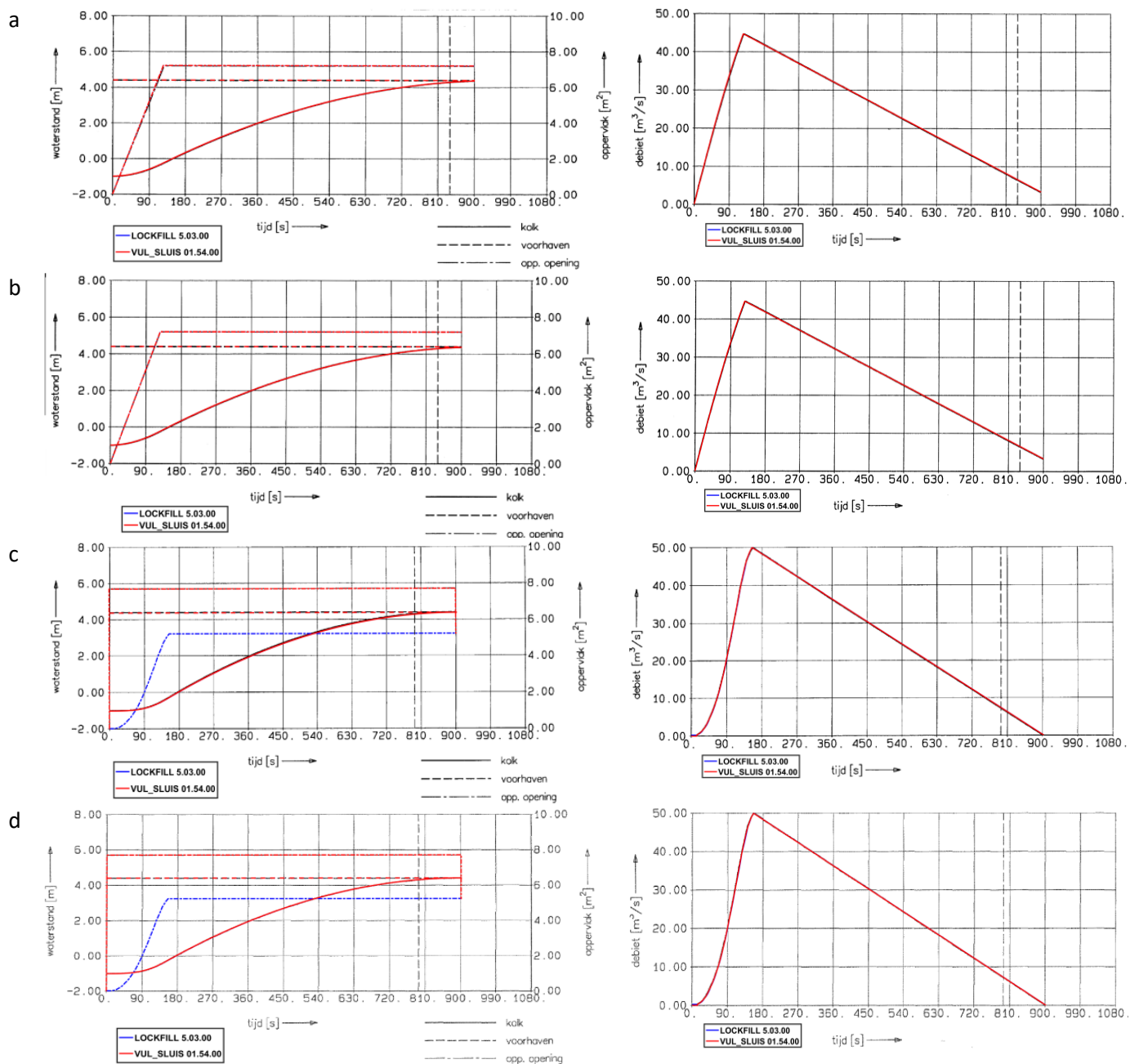


Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven.

links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiskolk en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

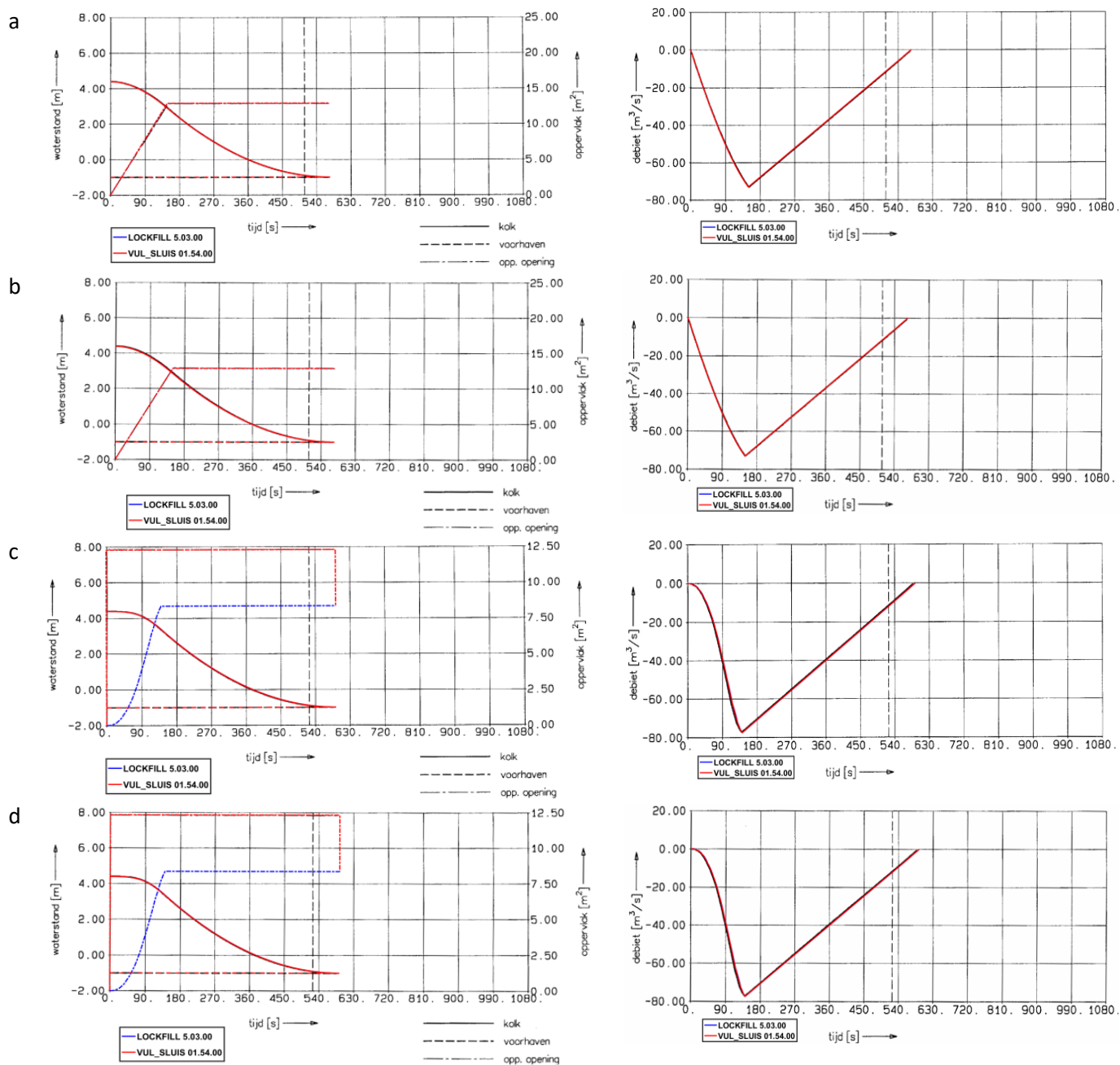
Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Figuur 83 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A13 (a), A14 (b), A15 (c) en A16 (d)



Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven. links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiskolk en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen
Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Figuur 84 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A17 (a), A18 (b), A19 (c) en A20 (d)

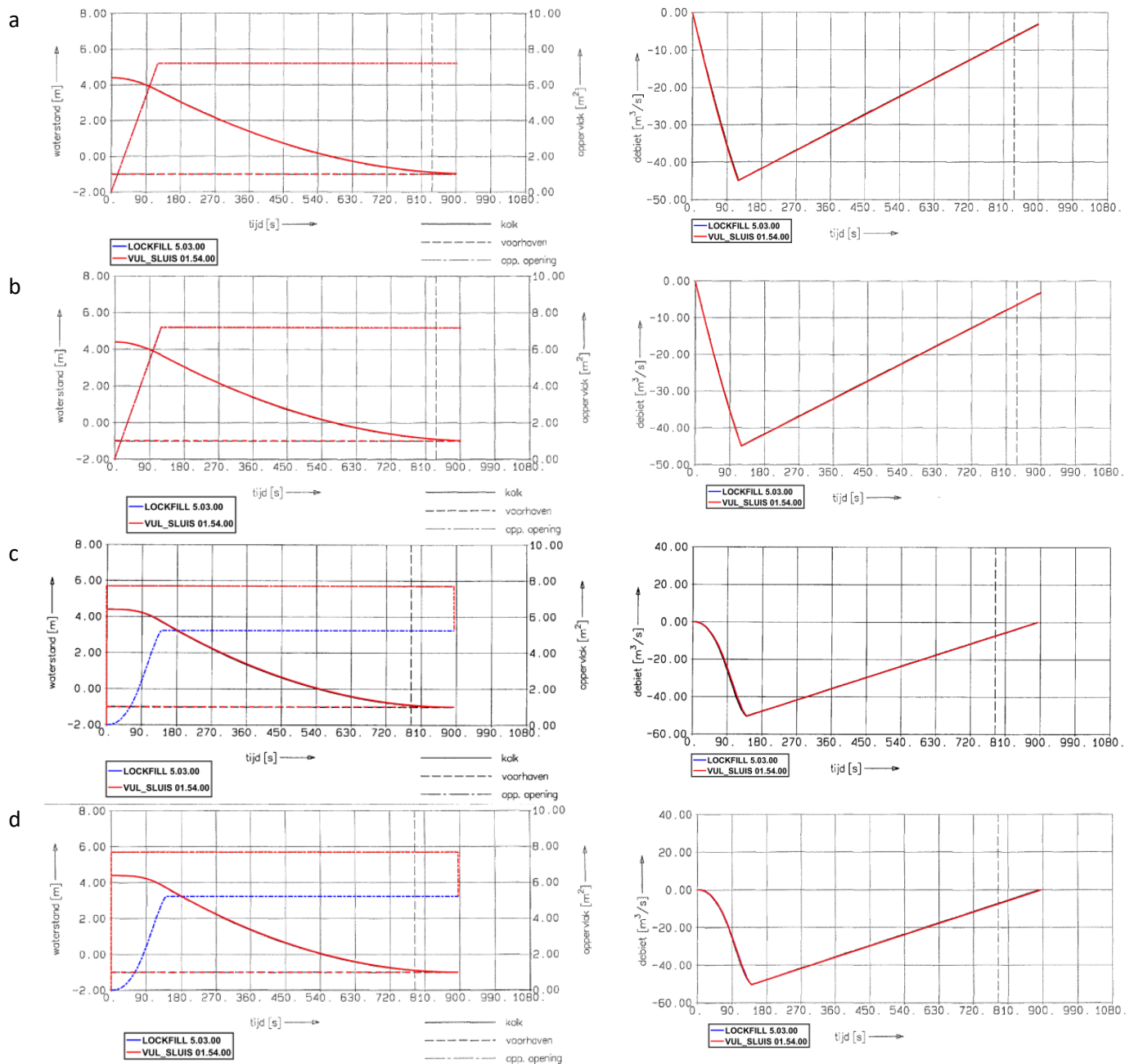


Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven.

links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisenkolk en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Figuur 85 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluisenkolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A21 (a), A22 (b), A23 (c) en A24 (d)



Resultaten van simulaties met LOCKFILL 3.02 betreffen de achtergrondfiguur waarop de overige resultaten zijn weergegeven.

links: variatie in de tijd van waterpeil in sluislock en oppervlakte openingen; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Opmerking bij c en d: Voor simulaties met vlinderkleppen is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer van LOCKFILL 5.03.00 gelijk aan μA ; bij VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 3.02 is de oppervlakte van de openingen in de uitvoer gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Figuur 86 – Variatie in de tijd van waterstand in de sluislock en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00, LOCKFILL 5.03.00 en LOCKFILL 3.02 voor simulatie A25 (a), A26 (b), A27 (c) en A28 (d)

Bijlage 2 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten schaalmodelstudie sluis Zemst

Tabellen

Tabel 46 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand en debiet uit schaalmodel

Simulatie	Waterstand								Debiet							
	VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00				VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m	m	m	-	m	m	m	-	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	-	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	-
001	0.16	0.18	0.06	1.00	0.16	0.18	0.06	1.00	-0.24	0.88	0.85	0.98	-0.24	0.88	0.84	0.98
002	0.08	0.09	0.04	1.00	0.08	0.09	0.04	1.00	-0.62	3.28	3.22	0.98	-0.62	3.25	3.20	0.98
003	0.11	0.12	0.03	1.00	0.11	0.11	0.03	1.00	-0.31	1.32	1.29	0.99	-0.31	1.31	1.28	0.99
004	-0.01	0.04	0.04	1.00	-0.01	0.04	0.04	1.00	-0.54	1.91	1.83	0.99	-0.54	1.91	1.83	0.99
005	0.13	0.14	0.05	1.00	0.13	0.14	0.05	1.00	-0.24	0.94	0.91	0.98	-0.24	0.93	0.89	0.98
006	0.03	0.08	0.07	1.00	0.01	0.08	0.08	1.00	-0.54	2.69	2.64	0.99	-0.54	2.75	2.70	0.99
007	0.01	0.08	0.08	1.00	-0.02	0.09	0.08	1.00	-0.46	2.16	2.11	0.98	-0.46	2.22	2.17	0.98
008	0.07	0.07	0.03	1.00	0.06	0.06	0.02	1.00	-0.29	0.74	0.68	1.00	-0.29	0.71	0.64	1.00
009	0.04	0.05	0.03	1.00	0.02	0.03	0.03	1.00	-0.26	0.59	0.54	1.00	-0.26	0.57	0.51	1.00
010	-0.01	0.05	0.05	1.00	-0.01	0.05	0.05	1.00	-0.42	1.03	0.94	1.00	-0.43	1.03	0.94	1.00
011	0.16	0.18	0.07	1.00	0.16	0.18	0.07	1.00	-0.25	0.87	0.83	0.98	-0.25	0.86	0.83	0.98
012	0.10	0.11	0.03	1.00	0.10	0.11	0.03	1.00	-0.28	1.29	1.26	0.99	-0.28	1.28	1.25	0.99
013	-0.06	0.08	0.05	1.00	-0.06	0.08	0.05	1.00	-0.78	1.77	1.59	1.00	-0.78	1.78	1.60	1.00
014	0.16	0.18	0.07	1.00	0.16	0.18	0.07	1.00	-0.24	0.79	0.75	0.99	-0.24	0.78	0.74	0.99
015	0.01	0.04	0.04	1.00	0.01	0.04	0.04	1.00	-0.63	2.73	2.66	0.99	-0.63	2.71	2.64	0.99
016	0.10	0.10	0.03	1.00	0.10	0.10	0.03	1.00	-0.31	1.03	0.99	0.99	-0.31	1.02	0.98	0.99
017	-0.02	0.04	0.04	1.00	-0.02	0.04	0.04	1.00	-0.62	1.41	1.27	1.00	-0.62	1.42	1.28	1.00
018	-0.02	0.08	0.07	1.00	-0.02	0.08	0.07	1.00	-0.76	2.27	2.14	0.99	-0.76	2.28	2.15	0.99
019	0.05	0.07	0.04	1.00	0.03	0.06	0.05	1.00	-0.19	0.74	0.71	0.99	-0.19	0.72	0.69	0.99
020	0.01	0.04	0.04	1.00	-0.01	0.03	0.03	1.00	-0.34	0.84	0.77	1.00	-0.35	0.71	0.62	1.00
021	0.08	0.10	0.05	1.00	0.06	0.08	0.05	1.00	-0.44	1.34	1.27	0.99	-0.45	1.23	1.14	0.99
022	-0.21	0.24	0.12	1.00	-0.22	0.25	0.12	1.00	-0.65	2.21	2.11	0.98	-0.66	2.23	2.13	0.98
023	0.04	0.06	0.05	1.00	0.03	0.05	0.04	1.00	-0.23	1.32	1.30	0.99	-0.23	1.20	1.17	0.99
Minimum	-0.21	0.04	0.03	1.00	-0.22	0.03	0.02	1.00	-0.78	0.59	0.54	1.0	-0.78	0.57	0.51	0.98
Gemiddelde	0.04	0.10	0.05	1.00	0.04	0.09	0.05	1.00	-0.42	1.48	1.42	0.99	-0.42	1.47	1.40	0.99
Maximum	0.16	0.24	0.12	1.00	0.16	0.25	0.12	1.00	-0.19	3.28	3.22	1.00	-0.19	3.25	3.20	1.00

Tabel 47 – Vergelijking nivelleertijd uit schaalmodel met nivelleertijd berekend met
VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Schaalmodel	VUL_SLUIS release 01.54.00		LOCKFILL 5.03.00		Verschil VUL_SLUIS – LOCKFILL
	Tijd	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	
001	3027	2969.0	-1.9	2969.2	-1.9	-0.01
	2990	2969.0	-0.7	2969.2	-0.7	-0.01
002	936	855.2	-8.6	855.4	-8.6	-0.03
	962	855.2	-11.1	855.4	-11.1	-0.02
	929	855.2	-7.9	855.4	-7.9	-0.02
003	1980	1824.4	-7.8	1824.4	-7.8	0.00
	1946	1824.4	-6.2	1824.4	-6.2	0.00
004	1069	1013.2	-5.2	1014.0	-5.1	-0.08
	1069	1013.2	-5.2	1014.0	-5.1	-0.08
	1063	1013.2	-4.6	1014.0	-4.6	-0.08
005	2967	2893.2	-2.5	2893.2	-2.5	0.00
	2983	2893.2	-3.0	2893.2	-3.0	0.00
006	1032	977.8	-5.2	980.8	-4.9	-0.31
	1024	977.8	-4.5	980.8	-4.2	-0.31
007	1249	1224.0	-2.0	1228.8	-1.6	-0.39
	1308	1224.0	-6.4	1228.8	-6.1	-0.39
008	2116	1979.0	-6.5	1982.4	-6.3	-0.17
	2136	1979.0	-7.4	1982.4	-7.2	-0.17
009	2360	2276.6	-3.5	2281.2	-3.3	-0.20
	2399	2276.6	-5.1	2281.2	-4.9	-0.20
010	1832	1781.6	-2.8	1782.6	-2.7	-0.06
	1841	1781.6	-3.2	1782.6	-3.2	-0.06
	1827	1781.6	-2.5	1782.6	-2.4	-0.06
011	3082	2944.2	-4.5	2944.4	-4.4	-0.01
	3121	2944.2	-5.6	2944.4	-5.6	-0.01
012	2035	1822.0	-10.4	1822.0	-10.4	0.00
	1960	1822.0	-7.0	1822.0	-7.0	0.00
013	1066	1011.4	-5.1	1012.2	-5.0	-0.08
	1050	1011.4	-3.7	1012.2	-3.6	-0.08
014	3002	2961.4	-1.3	2961.6	-1.3	-0.01
	3039	2961.4	-2.6	2961.6	-2.5	-0.01
015	921	854.2	-7.2	854.4	-7.2	-0.02
	916	854.2	-6.7	854.4	-6.7	-0.02
	918	854.2	-6.9	854.4	-6.9	-0.02
016	1959	1824.4	-6.9	1824.4	-6.9	0.00
	1920	1824.4	-5.0	1824.4	-5.0	0.00
017	1044	1016.6	-2.6	1017.6	-2.5	-0.10
	1044	1016.6	-2.6	1017.6	-2.5	-0.10
018	1112	1061.0	-4.5	1062.0	-4.5	-0.09
	1112	1061.0	-4.5	1062.0	-4.5	-0.09

Simulatie	Schaalmodel	VUL_SLUIS release 01.54.00		LOCKFILL 5.03.00		Verschil VUL_SLUIS – LOCKFILL
	Tijd	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	
019	2399	2281.4	-4.9	2286.0	-4.7	-0.20
	2388	2281.4	-4.5	2286.0	-4.3	-0.20
020	1860	1740.6	-6.4	1745.2	-6.2	-0.26
	1915	1740.6	-9.1	1745.2	-8.9	-0.26
	1835	1740.6	-5.1	1745.2	-4.9	-0.26
021	1720	1595.4	-7.2	1598.8	-7.0	-0.21
	1710	1595.4	-6.7	1598.8	-6.5	-0.21
022	1390	1370.4	-1.4	1371.4	-1.3	-0.07
	1391	1370.4	-1.5	1371.4	-1.4	-0.07
023	1725	1608.0	-6.8	1612.0	-6.5	-0.25
	1725	1608.0	-6.8	1612.0	-6.5	-0.25

