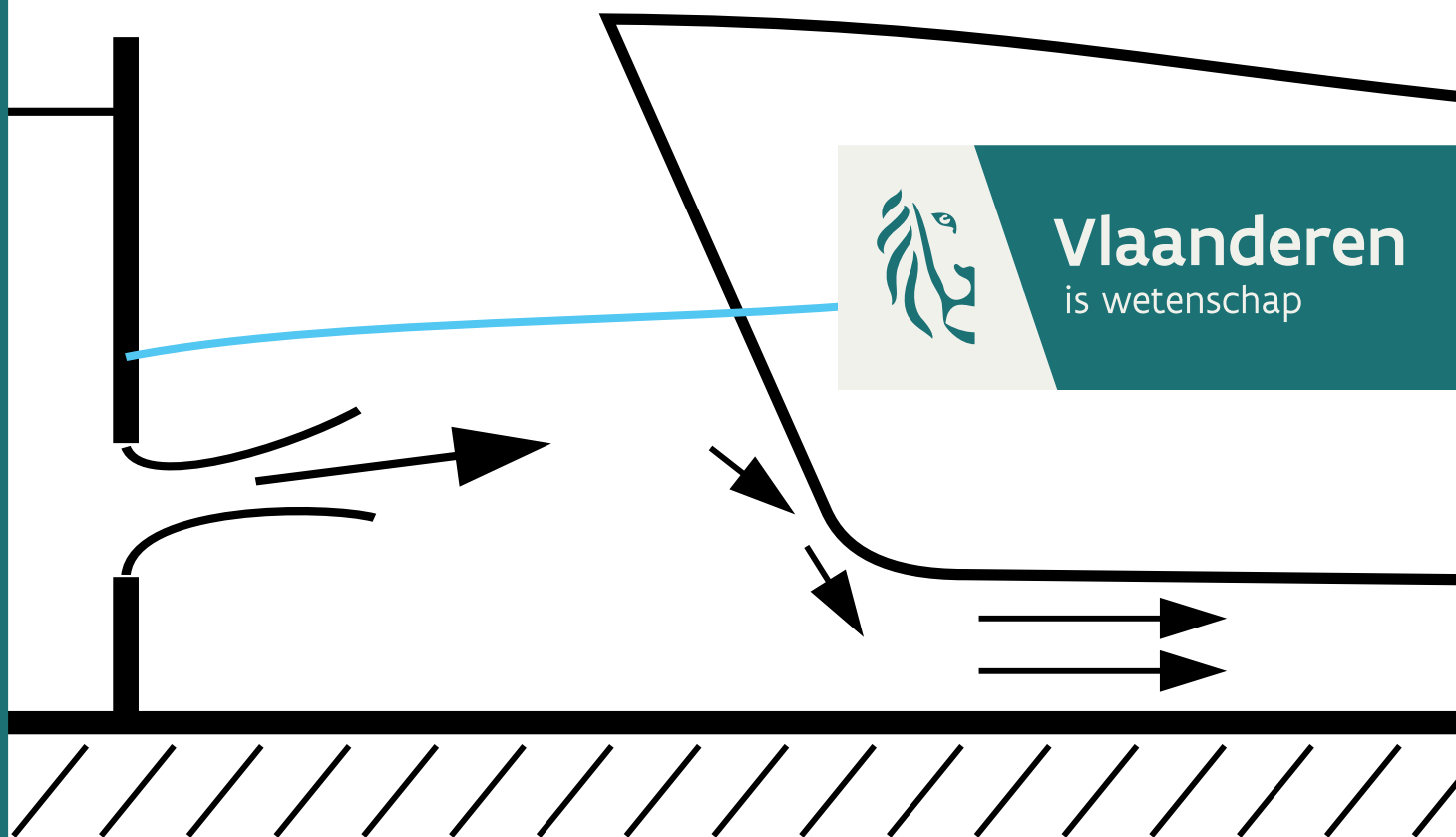




15_007_1
WL rapporten

Verdere ontwikkeling programma vul_sluis

Deelrapport 1
Vergroten inzicht in code en formuleringen

Verdere ontwikkeling programma vul_sluis

Vergroten inzicht in code en formuleringen

Verelst, K.; De Mulder, T.; Schindfessel, L.; Peeters, P.; Mostaert, F.