Opmerking: Zowel voor schaalmodel als bij simulatie met VUL_SLUIS release 01.54.00 en simulatie met LOCKFILL 5.03.00 betreft de nivelleertijd de nivelleertijd met restverval 0.175 m

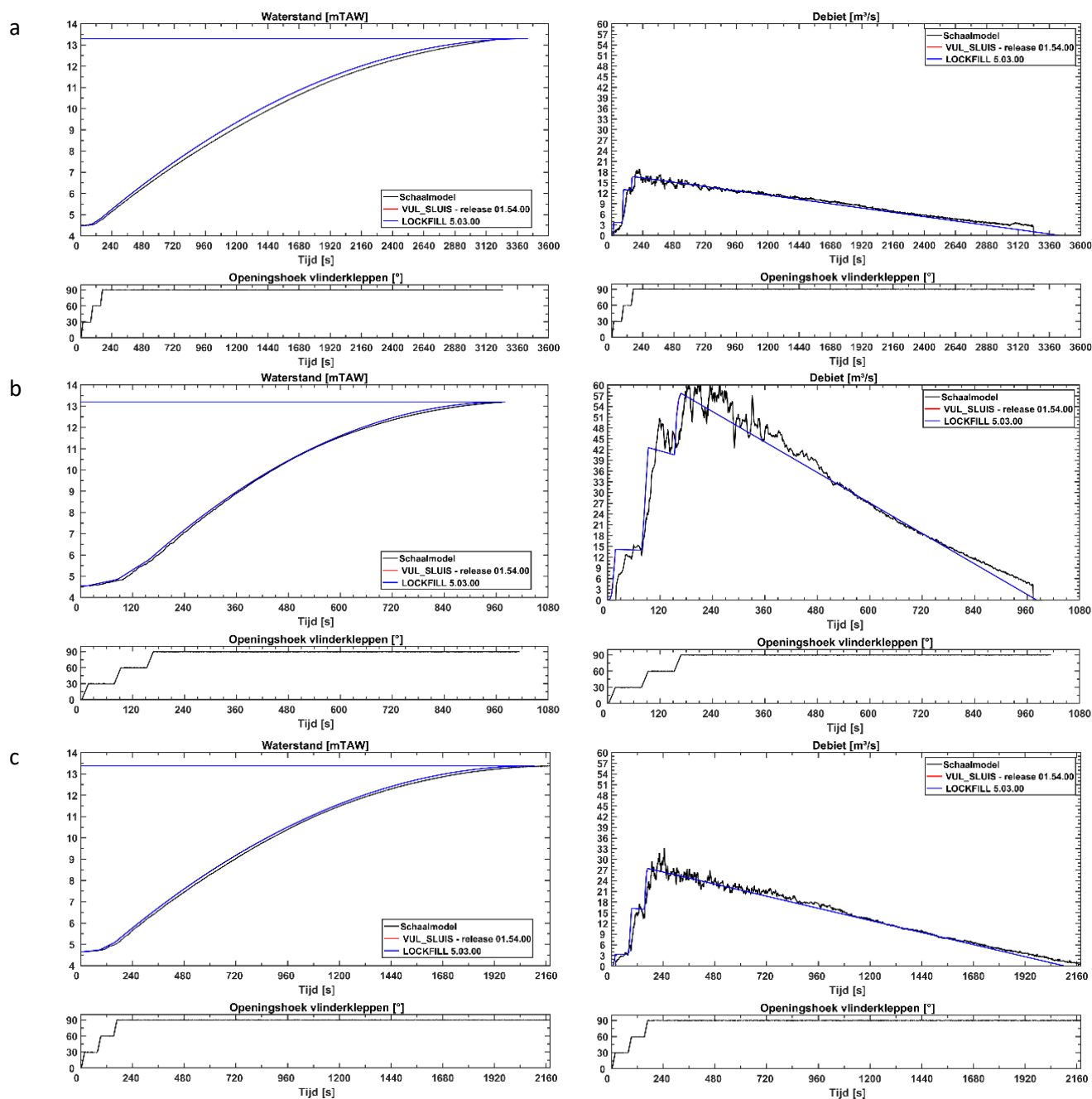
Tabel 48 – Vergelijking extreme waarden langskracht op schip uit schaalmodel met extreme waarden langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Langskracht schaalmodel						Langskracht VUL_SLUIS release 01.54.00								Langskracht LOCKFILL 5.03.00			
	Schip 1		Schip 2		Extreme waarde		Basis				CE ₂ = 0.05				Extreme waarde		Procentueel verschil	
							Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil					
	min	max	max	min	max	min	min	max	min	max	max	max	min	max	min	max	min	max
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
001	-2.22	0.25	-2.66	0.21	-2.66	0.25	-1.65	0.23	-38	-8	-1.95	0.21	-26	-13	-1.04	0.27	-61	10
	-2.23	0.23	-2.57	0.21	-2.57	0.23	-1.65	0.23	-36	-3	-1.95	0.21	-24	-9	-1.04	0.27	-60	16
002	-8.65	0.52	-8.30	0.80	-8.65	0.80	-4.47	0.79	-48	-2	-5.69	0.77	-34	-4	-4.06	0.78	-53	-3
	-9.36	0.56	-8.34	0.85	-9.36	0.85	-4.47	0.79	-52	-7	-5.69	0.77	-39	-9	-4.06	0.78	-57	-8
	-8.72	0.59	-8.33	0.82	-8.72	0.82	-4.47	0.79	-49	-4	-5.69	0.77	-35	-6	-4.06	0.78	-53	-5
003	-4.50	0.10	-4.58	0.12	-4.58	0.12	-3.77	0.21	-18	76	-4.34	0.20	-5	67	-2.38	0.20	-48	73
	-4.39	0.10	-4.53	0.13	-4.53	0.13	-3.77	0.21	-17	54	-4.34	0.20	-4	46	-2.38	0.20	-48	51
004	-5.14	0.08	-5.15	0.05	-5.15	0.08	-5.73	0.11	11	48	-5.69	0.12	10	54	-3.32	0.14	-36	74
	-6.86	0.09	-6.25	0.07	-6.86	0.09	-5.73	0.11	-16	26	-5.69	0.12	-17	31	-3.32	0.14	-52	48
	-6.51	0.09	-6.26	0.05	-6.51	0.09	-5.73	0.11	-12	22	-5.69	0.12	-13	27	-3.32	0.14	-49	43
005	-2.30	0.46	-2.92	0.42	-2.92	0.46	-2.07	0.34	-29	-26	-2.25	0.27	-23	-41	-1.43	0.41	-51	-10
	-2.30	0.42	-3.05	0.40	-3.05	0.42	-2.07	0.34	-32	-19	-2.25	0.27	-26	-35	-1.43	0.41	-53	-2
006	-2.82	0.61	-2.99	0.83	-2.99	0.83	-1.60	0.79	-47	-4	-1.94	0.78	-35	-6	-1.36	0.79	-55	-5
	-3.30	0.59	-2.90	0.83	-3.30	0.83	-1.60	0.79	-52	-4	-1.94	0.78	-41	-6	-1.36	0.79	-59	-5
007	-1.54	0.36	-1.52	0.82	-1.54	0.82	-0.78	0.42	-50	-48	-0.84	0.42	-45	-49	-0.67	0.39	-56	-53
	-1.48	0.33	-1.37	0.86	-1.48	0.86	-0.78	0.42	-47	-51	-0.84	0.42	-43	-52	-0.67	0.39	-54	-55

Simulatie	Langskracht schaalmodel						Langskracht VUL_SLUIS release 01.54.00								Langskracht LOCKFILL 5.03.00				
	Schip 1		Schip 2		Extreme waarde		Basis				CE ₂ = 0.05				Extreme waarde		Procentueel verschil		
							Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil						
	min	max	max	min	max	min	min	min	max	min	max	max	max	min	max	min	max	min	max
	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%o	%	%	%o	%o	%	%
008	-2.06	0.10	-2.13	0.10	-2.13	0.10	-1.98	0.21	-7	103	-2.05	0.20	-4	94	-1.15	0.20	-46	99	
	-1.99	0.10	-2.28	0.09	-2.28	0.10	-1.98	0.21	-13	115	-2.05	0.20	-10	106	-1.15	0.20	-49	112	
009	-1.65	0.06	-1.62	0.04	-1.65	0.06	-1.56	0.09	-5	53	-1.57	0.09	-5	51	-0.92	0.08	-44	38	
	-1.49	0.04	-1.62	0.07	-1.62	0.07	-1.56	0.09	-4	34	-1.57	0.09	-3	33	-0.92	0.08	-43	21	
010	-1.40	0.02	-1.42	-0.01	-1.42	0.02	-1.46	0.01	3	-29	-1.46	0.01	3	-26	-0.73	0.02	-48	-12	
	-1.30	0.00	-1.38	0.01	-1.38	0.01	-1.46	0.01	6	45	-1.46	0.01	6	50	-0.73	0.02	-47	78	
	-1.37	0.02	-1.29	0.01	-1.37	0.02	-1.46	0.01	6	-36	-1.46	0.01	6	-33	-0.73	0.02	-47	-21	
011	-2.31	0.41	-2.68	0.33	-2.68	0.41	-0.58	0.37	-78	-9	-0.92	0.55	-66	34	-0.81	0.33	-70	-19	
	-2.22	0.41	-2.50	0.35	-2.50	0.41	-0.58	0.37	-77	-10	-0.92	0.55	-63	33	-0.81	0.33	-67	-20	
012	-4.21	0.31	-4.48	0.38	-4.48	0.38	-1.06	0.51	-76	36	-1.63	0.59	-64	56	-1.85	0.21	-59	-45	
	-4.67	0.21	-4.64	0.20	-4.67	0.21	-1.06	0.51	-77	148	-1.63	0.59	-65	185	-1.85	0.21	-60	1	
013	-6.01	0.09	-6.36	0.09	-6.36	0.09	-1.72	0.14	-73	44	-1.77	0.14	-72	50	-2.51	0.13	-61	40	
	-6.60	0.09	-5.91	0.06	-6.60	0.09	-1.72	0.14	-74	55	-1.77	0.14	-73	61	-2.51	0.13	-62	50	
014	-2.20	0.39	-	-	-2.20	0.39	-1.42	0.33	-35	-14	-1.77	0.25	-20	-34	-0.99	0.40	-55	4	
	-2.18	0.44	-	-	-2.18	0.44	-1.42	0.33	-35	-25	-1.77	0.25	-19	-42	-0.99	0.40	-55	-8	
015	-7.07	0.90	-	-	-7.07	0.90	-4.03	0.68	-43	-25	-4.81	0.74	-32	-17	-3.48	0.72	-51	-20	
	-6.34	1.06	-	-	-6.34	1.06	-4.03	0.68	-36	-36	-4.81	0.74	-24	-29	-3.48	0.72	-45	-31	
	-7.11	0.94	-	-	-7.11	0.94	-4.03	0.68	-43	-28	-4.81	0.74	-32	-21	-3.48	0.72	-51	-23	
016	-3.37	0.15	-	-	-3.37	0.15	-3.06	0.21	-9	37	-3.48	0.23	3	46	-1.99	0.33	-41	117	
	-3.39	0.13	-	-	-3.39	0.13	-3.06	0.21	-10	61	-3.48	0.23	2	72	-1.99	0.33	-41	154	
017	-3.77	0.06	-	-	-3.77	0.06	-4.06	0.08	8	37	-4.07	0.08	8	40	-2.43	0.09	-35	51	
	-4.09	0.04	-	-	-4.09	0.04	-4.06	0.08	-1	83	-4.07	0.08	-1	87	-2.43	0.09	-41	102	
018	-4.64	0.07	-4.84	0.02	-4.84	0.07	-1.97	0.14	-59	98	-1.98	0.14	-59	105	-1.61	0.14	-67	95	
	-4.81	0.08	-4.63	0.06	-4.81	0.08	-1.97	0.14	-59	74	-1.98	0.14	-59	81	-1.61	0.14	-67	71	
019	-1.68	0.05	-1.73	0.05	-1.73	0.05	-0.32	0.08	-81	60	-0.33	0.09	-81	76	-0.68	0.08	-61	50	
	-1.54	0.05	-1.58	0.05	-1.58	0.05	-0.32	0.08	-80	59	-0.33	0.09	-79	76	-0.68	0.08	-57	49	
020	-2.18	0.21	-1.81	0.13	-2.18	0.21	-0.60	0.12	-73	-40	-0.64	0.14	-71	-32	-0.87	0.10	-60	-51	
	-1.79	0.22	-1.97	0.15	-1.97	0.22	-0.60	0.12	-70	-43	-0.64	0.14	-67	-35	-0.87	0.10	-56	-54	
	-1.93	0.19	-1.99	0.12	-1.99	0.19	-0.60	0.12	-70	-33	-0.64	0.14	-68	-25	-0.87	0.10	-56	-46	
021	-1.65	0.42	-	-	-1.65	0.42	-3.28	0.93	99	120	-3.82	0.90	132	111	-0.93	0.35	-44	-18	
	-1.46	0.44	-	-	-1.46	0.44	-3.28	0.93	125	114	-3.82	0.90	162	106	-0.93	0.35	-36	-20	
022	-2.51	0.03	-2.30	0.02	-2.51	0.03	-0.68	0.06	-73	92	-0.69	0.07	-73	106	-0.94	0.06	-62	85	
	-2.29	0.03	-2.27	0.01	-2.29	0.03	-0.68	0.06	-70	107	-0.69	0.07	-70	122	-0.94	0.06	-59	100	
023	-2.18	0.46	-2.20	0.48	-2.20	0.48	-1.69	0.47	-23	0	-1.96	0.45	-11	-4	-1.26	0.49	-43	3	
	-2.12	0.48	-2.10	0.48	-2.12	0.48	-1.69	0.47	-20	-2	-1.96	0.45	-8	-6	-1.26	0.49	-41	2	

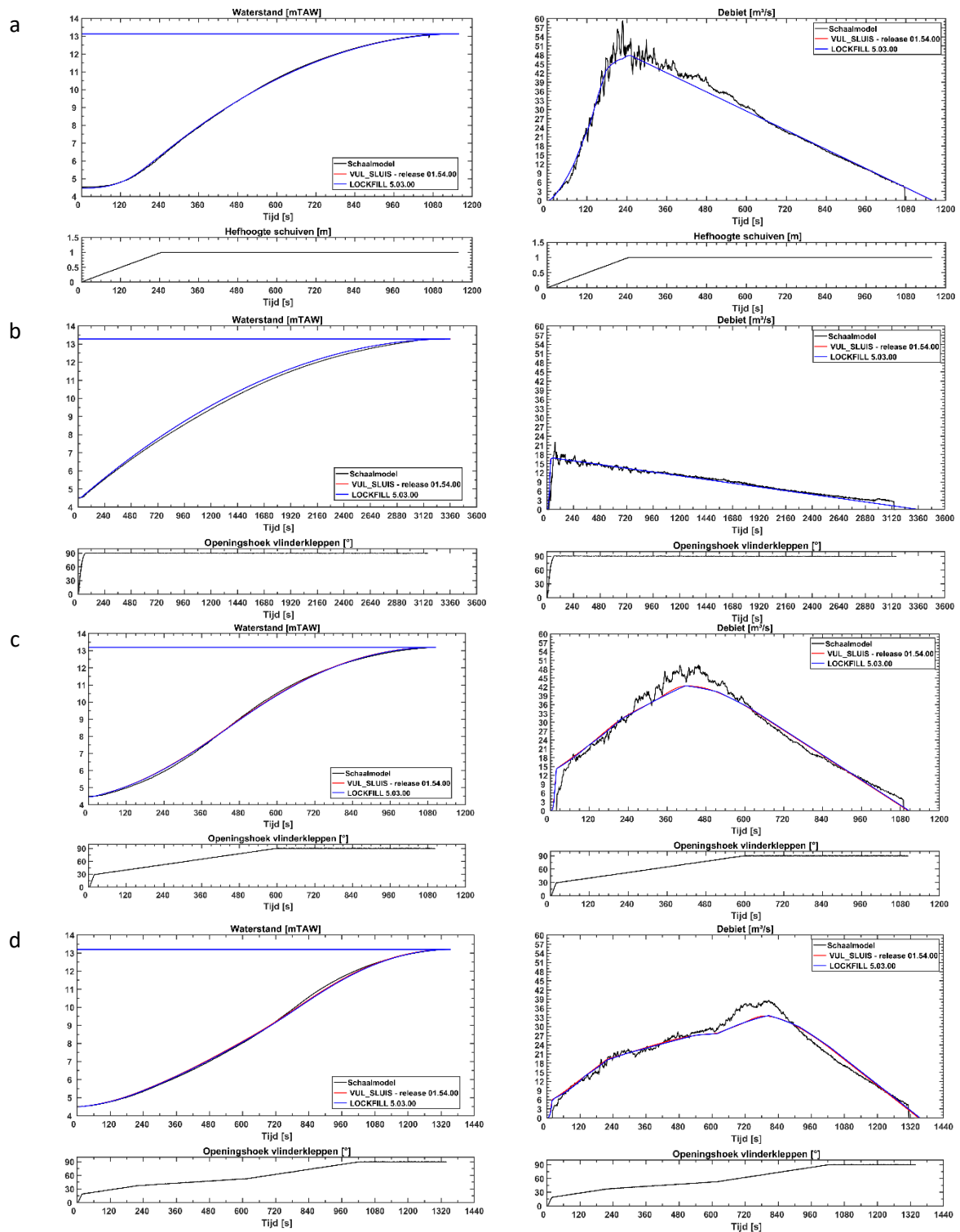
- = 1 schip in sluisolk aanwezig bij deze proef

Figuren



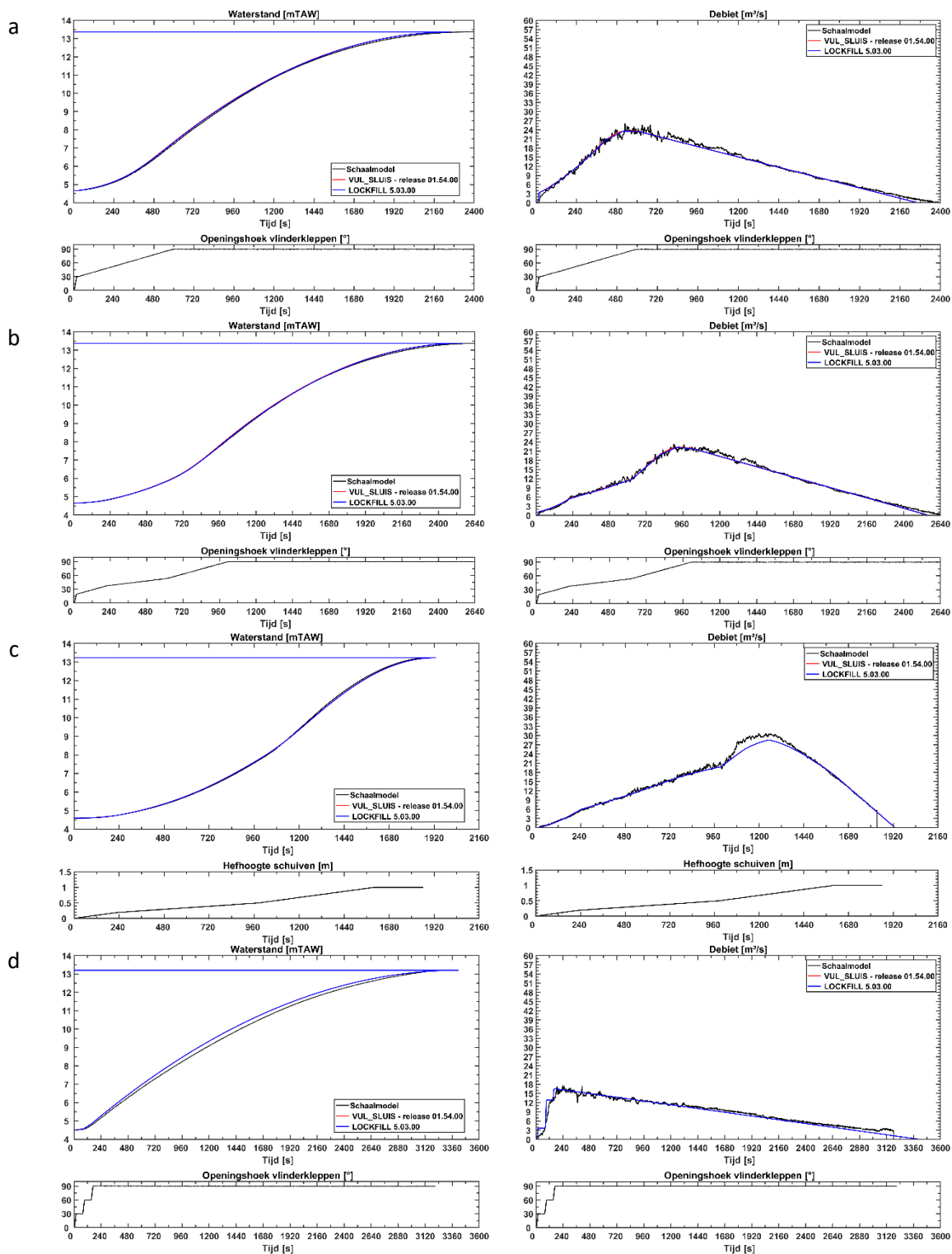
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluischolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 87 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)

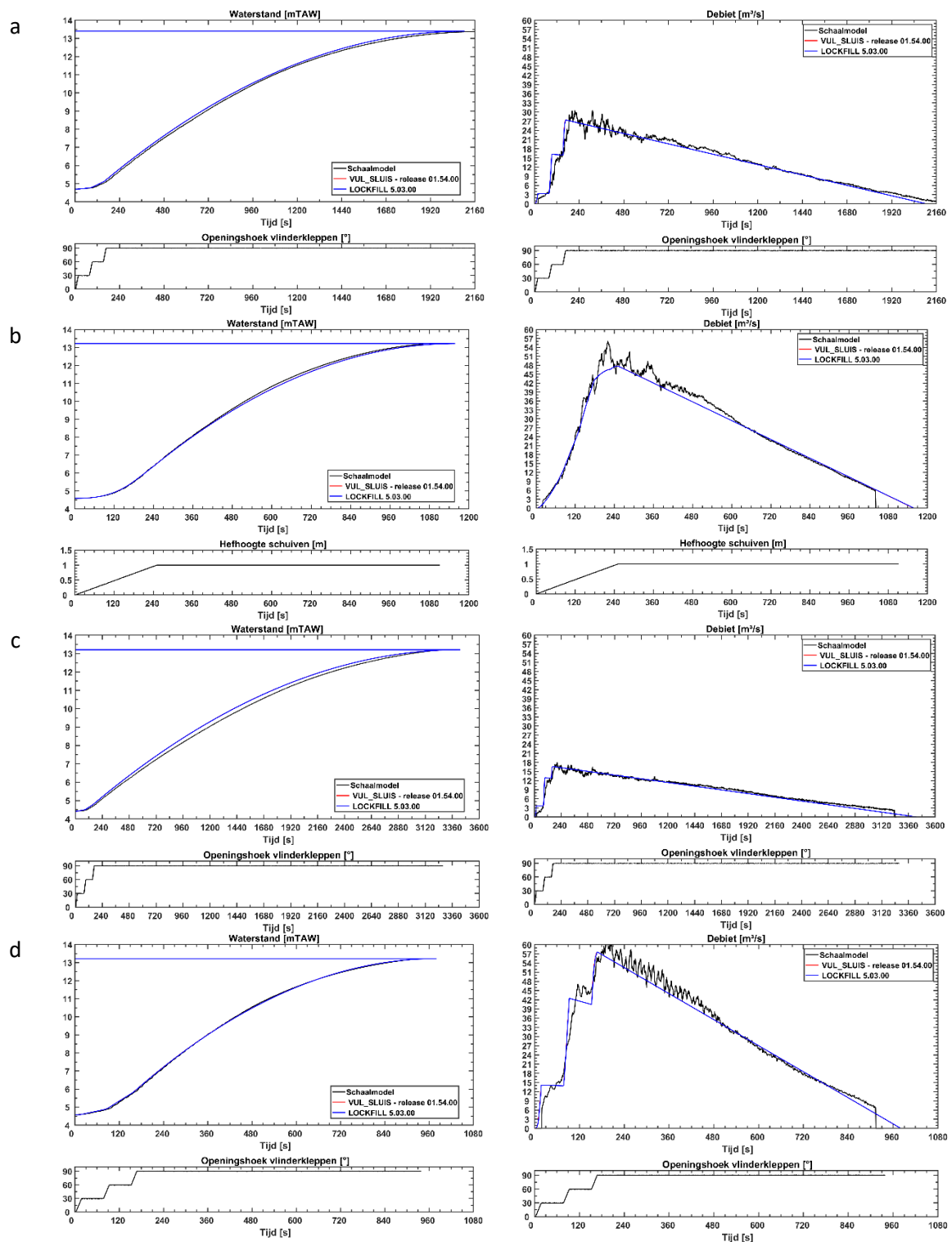


links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 88 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 004 (a), 005, (b), 006 (c) en 007 (d)

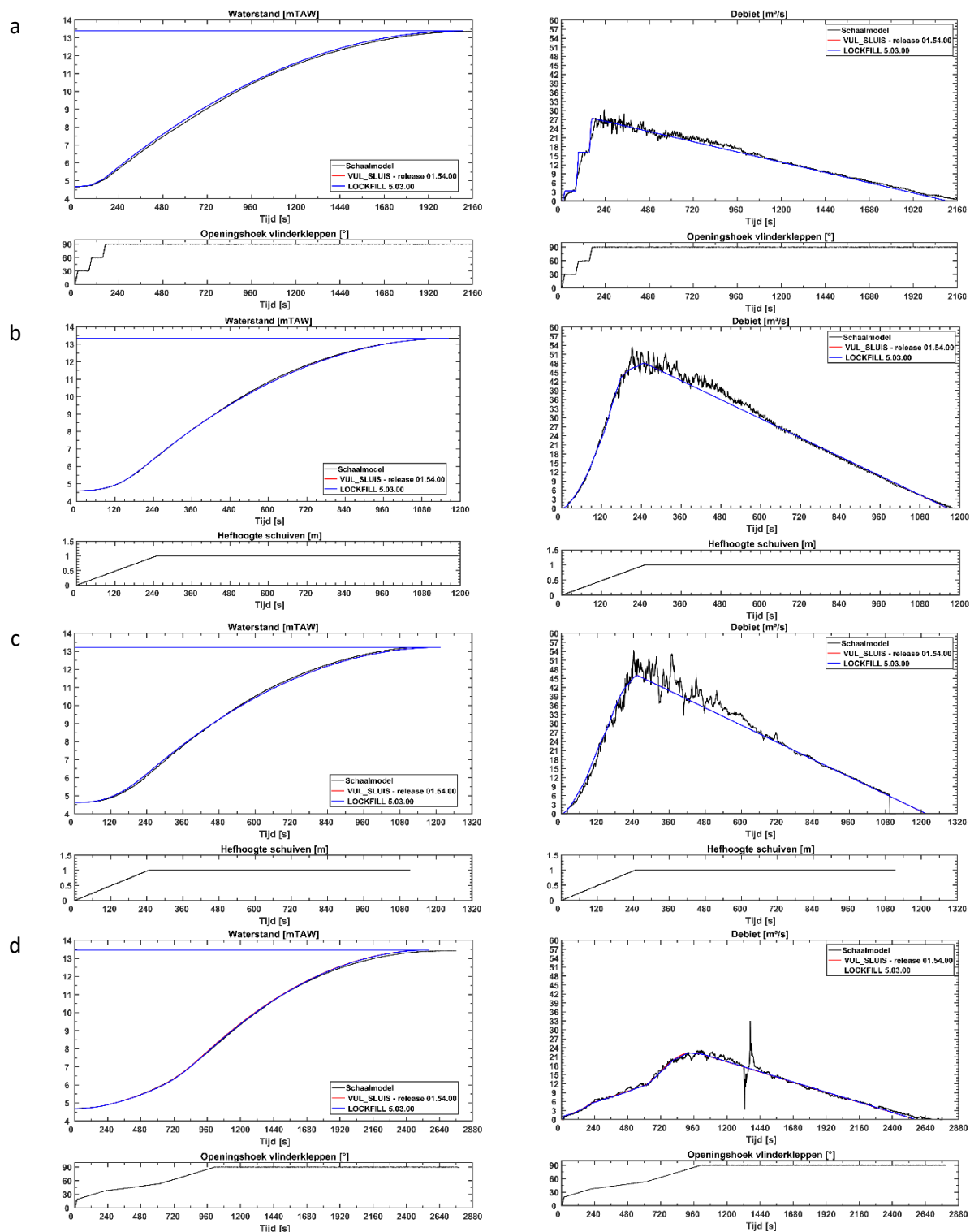


Figuur 89 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 008 (a), 009 (b), 010 (c) en 011 (d)

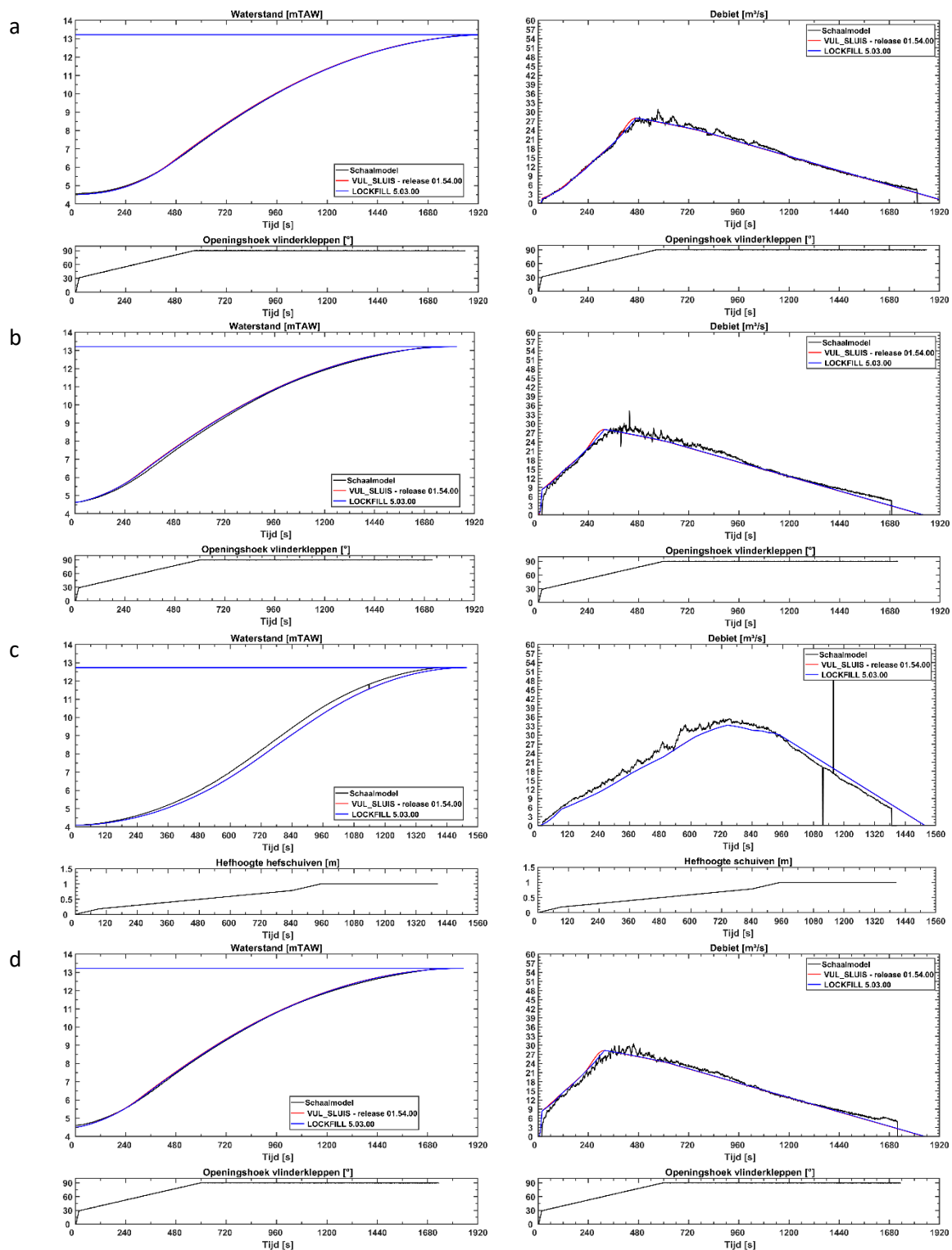


links: variatie in de tijd van waterpeil in sluischolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 90 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 1012 (a), 1013 (b), 1014 (c) en 1015 (d)



Figuur 91 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 016 (a), 017 (b), 018 (c) en 019 (d)



Figuur 92 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 020 (a), 021 (b), 022 (c) en 023 (d)

Bijlage 3 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Zemst

Tabellen

Tabel 49 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand en debiet opgemeten tijdens terreinmeting

Simulatie	Waterstand								Debiet							
	VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00				VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m	m	m	-	m	m	m	-	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-
001	-0.10	0.12	0.07	1.00	-0.10	0.12	0.07	1.00	-0.12	0.90	0.89	0.99	-0.12	0.91	0.90	0.99
002	-0.08	0.10	0.06	1.00	-0.09	0.11	0.06	1.00	-0.16	1.07	1.05	0.99	-0.15	1.07	1.06	0.99
003	-0.09	0.11	0.06	1.00	-0.10	0.11	0.06	1.00	-0.17	1.22	1.21	0.99	-0.16	1.22	1.21	0.99
004	-0.09	0.11	0.06	1.00	-0.10	0.11	0.06	1.00	-0.16	1.05	1.03	0.99	-0.15	1.05	1.04	0.99
005	0.12	0.14	0.07	1.00	0.10	0.12	0.06	1.00	-0.51	2.51	2.46	0.99	-0.55	2.32	2.26	0.99
006	0.06	0.06	0.03	1.00	0.04	0.05	0.02	1.00	-0.57	2.99	2.94	0.98	-0.57	2.92	2.86	0.98
007	0.04	0.04	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.56	2.44	2.38	0.99	-0.54	2.41	2.35	0.99
008	0.06	0.07	0.03	1.00	0.05	0.05	0.03	1.00	-0.45	2.01	1.96	0.99	-0.35	2.02	1.99	0.99
009	0.17	0.20	0.10	1.00	0.16	0.18	0.09	1.00	-0.04	2.65	2.65	0.99	-0.07	2.48	2.48	0.99
010	0.04	0.06	0.04	1.00	0.03	0.04	0.03	1.00	-0.28	1.89	1.87	0.99	-0.30	1.82	1.79	0.99
011	-0.02	0.04	0.03	1.00	-0.04	0.05	0.04	1.00	-0.55	1.80	1.71	0.99	-0.56	1.77	1.68	0.99
012	0.10	0.12	0.06	1.00	0.08	0.10	0.05	1.00	-0.11	2.21	2.21	0.99	-0.13	2.10	2.10	0.99
013	0.02	0.04	0.03	1.00	0.00	0.03	0.03	1.00	-0.55	2.03	1.95	0.99	-0.59	1.90	1.81	0.99
Minimum	-0.10	0.04	0.02	1.00	-0.10	0.03	0.02	1.00	-0.57	0.90	0.89	0.98	-0.59	0.91	0.90	0.98
Gemiddelde	0.02	0.09	0.05	1.00	0.00	0.08	0.05	1.00	-0.33	1.91	1.87	0.99	-0.33	1.85	1.81	0.99
Maximum	0.17	0.20	0.10	1.00	0.16	0.18	0.09	1.00	-0.04	2.99	2.94	0.99	-0.07	2.92	2.86	0.99

Tabel 50 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.175 m opgemeten tijdens terreinmeting
met nivelleertijd met restverval 0.175 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Terreinmeting	VUL_SLUIS		LOCKFILL		Verschil VUL_SLUIS - LOCKFILL
	Tijd [s]	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	
001	2226	2239.6	0.6	2225	0.0	0.65
002	2379	2357.4	-0.9	2360	-0.8	-0.11
003	2349	2344.4	-0.2	2358	0.4	-0.58
004	2343	2343.4	0.0	2345	0.1	-0.07

Tabel 51 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten tijdens terreinmeting
met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Terreinmeting	VUL_SLUIS		LOCKFILL		Verschil VUL_SLUIS - LOCKFILL
	Tijd [s]	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	
001	2640	2360.8	-10.6	2544	-3.6	-7.76
002	2517	2503.2	-0.5	2505	-0.5	-0.07
003	2496	2493	1.5	2490	1.3	0.12
004	2457	2467.4	4.9	2479	5.4	-0.47
005	830	806.6	-2.8	810	-2.4	-0.42
006	812	802.6	-1.2	805	-0.9	-0.30
007	807	799.8	-0.9	802	-0.6	-0.28
008	920	907.6	-1.3	914	-0.7	-0.71
009	929	903.2	-2.8	910	-2.0	-0.75
010	918	902.6	-1.7	909	-1.0	-0.71
011	910	897.8	-1.3	904	-0.7	-0.69
012	918	903.2	-1.6	909	-1.0	-0.64
013	924	947.2	2.5	954	3.2	-0.72

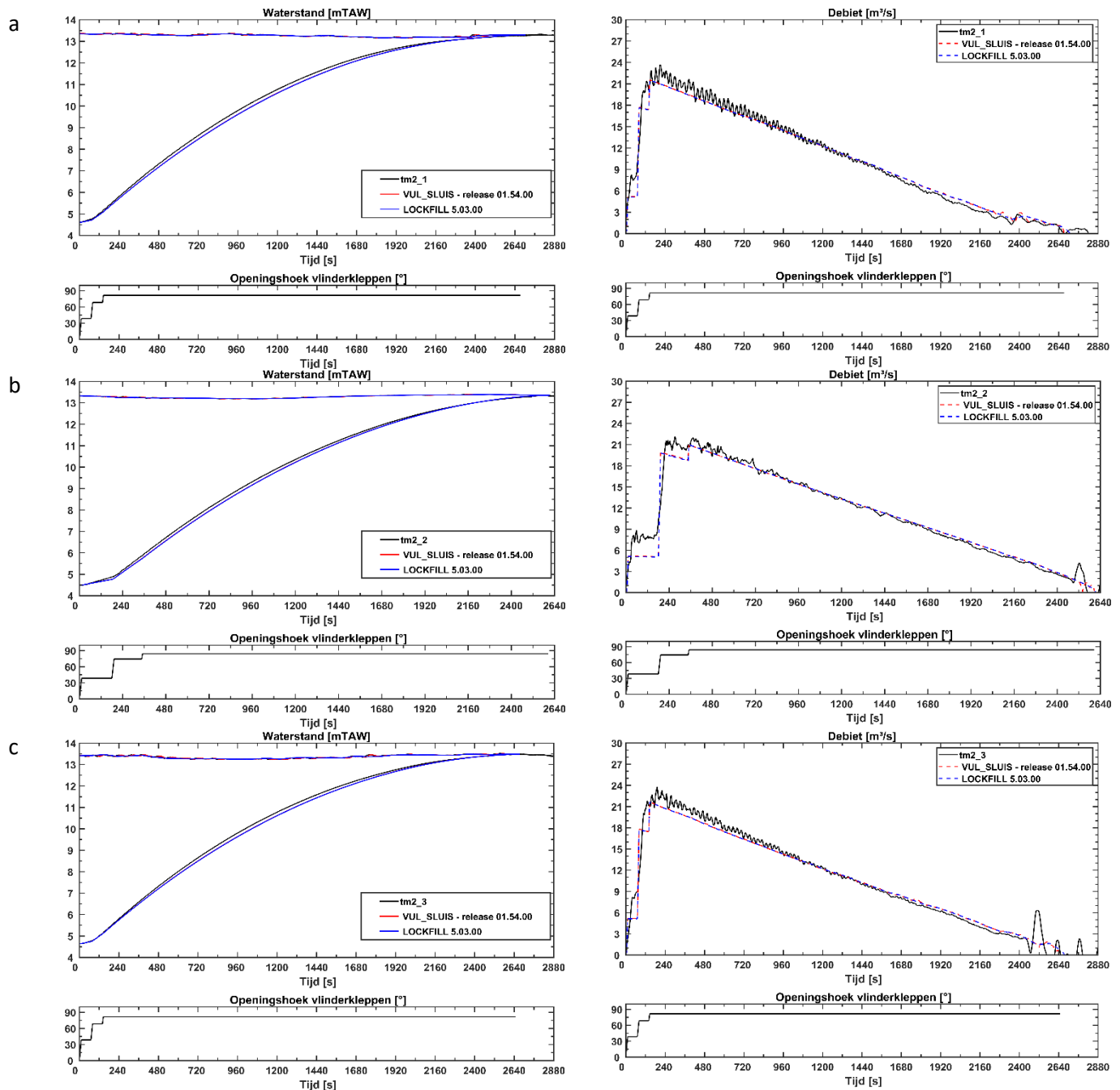
Tabel 52 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden langskracht op schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Waterspiegelhelling terreinmeting						Langskracht VUL_SLUIS release 01.54.00				Langskracht LOCKFILL 5.03.00			
	L36		R36		Extreme waarde		Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
002	-2.83	0.26	-2.26	0.33	-2.83	0.33	-1.37	0.25	-52	-26	-0.84	0.30	-70	-10
004	-2.40	0.38	-2.41	0.50	-2.41	0.50	-0.90	0.83	-63	65	-1.00	0.55	-59	11
008	-2.35	0.50	-3.00	0.11	-3.00	0.50	-0.43	0.27	-86	-46	-0.55	0.25	-82	-51
010	-2.23	0.14	-2.49	0.26	-2.49	0.26	-0.38	0.24	-85	-7	-0.49	0.23	-80	-13
011	-2.18	0.21	-2.64	0.19	-2.64	0.21	-0.29	0.35	-89	69	-0.41	0.52	-85	147
012	-2.47	0.32	-3.19	0.30	-3.19	0.32	-1.21	0.26	-62	-19	-0.74	0.24	-77	-25
013	-2.50	0.34	-2.83	0.15	-2.83	0.34	-0.94	0.19	-67	-45	-0.68	0.17	-76	-52