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 2017
D/2017/3241/247

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; De Mulder, T.; Schindfessel, L.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017). Verdere ontwikkeling programma vul_sluis: Vergroten inzicht in code en formuleringen. Versie 6.0. WL Rapporten, 15_007_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2017R15_007_1
Keywords (3-5):	Lock, filling and emptying, software, development		
Tekst (p.):	200	Bijlagen (p.):	18
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Mulder, T. (UGent); Schindfessel, L. (UGent)	
Projectleider:	Verelst, K;	

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Peeters, P.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



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, 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 bij vullen via openingen in de sluisdeuren. Nivelleren via korte omloopriolen, nivelleren via omloopriolen met woelkelder en de berekening van de component van de langskracht ten gevolge van dichtheidsverschillen zijn niet beschouwd bij de ontwikkeling van het programma vul_sluis.

De ontwikkeling van het programma vul_sluis is gestart in het WL-project 00_077. Binnen dit project zijn twee verschillende versies van het programma ontwikkeld, namelijk versie A en versie B. Deze beide versies geven identiek dezelfde resultaten wat betreft het debiet door de vulopeningen, de variatie in de tijd van het waterpeil in de sluisolk en de optredende end-to-end waterspiegelhellingen. De verschillen tussen beide versies betreffen de formulering voor het berekenen van de langskrachten op het schip. Bij de rapportering van de ontwikkeling van het programma vul_sluis binnen project 00_077 en de externe revisie van de rapporten zijn een aantal opmerkingen, aanbevelingen of verbeterpunten naar boven gekomen.

Voorliggend rapport beschrijft in detail de resultaten van het onderzoek naar deze opmerkingen, aanbevelingen of verbeterpunten met betrekking tot het programma vul_sluis.

Vooreerst zijn een aantal aanpassingen aan de code van het programma vul_sluis uitgevoerd. De belangrijkste wijziging betreft het samenvoegen van de beide versies van het programma tot één release. Hierbij worden de langskrachten berekend met de beide versies (formuleringen) naar één outputfile weggeschreven. Daarnaast zijn een aantal aanpassingen aan de code uitgevoerd, dewelke speciaal zijn geprogrammeerd voor de in dit rapport uitgevoerde analyses.

Een eerste uitgevoerde analyse betreft een gevoeligheidsanalyse, waarbij de invloed onderzocht is van de variatie van een aantal algemene invoerparameters op de langskrachten op het schip berekend met vul_sluis. Daarna werd de invloed onderzocht op de resultaten van 15 (beperkte) wijzingen aan de code van het programma vul_sluis. Deze wijzigingen betreffen enerzijds een aantal fouten in de code dewelke tijdens de rapportering van de opmaak en eerste validatie van vul_sluis werden opgemerkt. Anderzijds betreft dit een aantal gewijzigde formuleringen, waarvan de invloed op de langskrachten op het schip wordt nagegaan. Als laatste is de analyse uitgevoerd van de variatie in de tijd van een aantal parameters, dewelke intern in de code van het programma vul_sluis gebruikt worden. Hierbij is voornamelijk getracht om het ontstaan van plotse sprongen in de tijdsvariatie van bepaalde variabelen (en de hieruit berekende langskrachten) te verklaren.