Tabel 53 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

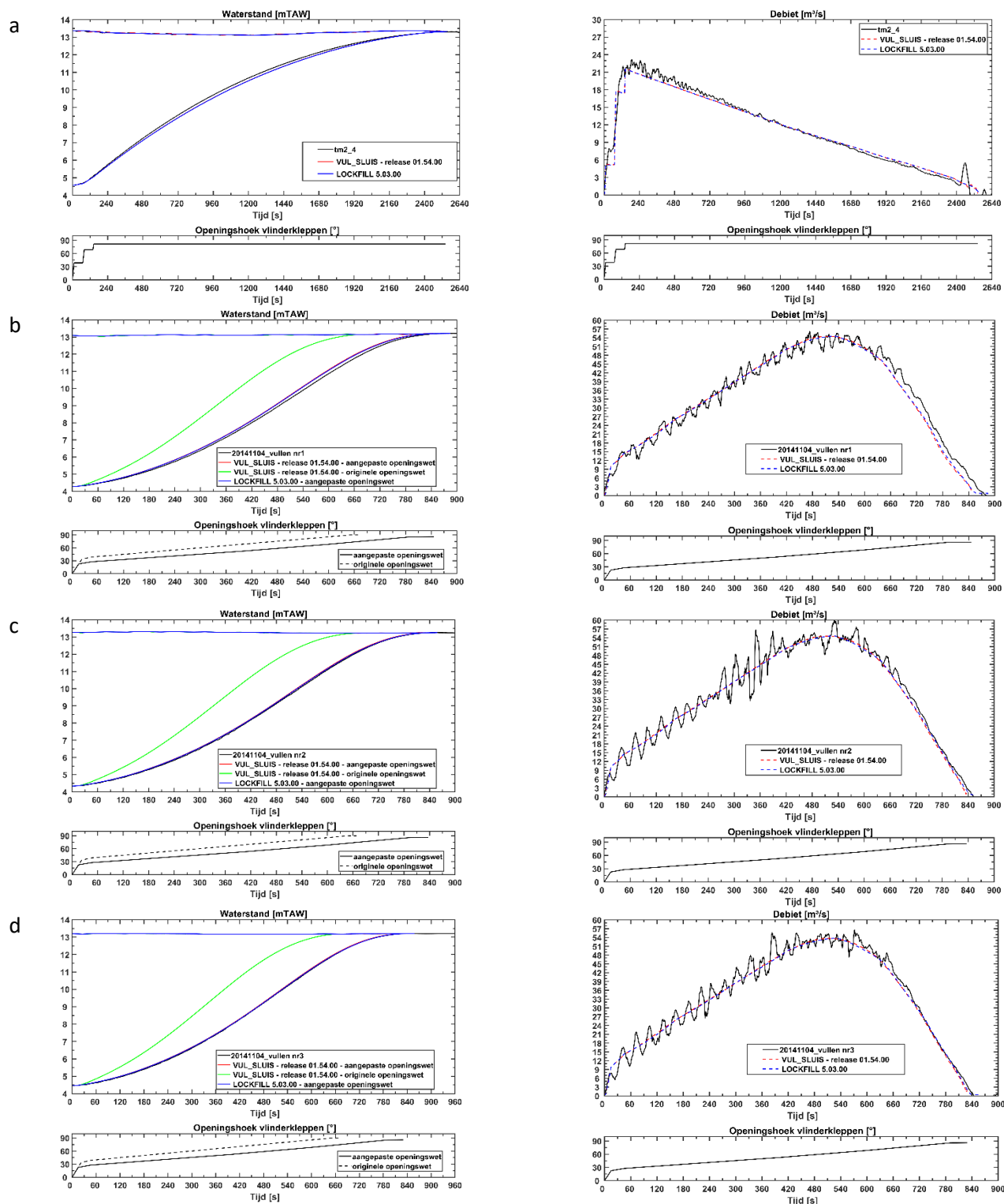
Simulatie	Waterspiegelhelling terreinmeting						Waterspiegelhelling VUL_SLUIS release 01.54.00							
	L36		R36		Extreme waarde		vòòr smoothing en damping				na smoothing en damping			
							Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
001	-2.24	0.37	-2.21	0.53	-2.24	0.53	-0.62	0.74	-72	40	-0.49	0.66	-78	25
002	-2.83	0.26	-2.26	0.33	-2.83	0.33	-0.60	0.62	-79	86	-0.30	0.55	-89	65
003	-2.06	0.55	-2.28	0.65	-2.28	0.65	-0.59	0.72	-74	11	-0.47	0.64	-79	0
004	-2.40	0.38	-2.41	0.50	-2.41	0.50	-1.07	1.01	-56	102	-0.74	0.81	-69	61
005	-2.36	0.14	-2.39	0.22	-2.39	0.22	-0.38	0.42	-84	89	-0.36	0.39	-85	76
006	-2.68	0.41	-4.01	0.45	-4.01	0.45	-0.41	0.44	-90	-4	-0.28	0.40	-93	-13
007	-2.66	0.46	-2.39	0.49	-2.66	0.49	-0.39	0.44	-85	-10	-0.27	0.39	-90	-21
008	-2.35	0.50	-3.00	0.11	-3.00	0.50	-0.24	0.28	-92	-44	-0.19	0.23	-94	-53
009	-2.49	0.04	-2.36	0.24	-2.49	0.24	-0.25	0.23	-90	-4	-0.18	0.22	-93	-6
010	-2.23	0.14	-2.49	0.26	-2.49	0.26	-0.24	0.23	-90	-13	-0.17	0.21	-93	-19
011	-2.18	0.21	-2.64	0.19	-2.64	0.21	-0.21	0.24	-92	13	-0.18	0.22	-93	5
012	-2.47	0.32	-3.19	0.30	-3.19	0.32	-0.23	0.25	-93	-22	-0.21	0.24	-93	-24
013	-2.50	0.34	-2.83	0.15	-2.83	0.34	-0.22	0.22	-92	-37	-0.14	0.18	-95	-47

Figuren



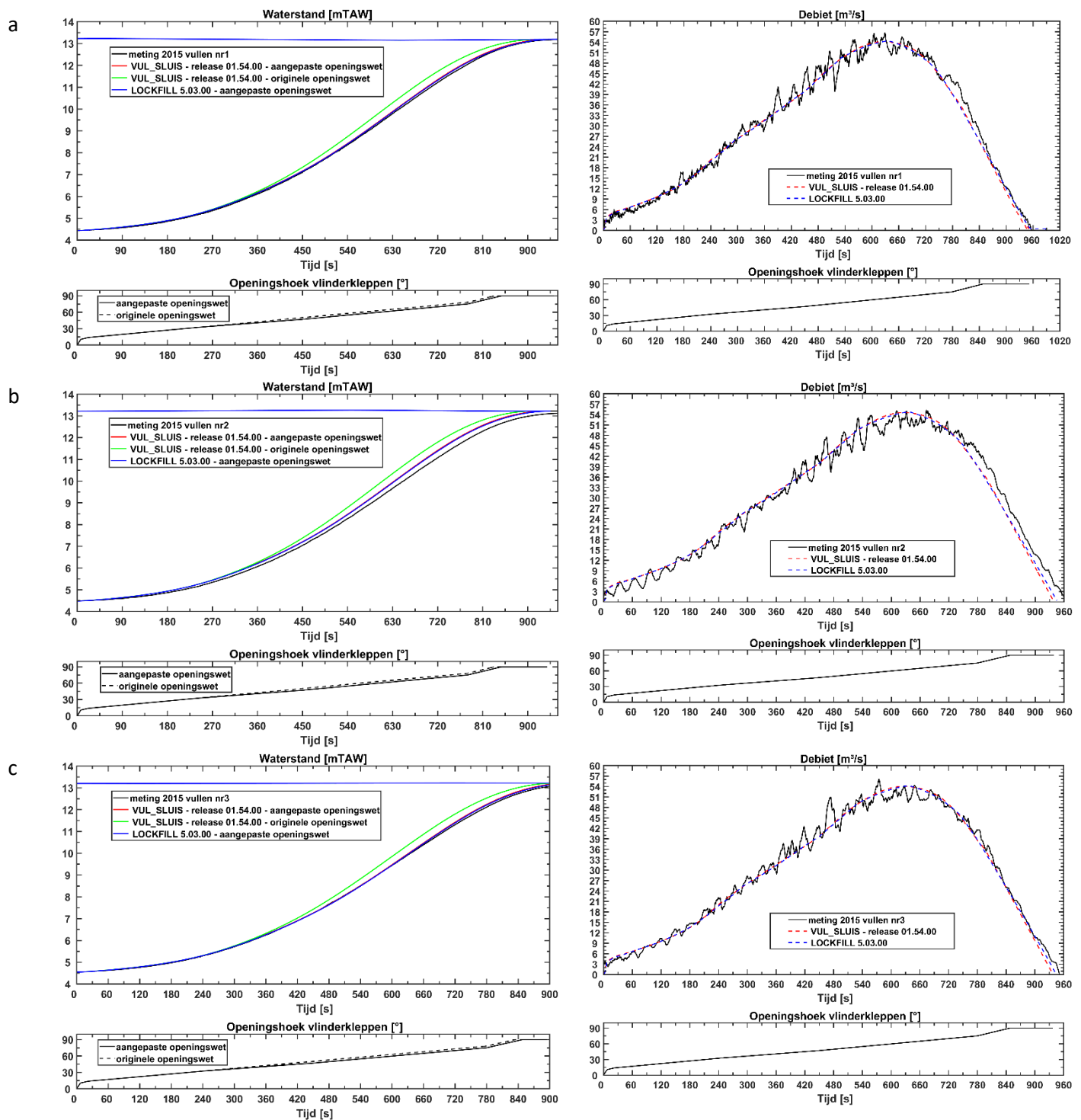
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 93 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)



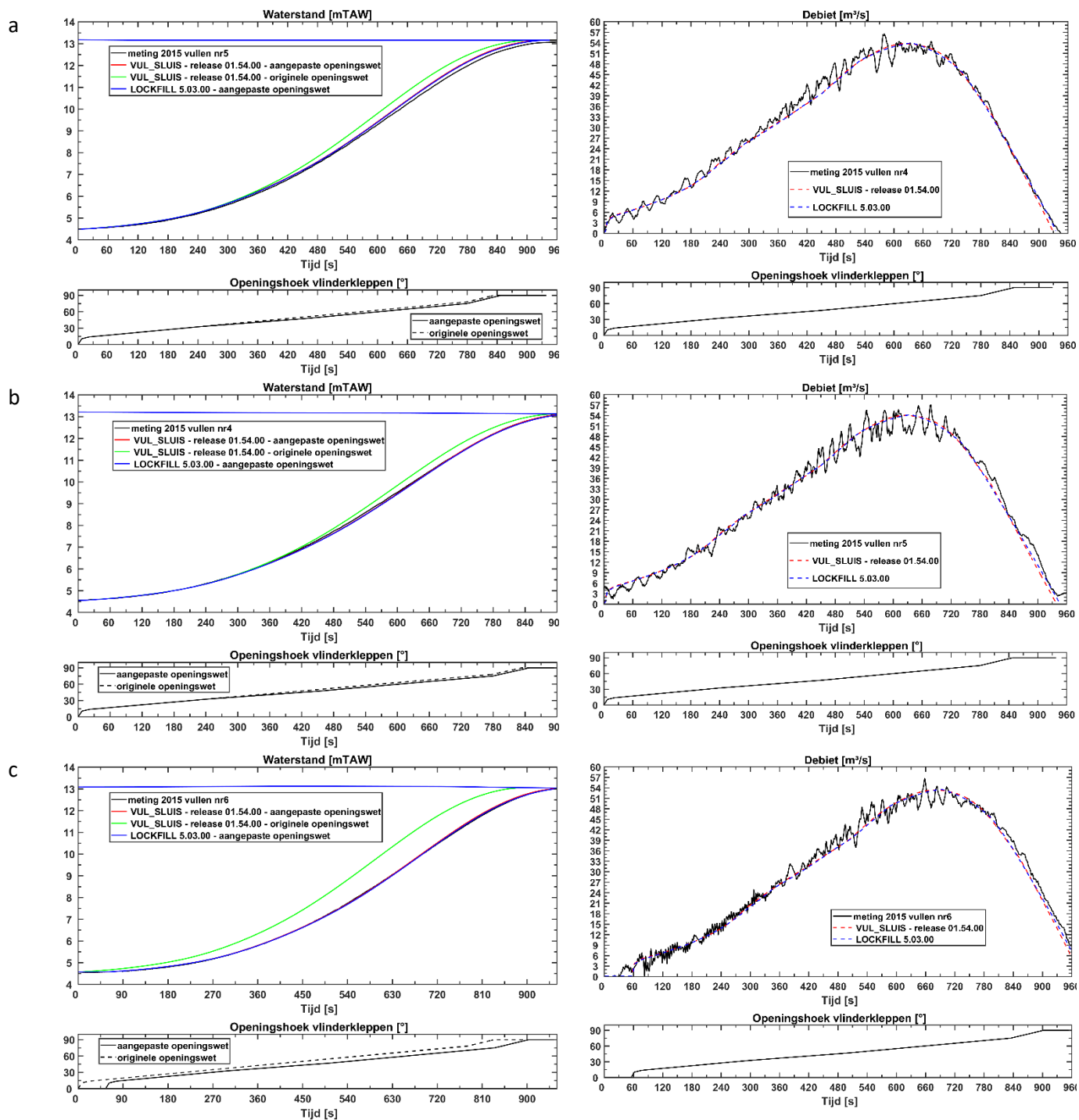
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 94 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 95 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 008 (a), 009 (b) en 010 (c)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluischolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 96 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 011 (a), 012 (b) en 013 (c)

Bijlage 4 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten terreinmeting sluis Evergem

Tabellen

Tabel 54 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand en debiet opgemeten tijdens terreinmeting

Simulatie	Waterstand								Debiet							
	VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00				VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m	m	m	-	m	m	m	-	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-
001	0.00	0.02	0.02	1.00	0.00	0.02	0.02	1.00	-1.33	2.58	2.23	0.96	-1.33	2.58	2.21	0.96
002	0.01	0.02	0.02	1.00	0.01	0.02	0.02	1.00	-0.98	2.97	2.81	0.94	-0.99	3.00	2.84	0.94
003	0.02	0.04	0.03	1.00	0.02	0.04	0.03	1.00	-0.87	3.37	3.27	0.93	-0.87	3.38	3.27	0.93
004	0.01	0.02	0.02	1.00	0.01	0.02	0.02	1.00	-0.66	3.12	3.06	0.95	-0.60	3.12	3.07	0.95
005	0.01	0.03	0.02	1.00	0.01	0.03	0.02	1.00	-0.65	2.75	2.68	0.95	-0.68	2.76	2.68	0.95
006	0.04	0.05	0.03	1.00	0.04	0.05	0.03	1.00	-0.53	3.36	3.33	0.90	-0.63	3.39	3.34	0.90
007	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.78	2.92	2.82	0.94	-0.78	2.91	2.81	0.94
008	0.01	0.02	0.02	1.00	0.01	0.02	0.02	1.00	-0.80	2.75	2.64	0.95	-0.86	2.78	2.65	0.94
009	0.03	0.04	0.03	1.00	0.03	0.04	0.03	1.00	-0.80	3.46	3.37	0.90	-0.39	3.47	3.46	0.93
010	0.02	0.03	0.02	1.00	0.01	0.03	0.02	1.00	-0.97	3.08	2.93	0.93	-0.71	3.16	3.09	0.94
011	0.01	0.02	0.02	1.00	0.01	0.02	0.02	1.00	-0.56	3.02	2.98	0.94	-0.55	2.99	2.95	0.95
012	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.48	2.89	2.86	0.94	-0.35	2.78	2.76	0.95
013	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.83	3.25	3.15	0.93	-0.85	3.28	3.18	0.92
014	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.46	3.01	2.98	0.95	-0.47	3.01	2.98	0.95
015	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.59	2.59	2.53	0.95	-0.62	2.61	2.54	0.95
016	0.01	0.02	0.02	1.00	0.01	0.02	0.02	1.00	-0.36	2.69	2.68	0.94	-0.27	2.68	2.68	0.95
Minimum	0.00	0.02	0.02	1.00	0.00	0.02	0.02	1.00	-1.33	2.58	2.23	0.90	-1.33	2.58	2.21	0.90
Gemiddelde	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	-0.73	2.99	2.89	0.94	-0.68	2.99	2.91	0.94
Maximum	0.04	0.05	0.03	1.00	0.04	0.05	0.03	1.00	-0.36	3.46	3.37	0.96	-0.27	3.47	3.46	0.96

Tabel 55 – Vergelijking nivelleertijd met restveral 0.05 m opgemeten tijdens terreinmeting met nivelleertijd met restveral 0.05 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Terreinmeting	VUL_SLUIS		LOCKFILL		Verschil VUL_SLUIS - LOCKFILL
	Tijd [s]	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	
001	342	384.0	12.3	384.0	12.3	0.00
002	360	385.8	7.2	383.0	6.4	0.73
003	375	387.6	3.4	386.0	2.9	0.41
004	360	362.2	0.6	366.0	1.7	-1.05
005	375	386.2	3.0	381.0	1.6	1.35
006	393	379.0	-3.6	378.0	-3.8	0.26
007	387	390.8	1.0	390.0	0.8	0.20
008	348	350.2	0.6	351.0	0.9	-0.23
009	360	359.4	-0.2	359.0	-0.3	0.11
010	348	377.4	8.4	378.0	8.6	-0.16
011	354	361.0	2.0	361.0	2.0	0.00
012	363	360.4	-0.7	379.0	4.4	-5.16
013	357	360.8	1.1	362.0	1.4	-0.33
014	372	372.8	0.2	373.0	0.3	-0.05
015	354	353.2	-0.2	354.0	0.0	-0.23
016	360	353.4	-1.8	355.0	-1.4	-0.45

Tabel 56 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Waterspiegelhelling terreinmeting							Langskracht							
	Locatie	Linker-oever		Rechter-oever		Extreme waarde		VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
								Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
		‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
001	L14/R14	-1.04	0.13	-0.75	0.12	-1.04	0.13	-0.80	0.61	-23	378	-0.49	0.58	-53	350
002	L12/R12	-1.14	0.18	-1.44	0.27	-1.44	0.27	-1.17	0.65	-19	142	-1.00	0.64	-31	136
006	L12/R12	-1.24	0.25	-1.13	0.47	-1.24	0.47	-0.96	0.59	-23	26	-0.82	0.54	-34	16
009	L12/R12	-	-	-1.39	0.94	-1.39	0.94	-0.59	0.71	-58	-24	-1.09	0.59	-21	-38
011	L14/R14	-0.96	0.26	-0.71	0.34	-0.96	0.34	-0.69	0.80	-28	138	-0.60	0.66	-38	97
013	L12/R12	-1.45	0.16	-1.68	0.28	-1.68	0.28	-0.98	0.83	-28	57	-1.30	1.11	-5	109

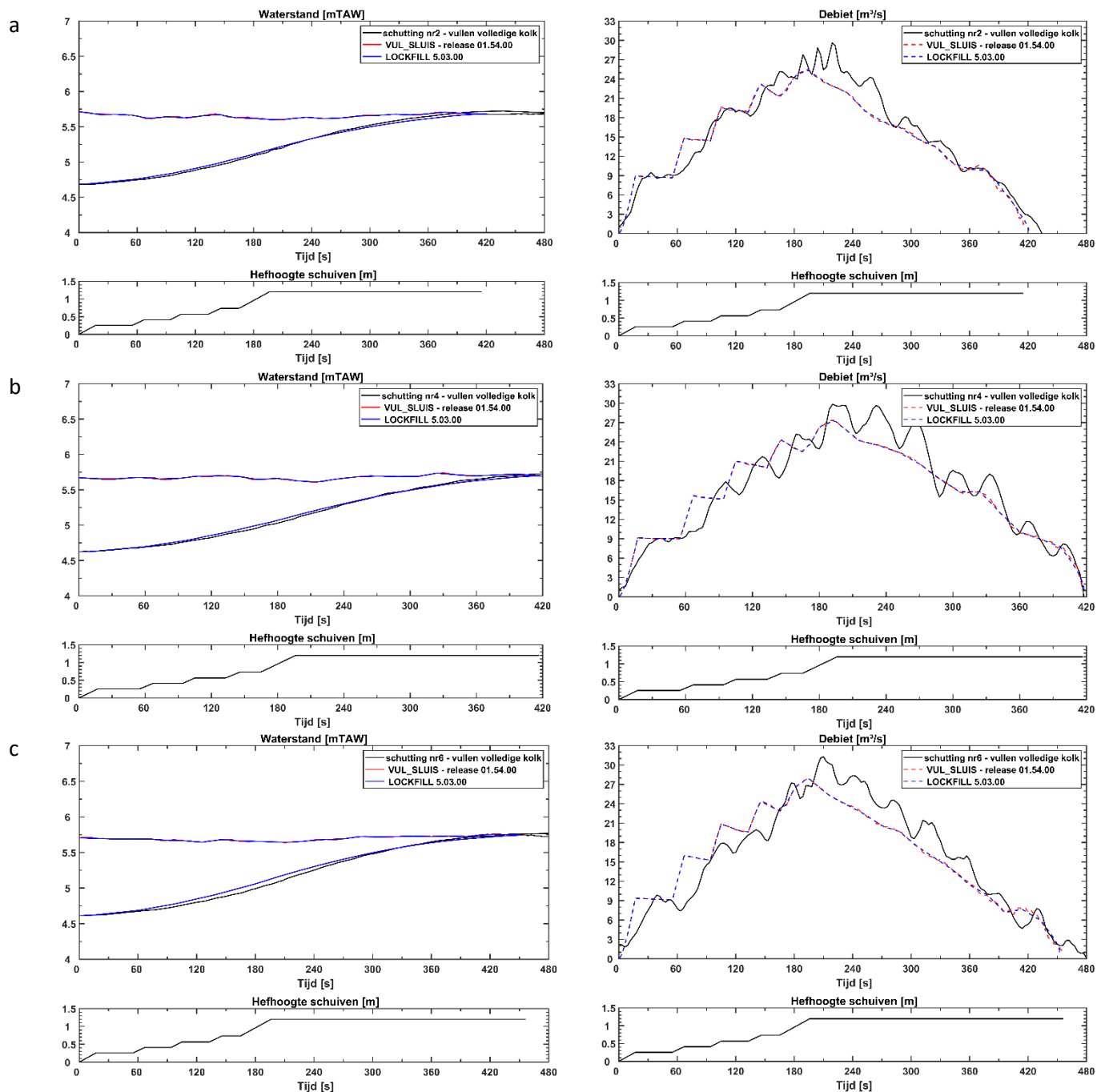
- Waterspiegelhelling niet opgemeten tijdens terreinmeting

Tabel 57 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00

	Simulatie	Waterspiegelhelling terreinmeting						Waterspiegelhelling VUL_SLUIS release 01.54.00							
		Linker-oever		Rechter-oever		Extreme waarde		vòòr smoothing en demping				na smoothing en demping			
								Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
		‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
Waterspiegelhelling L14 en R14	001	-1.04	0.13	-0.75	0.12	-1.04	0.13	-0.42	0.34	-60	163	-0.46	0.30	-56	138
	002	-	-	-0.66	0.06	-0.66	0.06	-0.28	0.36	-58	510	-0.33	0.33	-50	452
	003	-0.93	0.10	-0.68	0.09	-0.93	0.10	-0.25	0.35	-73	262	-0.22	0.32	-76	231
	004	-1.00	0.12	-0.44	0.56	-1.00	0.56	-0.23	0.35	-77	-38	-0.39	0.32	-61	-43
	005	-0.86	0.20	-0.69	0.25	-0.86	0.25	-0.37	0.35	-57	39	-0.32	0.30	-63	19
	006	-0.69	0.28	-0.60	0.29	-0.69	0.29	-0.27	0.35	-61	24	-0.39	0.33	-44	16
	007	-0.94	0.18	-0.58	0.22	-0.94	0.22	-0.27	0.35	-72	61	-0.30	0.32	-68	47
	008	-0.94	0.25	-0.54	0.27	-0.94	0.27	-0.25	0.34	-74	25	-0.38	0.31	-60	14
	009	-0.78	0.41	-0.63	0.46	-0.78	0.46	-0.38	0.37	-52	-19	-0.48	0.35	-39	-25
	010	-0.97	0.23	-0.61	0.28	-0.97	0.28	-0.28	0.32	-71	15	-0.21	0.29	-79	5
	011	-0.96	0.26	-0.71	0.34	-0.96	0.34	-0.41	0.36	-57	7	-0.39	0.37	-60	9
	012	-0.80	0.18	-0.72	0.25	-0.80	0.25	-0.24	0.33	-70	31	-0.22	0.30	-73	19
	013	-1.01	0.25	-0.79	0.32	-1.01	0.32	-0.46	0.41	-55	30	-0.40	0.35	-61	11
	014	-0.77	0.19	-0.77	0.21	-0.77	0.21	-0.24	0.35	-68	69	-0.21	0.32	-72	55
	015	-0.87	0.30	-0.53	0.23	-0.87	0.30	-0.26	0.34	-70	14	-0.22	0.31	-74	4
	016	-0.89	0.30	-0.45	0.25	-0.89	0.30	-0.22	0.32	-76	7	-0.34	0.29	-62	-2
Waterspiegelhelling L12 en R12	002	-1.14	0.18	-1.44	0.27	-1.44	0.27	-0.60	0.51	-58	89	-0.50	0.49	-65	84
	003	-1.27	0.31	-1.16	0.67	-1.27	0.67	-0.47	0.48	-63	-29	-0.40	0.47	-69	-30
	004	-1.54	0.41	-1.00	0.38	-1.54	0.41	-0.44	0.47	-71	15	-0.55	0.46	-64	11
	005	-1.47	0.13	-1.40	0.22	-1.47	0.22	-0.41	0.49	-72	118	-0.36	0.43	-76	94
	006	-1.24	0.25	-1.13	0.47	-1.24	0.47	-0.72	0.68	-42	47	-0.62	0.59	-50	28
	007	-1.57	0.17	-0.96	0.20	-1.57	0.20	-0.50	0.49	-68	141	-0.43	0.47	-73	130
	008	-	-	-0.86	0.31	-0.86	0.31	-0.46	0.51	-46	65	-0.62	0.43	-27	41
	009	-	-	-1.39	0.94	-1.39	0.94	-0.90	0.80	-35	-15	-0.78	0.63	-44	-33
	010	-1.82	0.33	-1.43	0.34	-1.82	0.34	-0.47	0.47	-74	36	-0.35	0.45	-81	31
	012	-1.48	0.24	-1.33	0.67	-1.48	0.67	-0.39	0.49	-73	-27	-0.40	0.43	-73	-36
	013	-1.45	0.16	-1.68	0.28	-1.68	0.28	-0.91	0.91	-46	225	-0.70	0.71	-58	156
	014	-1.37	0.53	-	-	-1.37	0.53	-0.47	0.50	-66	-6	-0.40	0.47	-71	-13
	015	-1.49	0.22	-	-	-1.49	0.22	-0.48	0.48	-68	118	-0.41	0.46	-73	112
	016	-1.75	0.48	-1.51	0.57	-1.75	0.57	-0.41	0.42	-76	-27	-0.34	0.41	-80	-28

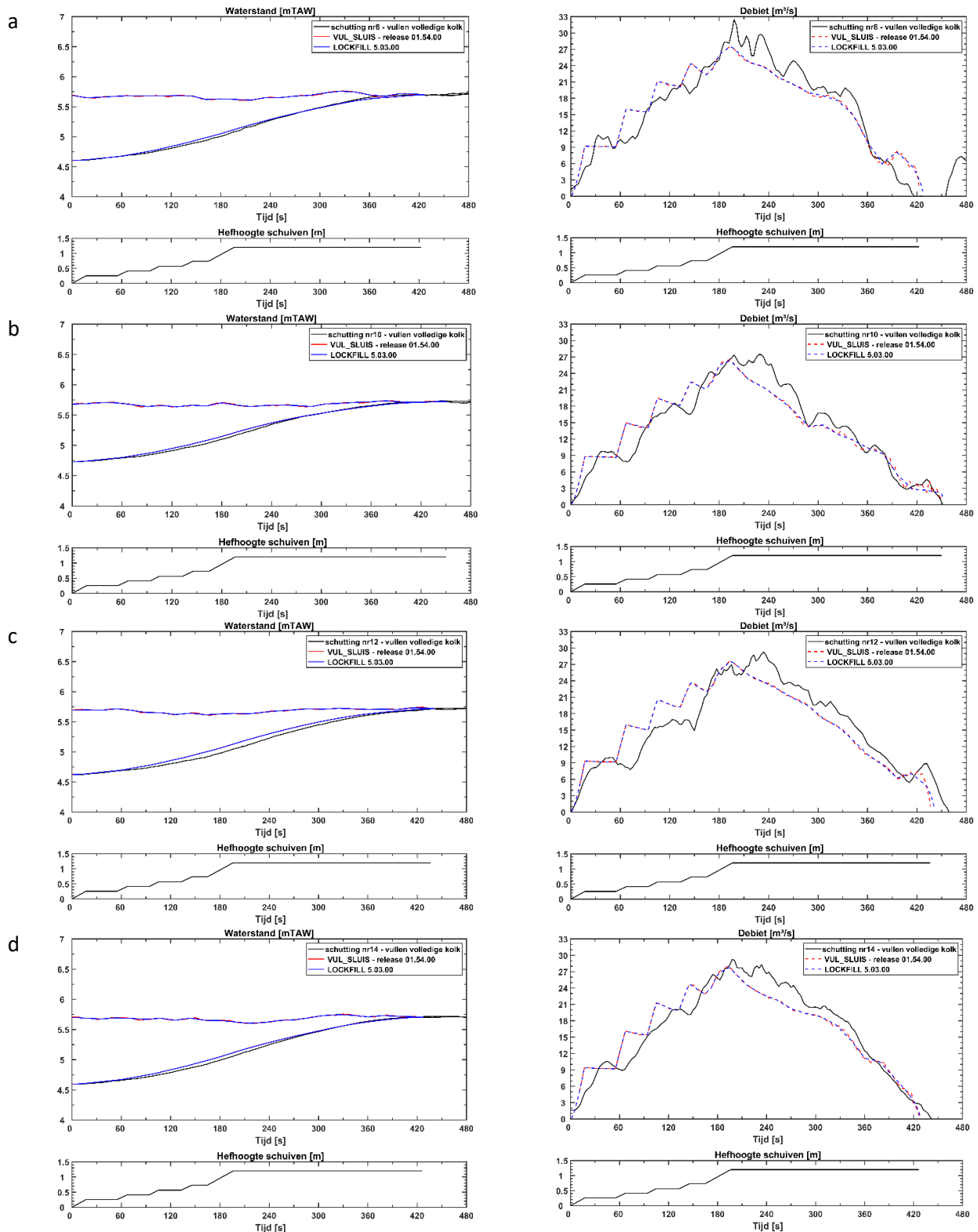
- Waterspiegelhelling niet opgemeten tijdens terreinmeting

Figuren



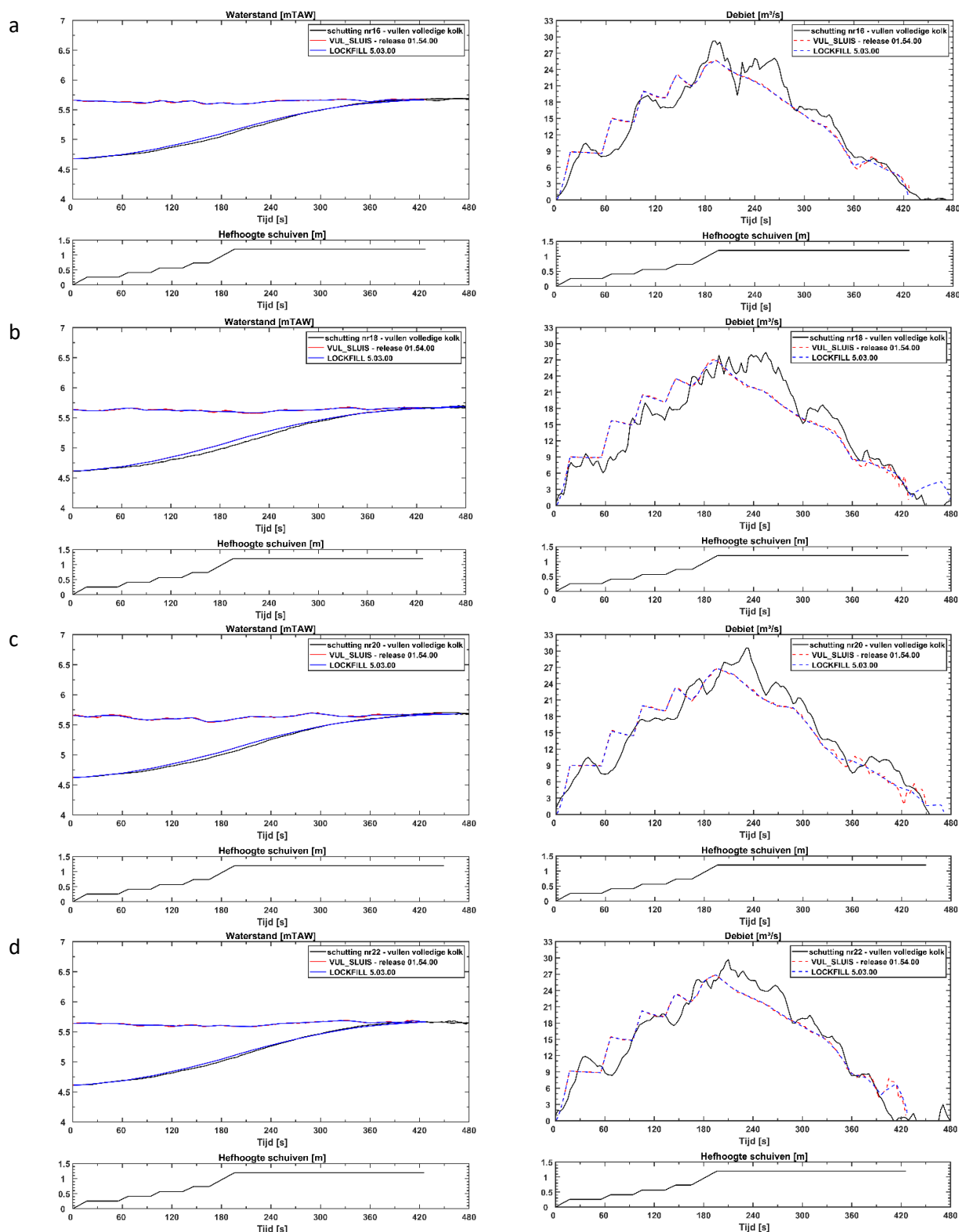
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisenkolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 97 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluisenkolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)



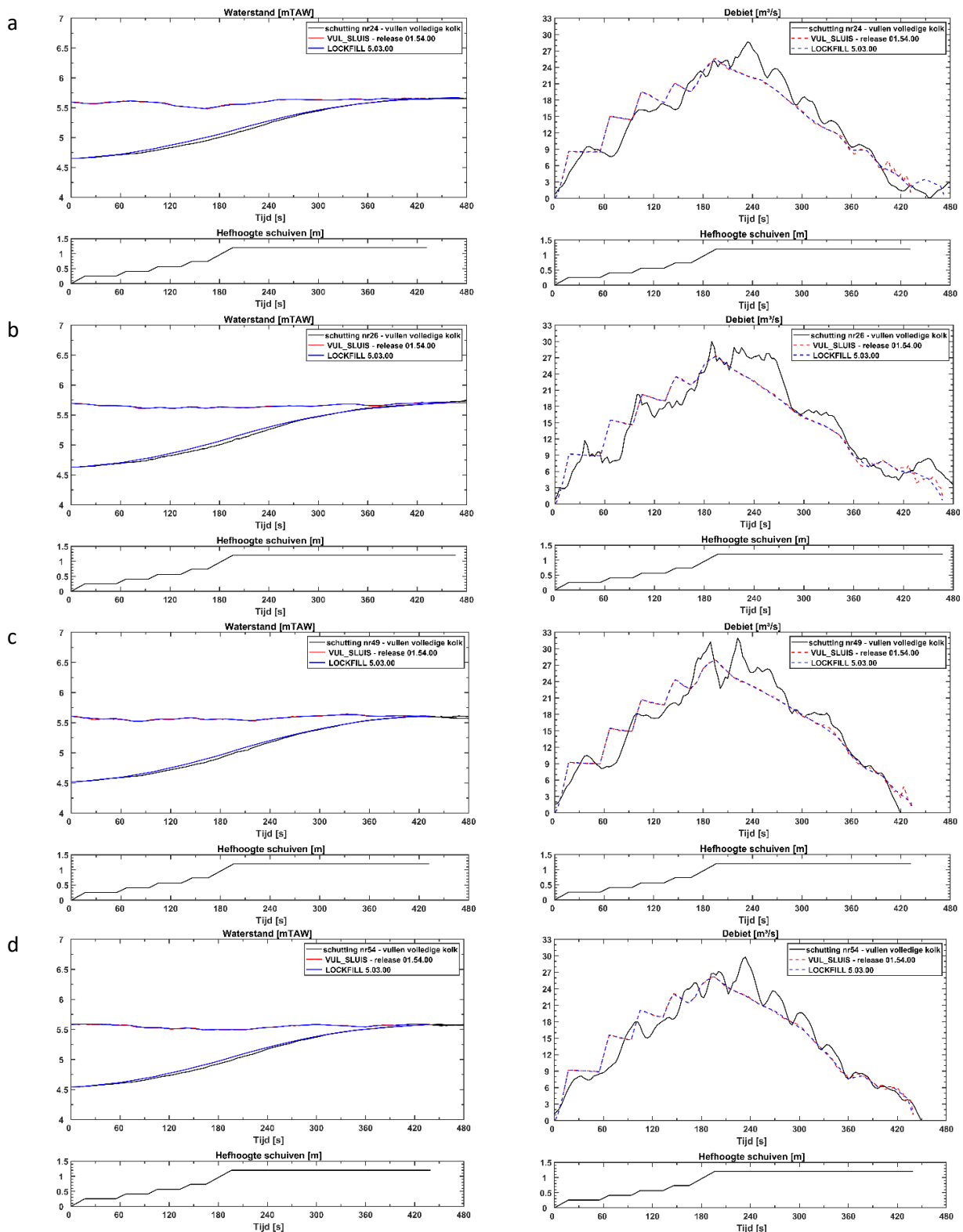
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 98 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluisolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)



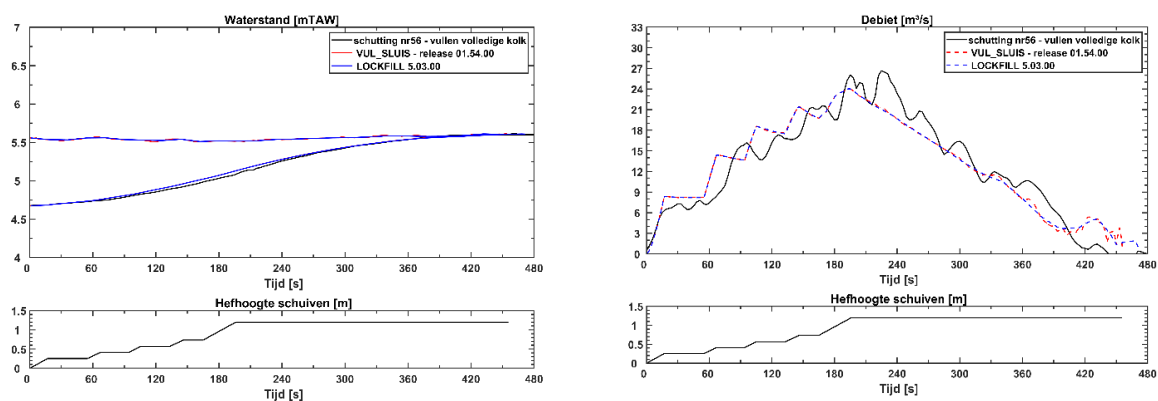
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisenkolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 99 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluisenkolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 008 (a), 009 (b), 010 (c) en 011 (d)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 100 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluisolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 012 (a), 013 (b), 014 (c) en 015 (d)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiskolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 101 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiskolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 016