De uitgevoerde analyses geven meer inzicht in de invloed van bepaalde parameters op de berekende langskrachten en geven ook meer inzicht in het ontstaan van plotse sprongen in de tijdsvariatie van de berekende langskrachten. Op basis van de resultaten van deze analyses is vul_sluis release 01.53.01 gedefinieerd. Algemeen kan besloten worden dat met vul_sluis release 01.53.01 een kleiner verschil in totale langskracht op het schip tussen versie A en versie B wordt berekend dan met vul_sluis release 01.51.01, die in het begin van deze studie is gedefinieerd. Het negatieve extremum van de totale kracht op het schip berekend met versie A van vul_sluis release 01.53.01 wordt (in absolute waarde) beduidend kleiner.

Door het Laboratorium van Hydraulica van Universiteit Gent is daarna de subroutine voor het berekenen van debiet en impuls in de vulstraat opnieuw geprogrammeerd. Deze nieuwe subroutine is ingebouwd in vul_sluis release 01.54.00. Met deze nieuwe release wordt slechts één waarde meer berekend voor de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraatwerking (geen twee verschillende versies A en B

meer) en bijgevolg ook één waarde voor de totale langskracht op het schip. De componenten van de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking vertonen ook een vloeiende variatie in de tijd en vertonen geen sprongen meer. In vergelijking met vul_sluis release 01.53.01 worden met deze nieuwe release tot 68 % grotere negatieve extrema van de totale kracht op het schip berekend en positieve extrema waarden die tot 10 % verschillen (zowel hoger als lager) met deze berekend met de vorige release. In vergelijking met vul_sluis release 01.51.01, die aan het begin van deze studie gedefinieerd is, worden met vul_sluis release 01.54.01 tot 53 % (in absolute waarde) kleinere negatieve extrema van de langskracht op het schip berekend en tot 30 % (met één uitzondering van 64 %) lagere positieve extrema.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	IX
Gebruikte notatie	XVII
1 Inleiding	1
2 Geselecteerde cases voor analyses	4
3 Aanpassingen aan de code van het programma vul_sluis	12
3.1 Vul_sluis release 01.50.00	12
3.2 Vul_sluis release 01.51.00	13
3.3 Vul_sluis release 01.51.s.00.....	16
3.4 Vul_sluis release 01.51.01	18
3.5 Vul_sluis release 01.52.00	18
3.5.1 Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal (release 01.52.00 modA).....	19
3.5.2 Wijzingen in de berekening van de locatie van het omslagpunt (release 01.52.00 modB, release 01.52.00 mod C en release 01.52.00 modO).....	21
3.5.3 Wijziging in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 modD en release 01.52.00 modE).....	22
3.5.4 Aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 modF).....	24
3.5.5 Aanwezigheid factor $lK - X_{boeg}lK$ in de formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en langskracht ten gevolge van impulsafname (release 01.52.00 modG, release 01.52.00 modH, release 01.52.00 modI en release 01.52.00 modJ)	25
3.5.6 Wijziging waarde constante C_1 bij de berekening van de maximale stroomsnelheid ter plaatse van de boeg van het schip (release 01.52.00 modK en release 01.52.00 modL).....	27
3.5.7 Berekeningswijze $\delta q \delta t$ voor demping van translatiegolven (release 01.52.00 modM en release 01.52.00 modN)	28
3.6 Vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.....	29
3.6.1 Wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00.....	29
3.6.2 Integreren van code van speciale versies in de code en het toelaten optionele input in de invoerfile 30	
3.6.3 Nauwkeurigere berekening omslagpunt	31
3.6.4 Aanpassing van de formulering voor de berekening van de waterstand in de bijkomende uitvoerpunten.....	31