Bijlage 5 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten terreinmeting Vandammesluis

Tabellen

Tabel 58 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand in sluiskolk berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van waterstand in sluiskolk opgemeten tijdens terreinmeting

Simulatie	VUL_SLUIS release 01.54.00								LOCKFILL 5.03.00							
	Basis (afvoercoëfficiënt V1)				Na aanpassing afvoercoëfficiënt (V2/V3)				Basis (afvoercoëfficiënt V1)				Na aanpassing afvoercoëfficiënt (V2/V3)			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m	m	m	-	m	m	m	-	m	m	m	-	m	m	m	-
001	0.01	0.01	0.01	1.00	-0.01	0.01	0.01	1.00	0.01	0.01	0.01	1.00	-0.01	0.01	0.01	1.00
002	0.01	0.01	0.01	0.99	0.00	0.00	0.00	1.00	0.01	0.01	0.01	0.99	0.00	0.00	0.00	0.99
003	0.02	0.02	0.01	1.00	0.02	0.03	0.01	1.00	0.02	0.02	0.01	1.00	0.02	0.03	0.01	1.00
004	-0.07	0.07	0.03	1.00	0.02	0.02	0.00	1.00	-0.05	0.06	0.02	1.00	0.03	0.04	0.01	1.00
005	-0.05	0.06	0.02	1.00	0.01	0.01	0.01	1.00	-0.08	0.09	0.03	1.00	-0.02	0.02	0.01	1.00
006	-0.18	0.19	0.07	1.00	0.02	0.02	0.01	1.00	-0.18	0.19	0.07	1.00	0.02	0.02	0.01	1.00
007	-0.05	0.06	0.03	1.00	0.05	0.05	0.01	1.00	-0.05	0.06	0.03	1.00	0.05	0.05	0.01	1.00
008	-0.14	0.15	0.06	1.00	0.03	0.03	0.01	1.00	-0.14	0.15	0.06	1.00	0.03	0.03	0.01	1.00
009	-0.06	0.06	0.02	1.00	0.00	0.02	0.02	1.00	-0.06	0.06	0.02	1.00	0.00	0.02	0.02	1.00
010	0.01	0.02	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.01	0.01	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
011	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.02	0.02	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.02	0.02	0.01	1.00
012	-0.01	0.02	0.01	1.00	0.01	0.01	0.01	1.00	-0.01	0.02	0.01	1.00	0.01	0.01	0.00	1.00
013	-0.04	0.04	0.02	1.00	0.02	0.02	0.01	1.00	-0.04	0.04	0.02	1.00	0.02	0.02	0.01	1.00
014	-0.21	0.23	0.08	1.00	-0.02	0.03	0.01	1.00	-0.21	0.23	0.08	1.00	-0.02	0.02	0.01	1.00
015	-0.09	0.10	0.04	1.00	0.01	0.01	0.00	1.00	-0.09	0.10	0.04	1.00	0.01	0.01	0.00	1.00
016	-0.19	0.20	0.07	1.00	-0.04	0.04	0.02	1.00	-0.18	0.19	0.07	1.00	-0.03	0.03	0.01	1.00
017	-0.01	0.01	0.00	1.00	-0.01	0.01	0.01	1.00	-0.01	0.01	0.00	1.00	-0.01	0.01	0.01	1.00
018	-0.03	0.03	0.01	1.00	0.01	0.01	0.01	1.00	-0.03	0.03	0.01	1.00	0.01	0.01	0.01	1.00
019	-0.14	0.15	0.05	1.00	0.01	0.01	0.00	1.00	-0.14	0.15	0.05	1.00	0.01	0.01	0.00	1.00
020	-0.09	0.09	0.03	1.00	0.00	0.01	0.01	1.00	-0.09	0.09	0.03	1.00	0.00	0.01	0.01	1.00
021	-0.21	0.22	0.08	1.00	0.00	0.01	0.01	1.00	-0.21	0.22	0.08	1.00	0.00	0.01	0.01	1.00
Minimum	-0.21	0.00	0.00	0.99	-0.04	0.00	0.00	1.00	-0.21	0.00	0.00	0.99	-0.03	0.00	0.00	0.99
Gemiddelde	-0.07	0.08	0.03	1.00	0.01	0.02	0.01	1.00	-0.07	0.08	0.03	1.00	0.01	0.02	0.01	1.00
Maximum	0.02	0.23	0.08	1.00	0.05	0.05	0.02	1.00	0.02	0.23	0.08	1.00	0.05	0.05	0.02	1.00

Tabel 59 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met variatie in de tijd van debiet door nivelleeropeningen opgemeten tijdens terreinmeting

Simulatie	VUL_SLUIS release 01.54.00								LOCKFILL 5.03.00							
	Basis (afvoercoëfficiënt V1)				Na aanpassing afvoercoëfficiënt (V2/V3)				Basis (afvoercoëfficiënt V1)				Na aanpassing afvoercoëfficiënt (V2/V3)			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-
001	0.30	5.79	5.79	0.65	-1.00	5.93	5.86	0.66	0.31	5.79	5.79	0.63	-1.02	5.95	5.87	0.64
002	2.04	4.85	4.43	0.50	-0.16	3.98	4.00	0.51	2.22	4.88	4.38	0.46	-0.03	3.94	3.97	0.47
003	0.81	5.95	5.92	0.48	2.07	6.24	5.91	0.50	0.87	5.97	5.93	0.43	2.18	6.29	5.92	0.46
004	-1.08	4.13	3.99	0.91	0.10	2.75	2.75	0.91	-1.78	4.14	3.75	0.91	-0.41	2.78	2.75	0.90
005	-0.57	3.71	3.67	0.97	0.50	3.01	2.97	0.98	0.14	3.92	3.92	0.97	1.38	3.30	3.00	0.98
006	-1.34	5.61	5.45	1.00	0.23	1.44	1.42	0.99	-1.33	5.64	5.49	1.00	0.24	1.43	1.41	0.99
007	-0.39	5.07	5.05	0.96	0.79	4.50	4.43	0.97	-0.38	5.05	5.04	0.96	0.83	4.50	4.42	0.97
008	-2.49	5.41	4.81	0.99	-0.17	1.90	1.90	0.99	-2.31	5.43	4.92	0.99	-0.19	1.92	1.91	0.99
009	-0.62	5.67	5.64	0.92	0.62	5.25	5.22	0.93	-0.56	5.56	5.54	0.92	0.69	5.13	5.08	0.93
010	1.14	2.80	2.57	0.67	-0.83	2.43	2.30	0.66	1.20	2.70	2.43	0.65	-0.80	2.38	2.25	0.62
011	0.29	3.04	3.03	0.80	-1.01	3.43	3.29	0.81	0.32	3.05	3.05	0.78	-1.01	3.46	3.32	0.79
012	-1.30	2.74	2.41	0.79	0.72	1.92	1.79	0.79	-1.38	2.73	2.36	0.77	0.67	1.88	1.76	0.77
013	-0.29	3.73	3.72	0.96	0.95	3.25	3.11	0.97	-0.29	3.72	3.72	0.96	0.97	3.26	3.12	0.97
014	-1.65	7.00	6.80	0.97	-0.09	2.97	2.97	0.97	-1.65	6.97	6.78	0.97	-0.09	2.97	2.97	0.97
015	-1.17	4.34	4.18	0.98	0.04	3.08	3.08	0.98	-1.16	4.34	4.19	0.98	0.07	3.09	3.09	0.98
016	-2.99	6.51	5.79	0.99	-0.77	2.12	1.97	0.98	-2.81	6.42	5.78	0.99	-0.68	2.08	1.97	0.98
017	-1.30	3.47	3.24	0.79	-2.51	4.02	3.17	0.81	-1.24	3.39	3.18	0.78	-2.48	3.94	3.09	0.80
018	-0.40	3.89	3.88	0.93	0.87	3.72	3.62	0.94	-0.42	3.86	3.84	0.93	0.87	3.70	3.60	0.94
019	-1.45	4.65	4.42	0.98	-0.09	1.83	1.83	0.98	-1.44	4.67	4.45	0.98	-0.09	1.83	1.83	0.98
020	-0.84	4.22	4.13	0.98	0.30	3.15	3.14	0.98	-0.81	4.25	4.17	0.98	0.36	3.17	3.15	0.98
021	-2.44	6.45	5.98	0.98	-0.04	2.58	2.58	0.98	-2.21	6.55	6.17	0.98	-0.05	2.56	2.57	0.98
Minimum	-2.99	2.74	2.41	0.48	-2.51	1.44	1.42	0.50	-2.81	2.70	2.36	0.43	-2.48	1.43	1.41	0.46
Gemiddelde	-0.75	4.72	4.52	0.87	0.02	3.31	3.20	0.87	-0.70	4.72	4.52	0.86	0.07	3.31	3.19	0.86
Maximum	2.04	7.00	6.80	1.00	2.07	6.24	5.91	0.99	2.22	6.97	6.78	1.00	2.18	6.29	5.92	0.99

Tabel 60 – Vergelijking nivelleertijd met resterval 0.15 m opgemeten tijdens terreinmeting
met nivelleertijd met resterval 0.15 m berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Terrein- meting	VUL_SLUIS 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00				Verschil VUL_SLUIS - LOCKFILL	
		Basis (afvoer- coëfficiënt V1)		Na aanpassing afvoer- coëfficiënt (V2/V3)		Basis (afvoer- coëfficiënt V1)		Na aanpassing afvoer- coëfficiënt (V2/V3)		Basis (afvoer- coëfficiënt V1)	Na aanpassing afvoer- coëfficiënt (V2/V3)
		Tijd	Vershil	Tijd	Vershil	Tijd	Vershil	Tijd	Vershil		
		[s]	[%]	[s]	[%]	[s]	[%]	[s]	[%]	[%]	[%]
001	651	694.0	6.6	635.4	-2.4	694.4	6.7	634.8	-2.5	-0.1	0.1
002	192	158.0	-17.7	176.4	-8.1	166.6	-13.2	197.0	2.6	-5.4	-11.7
003	342	307.8	-10.0	283.8	-17.0	324.6	-5.1	308.4	-9.8	-5.5	-8.7
004	1572	1262.2	-19.7	1571.8	0.0	1317.6	-16.2	1780.0	13.2	-4.4	-13.2
005	1380	1460.2	5.8	1348.8	-2.3	1531.8	11.0	1406.6	1.9	-4.9	-4.3
006	2409	1975.6	-18.0	2440.2	1.3	2028.0	-15.8	2452.8	1.8	-2.7	-0.5
007	1905	1975.0	3.7	1803.2	-5.3	1975.2	3.7	1800.4	-5.5	0.0	0.2
008	1887	1601.2	-15.1	1871.6	-0.8	1617.8	-14.3	1910.0	1.2	-1.0	-2.1
009	1425	1480.6	3.9	1352.6	-5.1	1480.8	3.9	1350.4	-5.2	0.0	0.2
010	327	175.8	-46.2	230.6	-29.5	217.6	-33.5	361.8	10.6	-23.8	-56.9
011	510	516.6	1.3	473.8	-7.1	518.2	1.6	474.2	-7.0	-0.3	-0.1
012	537	422.8	-21.3	584.8	8.9	474.8	-11.6	587.8	9.5	-12.3	-0.5
013	1356	1425.0	5.1	1301.8	-4.0	1425.2	5.1	1300.0	-4.1	0.0	0.1
014	2484	2039.8	-17.9	2463.0	-0.8	2043.6	-17.7	2467.6	-0.7	-0.2	-0.2
015	1809	1949.8	7.8	1794.6	-0.8	1950.0	7.8	1794.4	-0.8	0.0	0.0
016	1857	1507.0	-18.8	1766.4	-4.9	1500.2	-19.2	1788.6	-3.7	0.5	-1.3
017	249	209.0	-16.1	185.6	-25.5	203.8	-18.2	193.8	-22.2	2.5	-4.4
018	1053	1100.4	4.5	989.2	-6.1	1115.4	5.9	987.4	-6.2	-1.4	0.2
019	2382	1919.8	-19.4	2384.6	0.1	1955.2	-17.9	2376.0	-0.3	-1.8	0.4
020	1686	1835.2	8.8	1638.8	-2.8	1849.6	9.7	1636.8	-2.9	-0.8	0.1
021	2256	1838.2	-18.5	2214.8	-1.8	1855.2	-17.8	2206.4	-2.2	-0.9	0.4

Tabel 61 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00

Simulatie	Terreinmeting								Langskracht							
	Waterspiegelhelling 1			Waterspiegelhelling 2			Extreme waarde		VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
	Naam	min	max	Naam	min	max	min	max	Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
		‰	‰		‰	‰			‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
003	H56	-0.24	0.43	-	-	-	-0.24	0.43	-0.27	0.28	12	-34	-0.26	0.29	7	-33
005	H13	-0.37	0.39	-	-	-	-0.37	0.39	-0.45	0.74	23	89	-0.47	0.67	28	71
007	H34	-0.43	0.44	-	-	-	-0.43	0.44	-0.53	0.54	24	22	-0.50	0.51	15	15
014	H57	-0.18	0.18	H24	-0.21	0.21	-0.21	0.21	-0.87	0.84	319	306	-0.81	0.78	289	279
018	H13	-0.23	0.42	-	-	-	-0.23	0.42	-0.27	0.34	16	-18	-0.27	0.33	16	-21

- = Slechts één waterspiegelhelling wordt beschouwd voor de validatie;

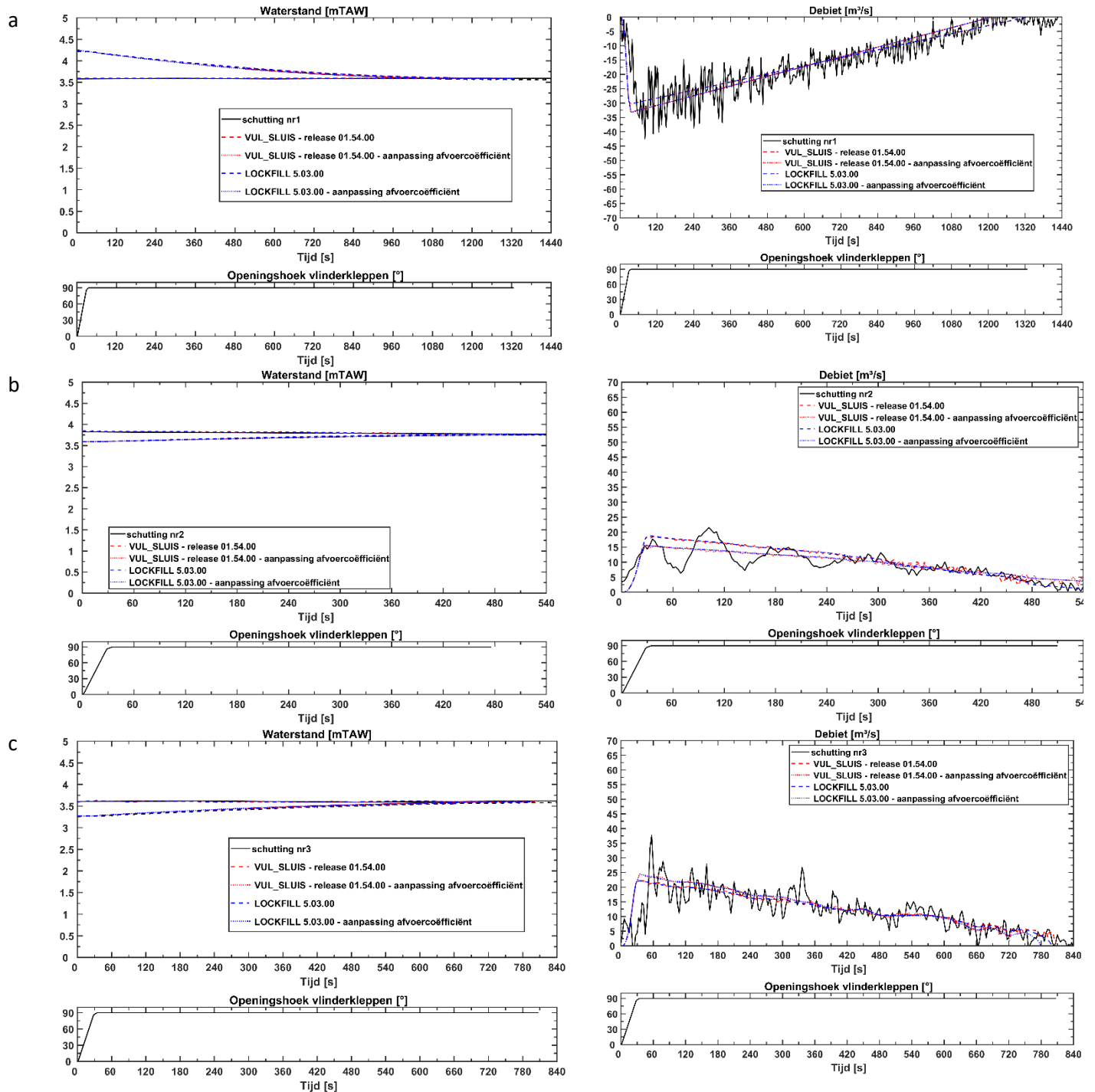
Alle beschouwde simulaties betreffen simulaties met de aangepaste afvoercoëfficiënten V2 en V3

Tabel 62 – Vergelijking extreme waarden waterspiegelhelling opgemeten tijdens terreinmeting met extreme waarden waterspiegelhelling berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00

Waterspiegelhelling	Simulatie	Terreinmeting		VUL_SLUIS release 01.54.00							
		Extreme waarde		vòòr smoothing en damping				na smoothing en damping			
		Extreme waarde		Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
		‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
H14	003	-0.17	0.21	-0.09	0.09	-46	-56	-0.08	0.08	-51	-60
	005	-0.33	0.33	-0.22	0.23	-33	-29	-0.21	0.21	-38	-35
	007	-0.46	0.32	-0.29	0.29	-163	-11	-0.27	0.28	-158	-14
	014	-0.17	0.22	-0.20	0.23	20	5	-0.17	0.16	-2	-26
	018	-0.15	0.22	-0.18	0.19	21	-11	-0.17	0.17	12	-21
H24	003	-0.26	0.09	-0.10	0.10	-61	12	-0.09	0.09	-67	-1
	007	-0.39	0.31	-0.31	0.31	-21	-1	-0.29	0.30	-26	-5
	014	-0.19	0.21	-0.20	0.22	3	4	-0.16	0.15	-18	-28
H57	003	-0.23	0.20	-0.10	0.10	-56	-50	-0.09	0.09	-62	-56
	007	-0.31	0.47	-0.31	0.31	1	-35	-0.29	0.30	-6	-37
	014	-0.18	0.18	-0.23	0.24	26	35	-0.19	0.18	4	0
H58	003	-0.17	0.21	-0.09	0.09	-45	-57	-0.08	0.08	-51	-60
	007	-0.32	0.28	-0.29	0.29	-11	2	-0.27	0.28	-17	-1
	014	-0.12	0.22	-0.21	0.21	79	-4	-0.17	0.17	39	-24

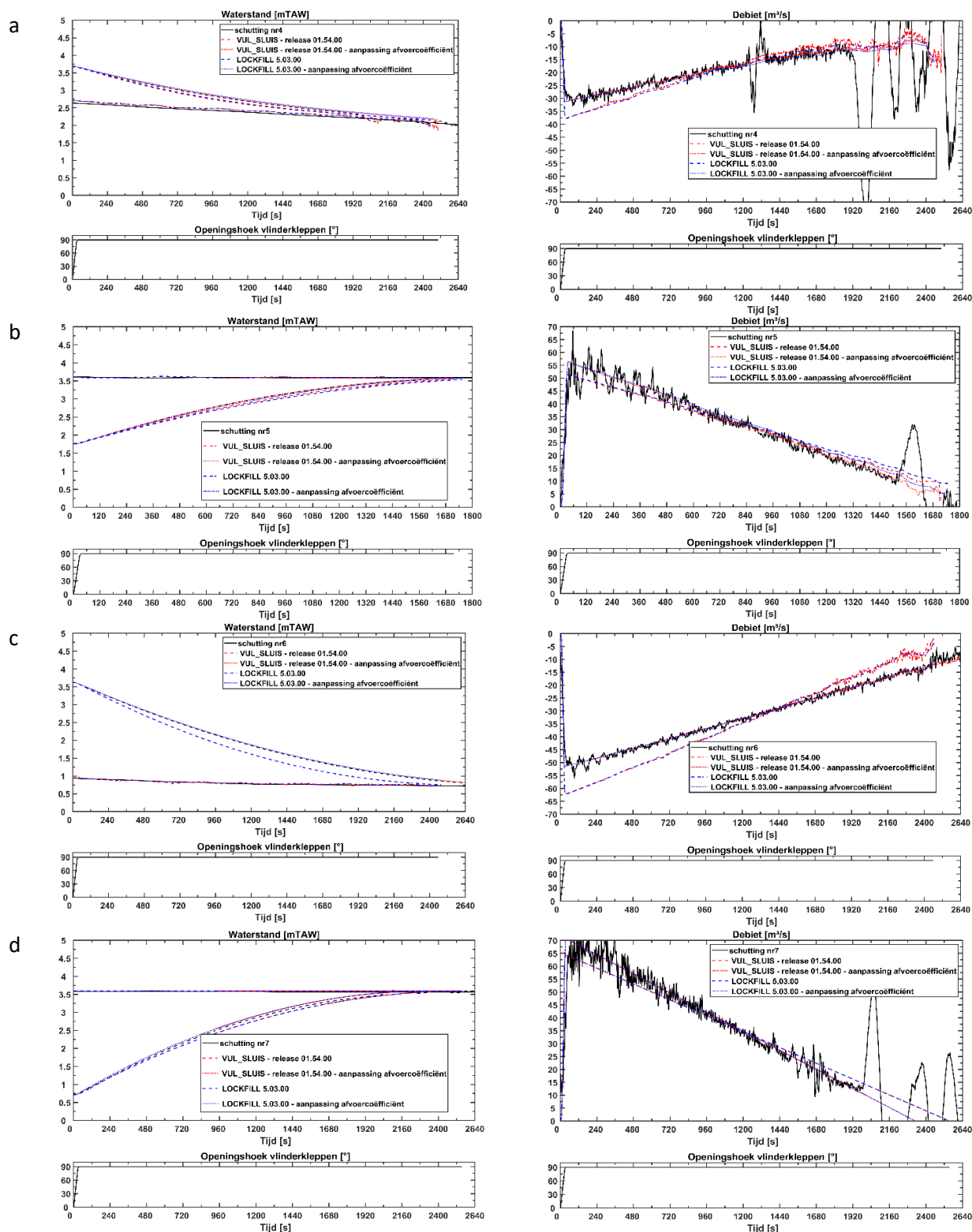
Alle beschouwde simulaties betreffen simulaties met de aangepaste afvoercoëfficiënten V2 en V3

Figuren

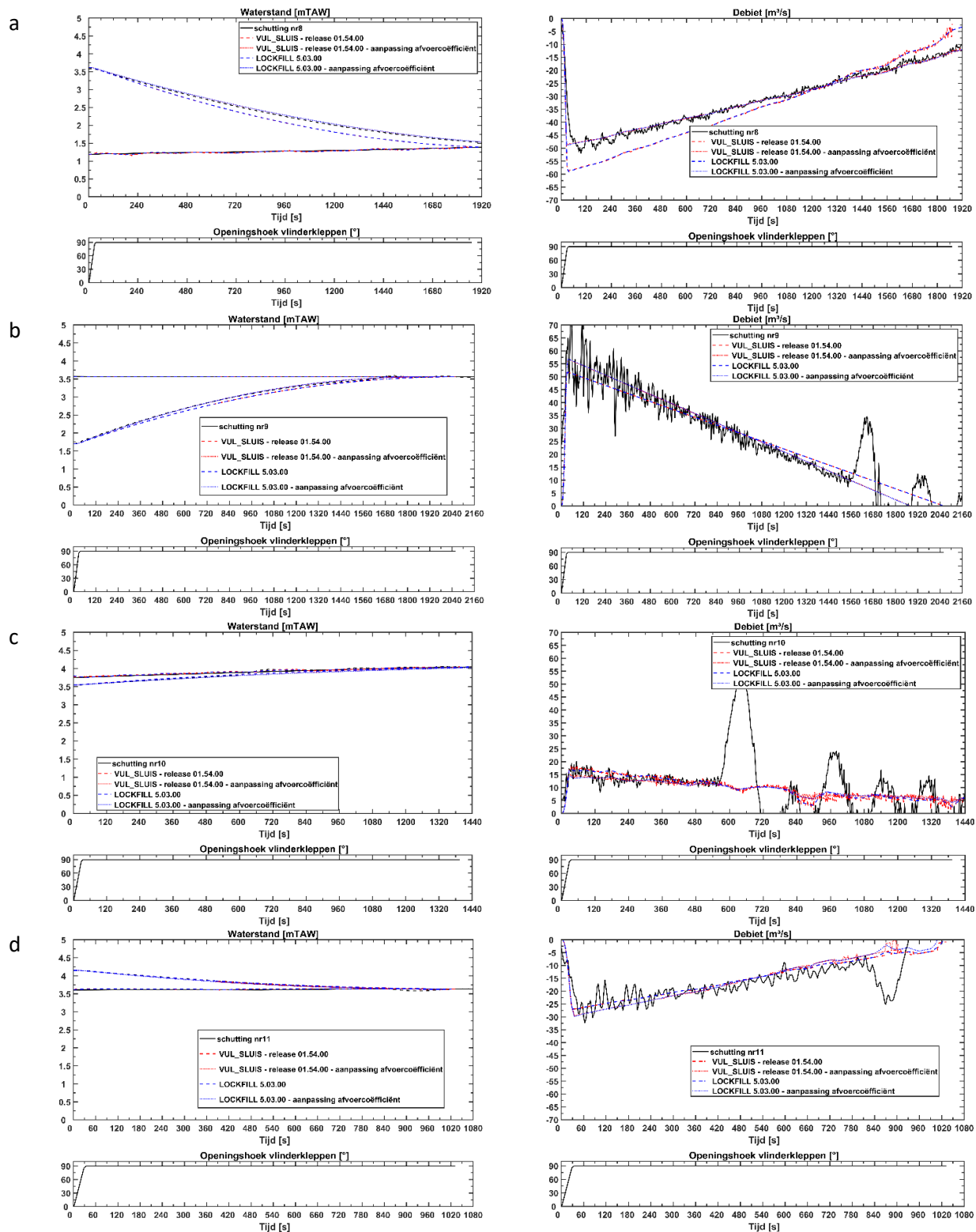


links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 102 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)

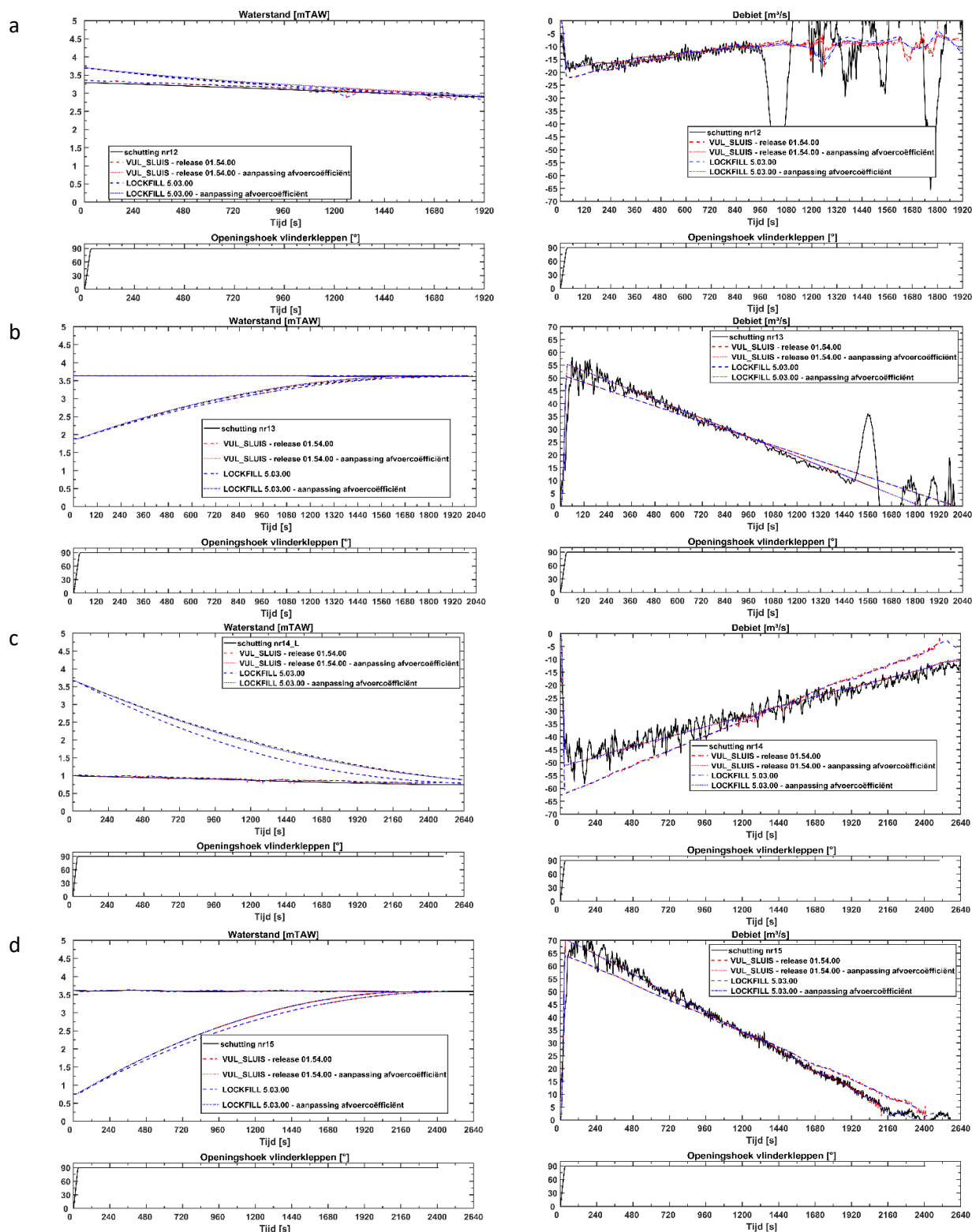


Figuur 103 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)



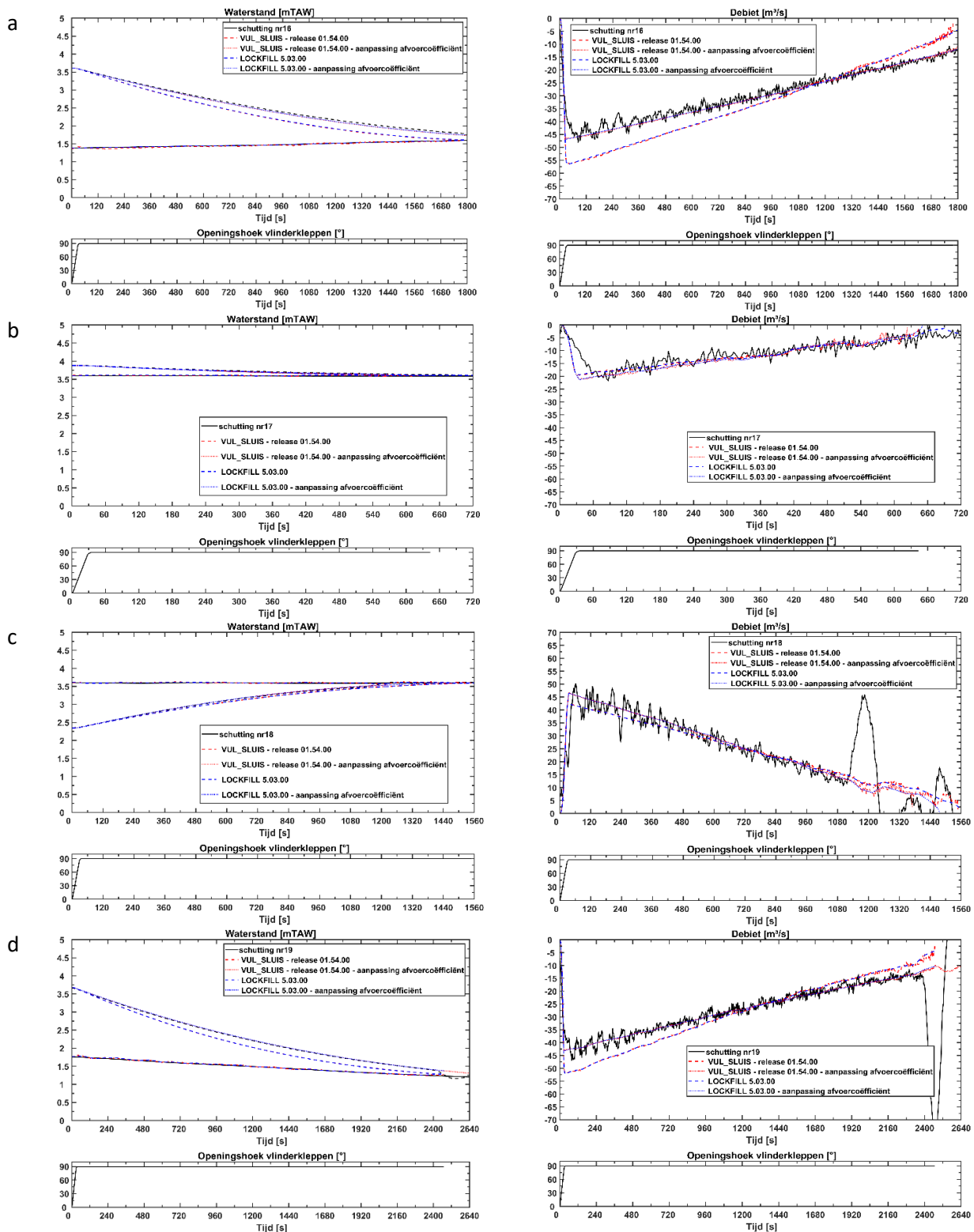
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluischolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 104 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 008 (a), 009 (b), 010 (c) en 011 (d)



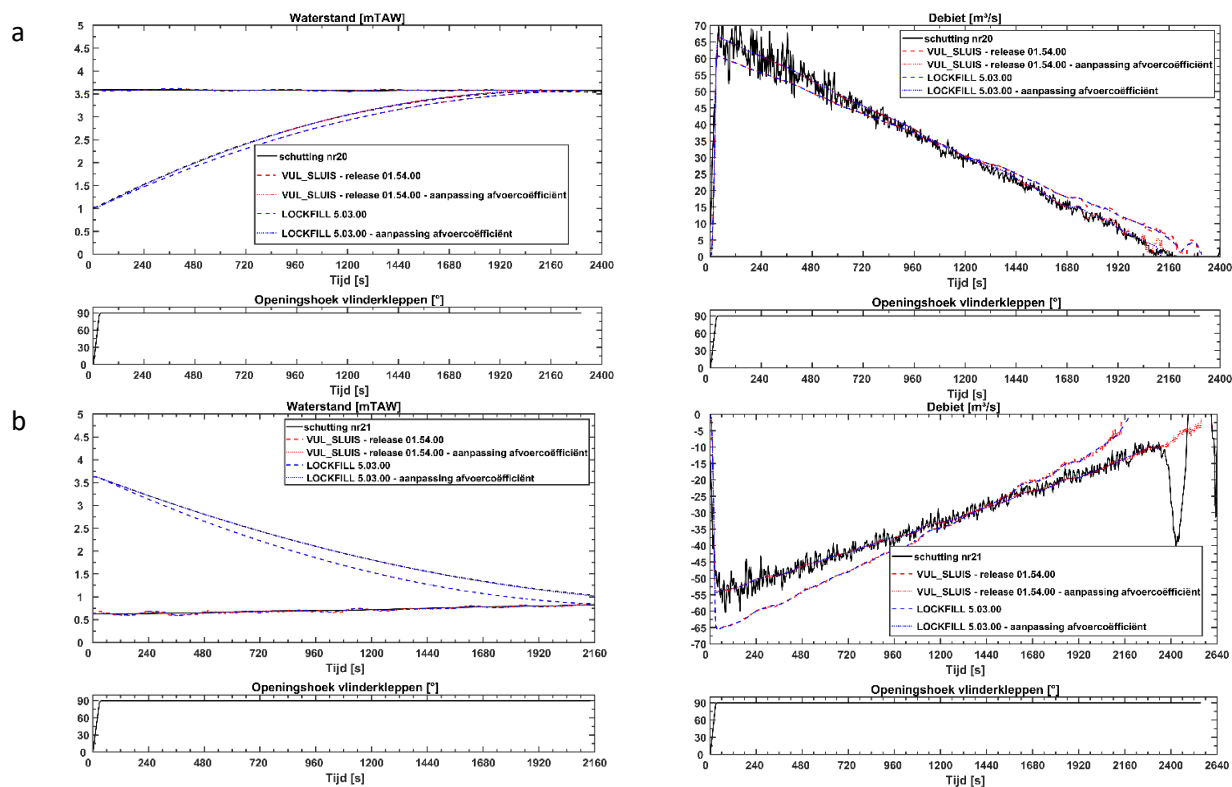
links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 105 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 v met resultaten terreinmeting voor simulatie 012 (a), 013 (b), 014 (c) en 015 (d)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 106 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door niveleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 016 (a), 017 (b), 018 (c) en 019 (d)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 107 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluisolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS release 01.54.00 en LOCKFILL 5.03.00 met resultaten terreinmeting voor simulatie 020 (a) en 021 (b)

Bijlage 6 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten schaalmodelonderzoek Terneuzen

Tabellen

Tabel 63 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met variatie in de tijd van waterstand en debiet uit schaalmodelonderzoek

Simulatie	Waterstand								Debiet							
	VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 05.03.00				VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 05.03.00			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m	m	m	-	m	m	m	-	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-
001	-0.01	0.03	0.03	1.00	0.09	0.11	0.06	1.00	0.20	3.97	3.97	0.99	0.66	5.75	5.71	0.97
002	0.02	0.05	0.05	1.00	-0.23	0.29	0.18	1.00	-0.20	4.97	4.96	0.99	-1.65	13.11	13.01	0.95
003	-0.02	0.03	0.02	1.00	0.13	0.16	0.09	1.00	0.00	4.22	4.23	1.00	-5.86	15.32	14.16	0.93
004	0.06	0.07	0.04	1.00	-0.10	0.15	0.11	1.00	-0.22	6.03	6.02	1.00	-0.32	14.48	14.48	0.97
005	0.04	0.05	0.03	1.00	-0.32	0.38	0.21	1.00	-0.51	7.30	7.28	0.98	-1.91	19.70	19.62	0.88
006	0.04	0.05	0.03	1.00	0.11	0.20	0.17	1.00	-0.09	7.51	7.51	0.98	0.88	19.46	19.45	0.94
Minimum	-0.02	0.03	0.02	1.00	-0.32	0.11	0.06	1.00	-0.51	3.97	3.97	0.98	-5.86	5.75	5.71	0.88
Gemiddelde	0.02	0.05	0.03	1.00	-0.05	0.21	0.14	1.00	-0.14	5.67	5.56	0.99	-1.36	14.64	14.40	0.94
Maximum	0.06	0.07	0.05	1.00	0.13	0.38	0.21	1.00	0.20	7.51	7.51	1.00	0.88	19.70	19.62	0.97