3.6.5	Aanpassing berekening parameter Z_{BB} bij afwezigheid van breekbalken	37
3.6.6	Aanpassing berekening hoogte vulstraal en peil midden vulstraal	38
3.6.7	Aanpassing vul_sluis impuls_straal.m in vul_sluis release 01.53.01	39
3.7	Vul_sluis release 01.54.00	41
4	Gevoeligheidsanalyse invoerparameters	44
4.1	Algemeen	44
4.2	Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt Ψ_1	48
4.3	Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt Ψ_3	52
4.4	Resultaten simulaties met wijziging ruwheidslengte kolkwanden en kolkbodem	57
4.5	Resultaten simulaties met wijziging ruwheidslengte van de romp van het schip	62
4.6	Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt CE_1	67
4.7	Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt CE_2	72
4.8	Samenvatting resultaten	76
5	Analyse invloed wijzigingen aan code	78
5.1	Algemeen	78
5.2	Resultaten simulaties met aanpassing helling bij berekening begrenzing vulstraal	80
5.3	Resultaten simulaties met wijziging berekening omslagpunt	84
5.4	Resultaten simulaties met gewijzigde formulering bij de berekening van σ bij definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg	93
5.5	Resultaten simulaties met aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel bij de boeg 100	
5.6	Resultaten simulaties met wijziging factor $IK - X_{boeg}IK$ in formulering langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname	105
5.7	Resultaten simulaties met wijziging constante C_1 bij berekening maximale stroomsnelheid	112
5.8	Resultaten simulaties met wijziging formulering voor $\partial q \partial t$	119
5.9	Samenvatting resultaten	122
6	Analyse waarde interne parameters	125
6.1	Algemeen	125
6.2	Analyse interne variabelen met betrekking tot de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven	126
6.3	Analyse interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van wrijving	129
6.4	Analyse interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking 134	
6.5	Analyse interne variabelen met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal	143
7	Definitie vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01	162
7.1	Algemeen	162
7.2	Langskracht ten gevolge van translatiegolven, locatie omslagpunt en hoogte vulstraal	163

7.3	Componenten langskracht en totale kracht op schip	173
8	Definitie vul_sluis release 01.54.00.....	181
8.1	Algemeen.....	181
8.2	Hoogte vulstraal, lengte neer, debiet en impuls in de vulstraal	182
8.3	Langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking en totale kracht op schip.....	188
9	Conclusie.....	193
10	Referenties	199
Bijlage A: Overzicht releases programma vul_sluis.....		B1
Bijlage B: Figuren interne parameters m.b.t. debiet en impuls in vulstraal vul_sluis release 01.51.s.00.....		B7

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht geselecteerde cases.....	5
Tabel 2 – Overzicht invoergegevens voor de geselecteerde cases	6
Tabel 3 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt voor de verschillende cases.....	7
Tabel 4 – Toegepaste openingswetten voor de verschillende cases.	7
Tabel 5 - Naamgeving aanpassingen code release 01.52.00.....	18
Tabel 6 – Waarden invoerparameters uit invoerfiles simulaties WL en invoerfiles simulaties Deltares voor sluis Terneuzen	46
Tabel 7 – Toegepaste waarden voor de invoerparameters in de gevoeligheidsanalyse	47
Tabel 8 – Wijzigingen aan de code in release 01.52.00.....	78
Tabel 9 – Waarde van factor $IK - X_{boeglK}$ voor de verschillende cases.....	111
Tabel 10 – Minimale en maximale waarden van de hydraulische straal en de Chézy-coëfficiënt.....	132
Tabel 11 – Waarde input BREEKB in inputfile en waarden van AVO,max en $AVS,BBmax$ voor de verschillende Cases.....	135
Tabel 12 – Zone voor berekening snelheidsprofiel ter plaatse van boeg schip	143
Tabel 13 – Formulerings voor debiet in de vulstraal, de maximale snelheid in de vulstraal, de snelheid en impuls in de vulstraal.....	145
Tabel 14 – Vergelijking ondergrenzen en bovengrenzen voor integratie van het snelheidsprofiel	148
Tabel 15 – Minimale en maximale waarden voor de berekende waterspiegelhelling tussen de extra uitvoerpunten.....	164
Tabel 16 – Minimale en maximale waarden voor de berekende totale langskracht op het schip	172
Tabel 17 – Vergelijking minimale en maximale waarden van de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.53.01 met deze berekend met vul_sluis release 01.53.00 en deze berekend met vul_sluis release 01.51.01.....	173
Tabel 18 - Vergelijking minimale en maximale waarden van de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.53.01 met deze berekend met vul_sluis release 01.54.00.	189
Tabel 19 – Overzicht releases programma vul_sluis	B1