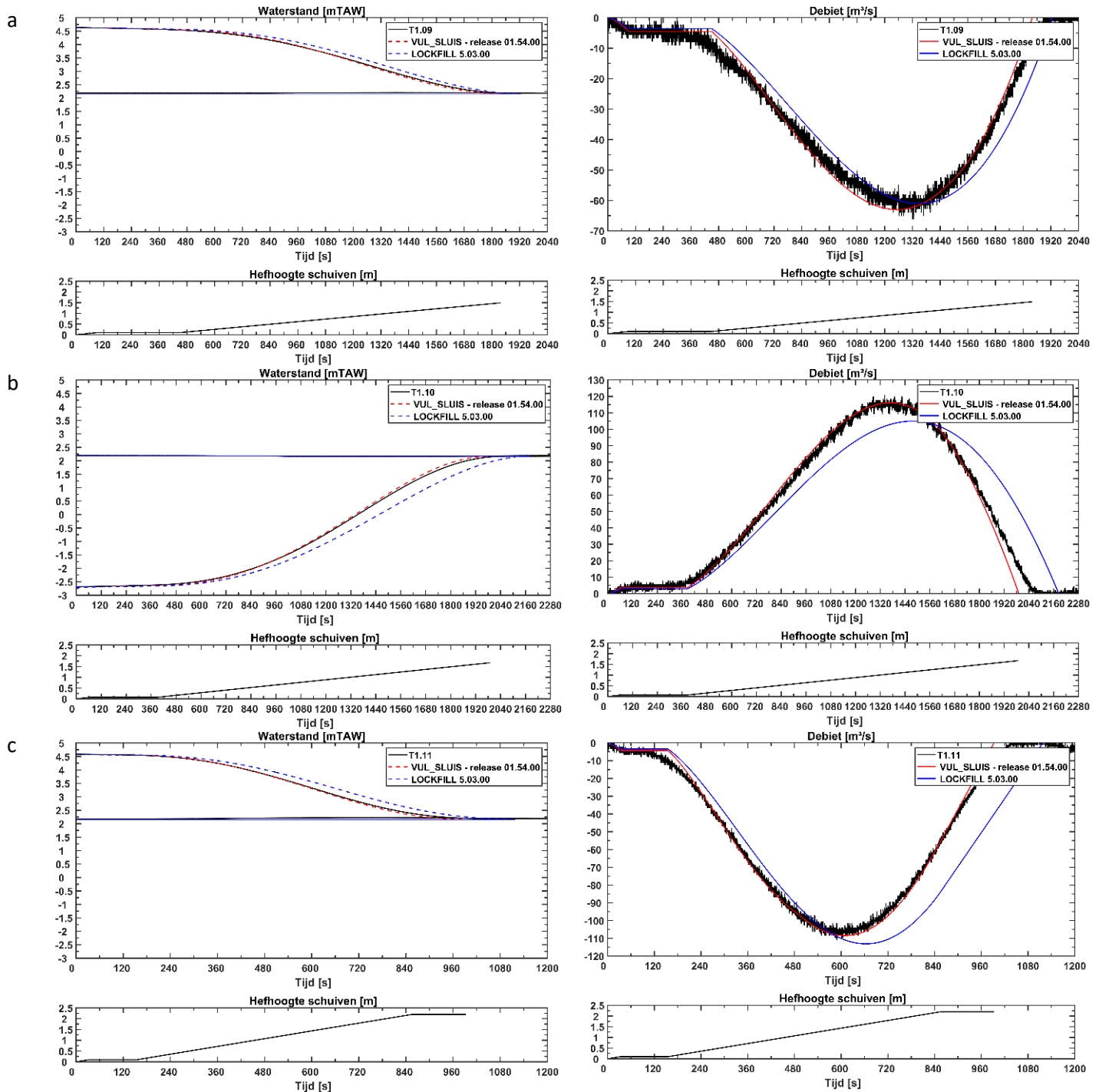
Tabel 64 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten in schaalmodel met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Simulatie	Schaalmodel	VUL_SLUIS 01.54.00		LOCKFILL 5.03.00		Verschil
	Tijd	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	VUL_SLUIS - LOCKFILL
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	[%]
001	1749	1735.6	-0.8	1822.2	4.2	-5.0
002	1970	1907.8	-3.2	2093.6	6.3	-9.7
003	916	916.2	0.0	1026.2	12.0	-12.0
004	1171	1141.6	-2.5	1171.2	0.30	-2.6
005	1524	1520.2	-0.2	1685.4	10.6	-10.9
006	1319	1303.0	-1.2	1220.4	-7.5	6.3

Tabel 65 – Vergelijking extreme waarden langskracht opgemeten in schaalmodel met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL

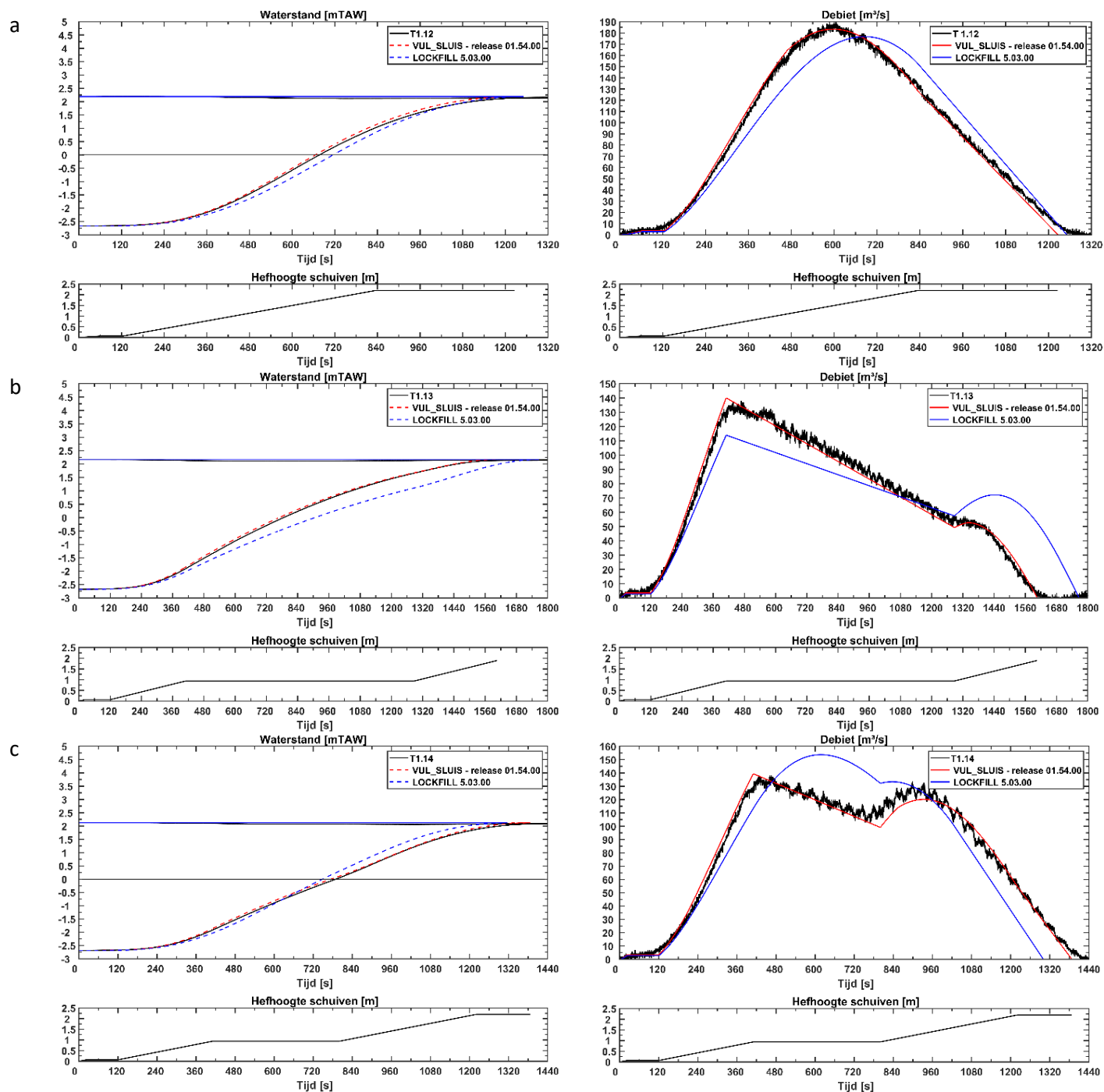
Simulatie	Schaalmodel		VUL_SLUIS release 01.54.00 CE ₂ = 0.05				VUL_SLUIS release 01.54.00 CE ₂ = 0.40				LOCKFILL 5.03.00			
			Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
001	-0.02	0.03	-0.02	0.03	-12	12	-0.01	0.03	-32	9	-0.01	0.04	-42	33
002	-0.10	0.05	-0.05	0.06	-48	17	-0.05	0.04	-51	-12	-0.05	0.03	-51	-31
003	-0.04	0.06	-0.07	0.07	82	25	-0.06	0.06	46	-1	-0.05	0.06	24	1
004	-0.12	0.13	-0.09	0.21	-29	59	-0.08	0.17	-36	34	-0.08	0.14	-30	6
005	-0.14	0.15	-0.14	0.21	-3	37	-0.07	0.17	-53	16	-0.06	0.14	-57	-8
006	-0.13	0.14	-0.14	0.21	6	47	-0.07	0.17	-48	24	-0.07	0.14	-50	-2

Figuren



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 108 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluiscolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 109 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluiscolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 004 (a), 005 (b) en 006 (c)

Bijlage 7 Tabellen en figuren voor validatie met resultaten schaalmodelonderzoek IJmuiden

Tabellen

Tabel 66 – Statistische parameters voor vergelijking variatie in de tijd van waterstand en debiet in sluiscolk berekend met VUL_SLUIS en berekend met LOCKFILL met variatie in de tijd van waterstand en debiet in sluiscolk opgemeten in schaalmodel

Simulatie	Waterstand								Debiet							
	VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00				VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R	bias	rmse	std	R
	m	m	m	-	m	m	m	-	m³/s	m³/s	m³/s	-	m³/s	m³/s	m³/s	-
001	0.04	0.05	0.02	1.00	0.04	0.05	0.02	1.00	1.22	15.11	15.06	0.98	1.21	15.10	15.05	0.98
002	-0.04	0.05	0.02	1.00	-0.04	0.04	0.02	1.00	-0.29	15.48	15.48	0.98	-0.29	15.47	15.47	0.98
003	-0.06	0.08	0.06	1.00	-0.06	0.08	0.06	1.00	1.09	17.87	17.84	0.97	1.10	17.94	17.91	0.97
004	0.01	0.04	0.04	1.00	0.01	0.04	0.04	1.00	1.72	15.20	15.10	0.98	1.72	15.20	15.11	0.98
005	0.02	0.03	0.02	1.00	0.02	0.03	0.02	1.00	1.81	12.33	12.20	0.96	1.81	12.33	12.20	0.96
006	-0.03	0.03	0.01	1.00	-0.03	0.03	0.01	1.00	-1.93	12.56	12.42	0.95	-1.94	12.55	12.40	0.95
007	0.03	0.04	0.02	1.00	0.03	0.04	0.02	1.00	2.10	20.79	20.69	0.89	2.10	20.78	20.68	0.89
Minimum	-0.06	0.03	0.01	1.00	-0.06	0.03	0.01	1.00	-1.93	12.33	12.20	0.89	-1.94	12.33	12.20	0.89
Gemiddelde	0.00	0.04	0.03	1.00	0.00	0.04	0.03	1.00	0.81	15.62	15.54	0.96	0.82	15.62	15.55	0.96
Maximum	0.04	0.08	0.06	1.00	0.04	0.08	0.06	1.00	2.10	20.79	20.69	0.98	2.10	20.78	20.68	0.98

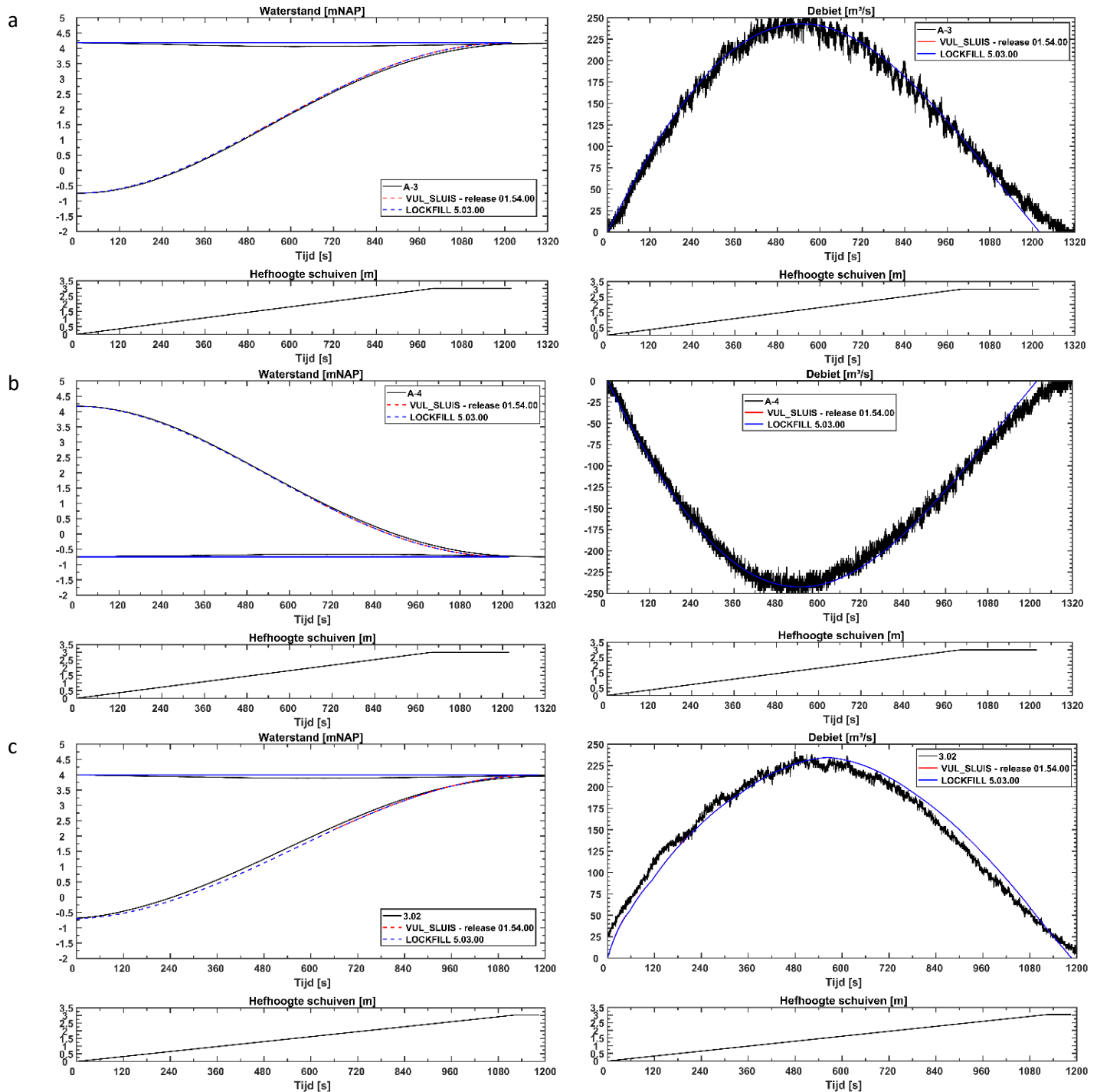
Tabel 67 – Vergelijking nivelleertijd met restverval 0.05 m opgemeten in schaalmodel met nivelleertijd met restverval 0.05 m berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL

Simulatie	Schaalmodel	VUL_SLUIS 01.54.00		LOCKFILL 5.03.00		Verschil
	Tijd	Tijd	Verschil	Tijd	Verschil	VUL_SLUIS - LOCKFILL
	[s]	[s]	[%]	[s]	[%]	[%]
001	1147	1132.8	-1.2	1133.2	-1.2	0.0
002	1144	1132	-1.0	1132.2	-1.0	0.0
003	1124	1102.6	-1.9	1103	-1.9	0.0
004	1135	1106	-2.6	1106.4	-2.5	0.0
005	597	593.4	-0.6	593.8	-0.5	-0.1
006	589	586.2	-0.5	586.4	-0.4	0.0
007	687	681	-0.9	681.4	-0.8	-0.1

Tabel 68 – Vergelijking extreme waarde langskracht op schip opgemeten in schaalmodel met extreme waarden langskracht op het schip berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL

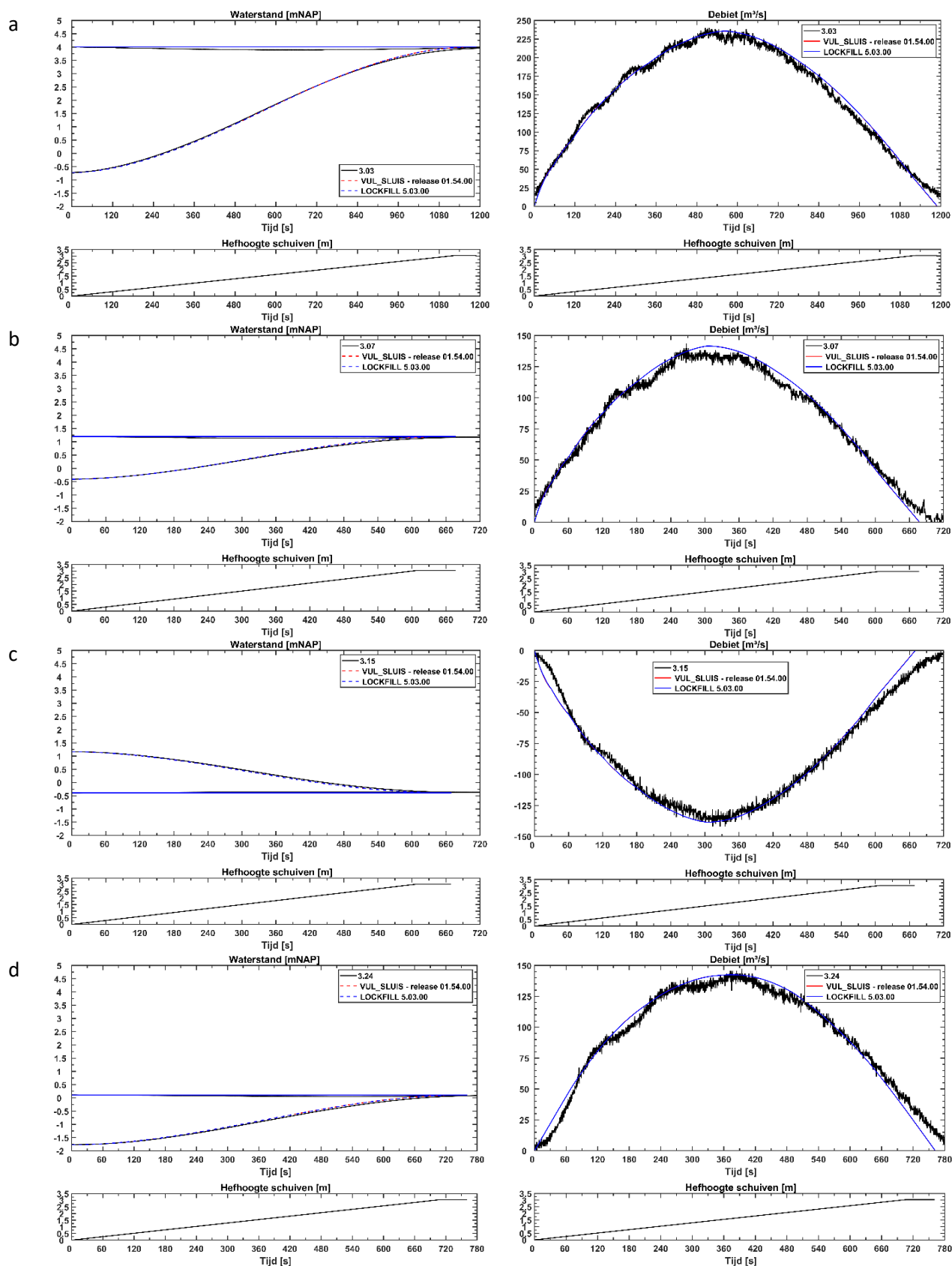
Simulatie	Schaalmodel		VUL_SLUIS release 01.54.00 – CE ₂ = 0.05				VUL_SLUIS release 01.54.00				LOCKFILL 5.03.00			
			Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil		Extreme waarde		Procentueel verschil	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	‰	‰	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%	‰	‰	%	%
001	-0.16	0.22	-0.09	0.24	-42	9	-0.06	0.23	-65	3	-0.06	0.22	-61	1
002	-0.13	0.07	-0.13	0.11	6	63	-0.13	0.09	1	31	-0.13	0.10	2	55
003	-0.23	0.27	-0.13	0.29	-44	6	-0.07	0.27	-70	1	-0.07	0.27	-68	-1
004	-0.26	0.28	-0.14	0.29	-45	5	-0.07	0.28	-71	0	-0.09	0.28	-67	-2
005	-0.11	0.24	-0.16	0.24	46	2	-0.10	0.23	-5	-2	-0.10	0.23	-5	-3
006	-0.16	0.10	-0.20	0.18	28	78	-0.20	0.12	23	20	-0.20	0.12	22	18
007	-0.15	0.28	-0.15	0.27	3	-5	-0.15	0.27	3	-5	-0.11	0.24	-27	-13

Figuren



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluischolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 110 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluischolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 001 (a), 002 (b) en 003 (c)



links: variatie in de tijd van waterpeil in sluisolk; rechts: variatie in de tijd van debiet door openingen

Figuur 111 – Vergelijking variatie in de tijd van waterstand in de sluisolk en debiet door nivelleeropeningen berekend met VUL_SLUIS en LOCKFILL met resultaten schaalmodelonderzoek voor simulatie 004 (a), 005 (b), 006 (c) en 007 (d)

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