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Componenten van de langskracht op het schip in een sluiskolk bij vullen en bij ledigen.	1
Figuur 2 – Variatie in de tijd van waterstand, debiet en de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05 en Case06	8
Figuur 3 – Variatie in de tijd van waterstand, debiet en de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case07, Case08, Case09, Case10, Case11 en Case12	9
Figuur 4 – Variatie in de tijd van waterstand, debiet en de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case13, Case14, Case15 en Case16	10
Figuur 5 - Snelheidsprofiel vulstraal voor $X > XVS$, omslagpuntn en $X > L_{neer}$	23
Figuur 6 – Toevoeging blok SPECIAL aan invoerfile	30
Figuur 7 - Voorstelling sluis met situering raaien	32
Figuur 8 – Schematische voorstelling van inkomende en gegenereerde debieten in de verschillende knooppunten	32
Figuur 9 – Uitspreiding vulstraal in de opening in de sluisdeur	38
Figuur 10 – Berekening lengte van de neer voor $hVS, Qn < hVS_{mn} + hVS_{n2}$	40
Figuur 11 – Snelheidsprofiel op locatie X (Vrijburcht <i>et al.</i> , 1988)	42
Figuur 12 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, minimale en maximale waarde van de totale langskracht en procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\Psi_1 = 0,8$) bij variatie coëfficiënt Ψ_1	49
Figuur 13 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 bij $\Psi_1=0,2$, $\Psi_1=0,4$, $\Psi_1=0,8$ en $\Psi_1=1,0$	50
Figuur 14 - Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 bij $\Psi_1=0,2$, $\Psi_1=0,4$, $\Psi_1=0,8$ en $\Psi_1=1,0$	51
Figuur 15 - Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van wrijving, minimale en maximale waarde van de totale langskracht en procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\psi_3 = 0,90$) bij variatie coëfficiënt Ψ_3	53
Figuur 16 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05 en Case06 bij $\Psi_3=0,1$, $\Psi_3=0,8$, $\Psi_3=0,9$ en $\Psi_3=1,0$	54
Figuur 17 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case07, Case08, Case09, Case10, Case11 en Case12 bij $\Psi_3=0,1$, $\Psi_3=0,8$, $\Psi_3=0,9$ en $\Psi_3=1,0$	55
Figuur 18 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $\Psi_3=0,1$, $\Psi_3=0,8$, $\Psi_3=0,9$ en $\Psi_3=1,0$	56
Figuur 19 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt k_{kolk}	57
Figuur 20 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($k_{kolk}=0,0050$) bij variatie coëfficiënt k_{kolk}	58
Figuur 21 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03 en Case04 bij $k_{kolk}=0,0005$, $k_{kolk}=0,0050$ en $k_{kolk}=0,0200$	58

Figuur 22 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10 bij $k_{kolk}=0,0005$, $k_{kolk}=0,0050$ en $k_{kolk}=0,0200$	59
Figuur 23 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $k_{kolk}=0,0005$, $k_{kolk}=0,0050$ en $k_{kolk}=0,0200$	60
Figuur 24 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt k_{ship}	62
Figuur 25 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($k_{ship}=0,0050$) bij variatie coëfficiënt k_{ship}	63
Figuur 26 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case01 en Case02 bij $k_{ship}=0,0015$, $k_{ship}=0,0025$, $k_{ship}=0,0050$ en $k_{ship}=0,0100$	63
Figuur 27 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case03, Case04, Case05, Case06, Case07 en Case08 bij $k_{ship}=0,0015$, $k_{ship}=0,0025$, $k_{ship}=0,0050$ en $k_{ship}=0,0100$	64
Figuur 28 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case09, Case10, Case11, Case12, Case13 en Case14 bij $k_{ship}=0,0015$, $k_{ship}=0,0025$, $k_{ship}=0,0050$ en $k_{ship}=0,0100$	65
Figuur 29 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case15 en Case16 bij $k_{ship}=0,0015$, $k_{ship}=0,0025$, $k_{ship}=0,0050$ en $k_{ship}=0,0100$	66
Figuur 30 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt CE_1	67
Figuur 31 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($CE_1=0,07$) bij variatie coëfficiënt CE_1	68
Figuur 32 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03 en Case04 bij $CE_1=0,01$, $CE_1=0,07$ en $CE_1=0,14$	68
Figuur 33 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10 bij $CE_1=0,01$, $CE_1=0,07$ en $CE_1=0,14$	69
Figuur 34 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case11, Case12; Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $CE_1=0,01$, $CE_1=0,07$ en $CE_1=0,14$	70
Figuur 35 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt CE_2	72
Figuur 36 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($CE_2=0,40$) bij variatie coëfficiënt CE_2	73
Figuur 37 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03 en Case04 bij $CE_2=0,05$, $CE_2=0,40$ en $CE_2=0,80$	73
Figuur 38 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10 bij $CE_2=0,05$, $CE_2=0,40$ en $CE_2=0,80$	74
Figuur 39 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $CE_2=0,05$, $CE_2=0,40$ en $CE_2=0,80$	75
Figuur 40 – Minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01 en berekend met vul_sluis release 01.52.00 modA...	80

Figuur 41 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modA ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.....	81
Figuur 42 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case01, Case02 en Case04 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modA.	81
Figuur 43 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case06, Case07 Case09, Case10; Case11 en Case12 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modA.....	82
Figuur 44 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modA.	83
Figuur 45 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.....	85
Figuur 46 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC, vul_sluis release 01.52.00 modO ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.....	86
Figuur 47 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC, vul_sluis release 01.52.00 modO ten opzichte van vul_sluis release 01.51.00.	87
Figuur 48 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01 en Case02 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.....	87
Figuur 49 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case04, Case06, Case07, Case09, Case10 en Case11 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.....	88
Figuur 50 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.....	89
Figuur 51 – Variatie in de tijd van totale kracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.....	90
Figuur 52 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.....	94
Figuur 53 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.....	95
Figuur 54 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.....	96

Figuur 55 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.....	97
Figuur 56 – Variatie in de tijd van totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case 16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.....	98
Figuur 57 – Minimale en maximale waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modF.....	101
Figuur 58 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modF ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.....	101
Figuur 59 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, impulsafname en totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modF.....	102
Figuur 60 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, impulsafname en de totale langskracht voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modF.....	103
Figuur 61 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.....	106
Figuur 62 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.....	107
Figuur 63 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.....	108
Figuur 64 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.....	109
Figuur 65 – Variatie in de tijd van de totale langskracht voor Case01, Case02; Case04, Case06, Case07, Case09; Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.....	110
Figuur 66 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 en vul_sluis release 01.52.00 modL.....	113
Figuur 67 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modK en vul_sluis release 01.52.00 modL ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.....	114

Figuur 68 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modK, en vul_sluis release 01.52.00 modL.	115
Figuur 69 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modK, en vul_sluis release 01.52.00 modL.	116
Figuur 70 – Variatie in de tijd van de totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13 en Case15 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modK en vul_sluis release 01.52.00 modL.....	117
Figuur 71 – Detail van variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en variatie in de tijd van $\partial q \partial t$ voor Case10 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN.....	119
Figuur 72 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en variatie in de tijd van $\partial q \partial t$ voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05; Case06, Case07, Case08, Case09, Case10, Case11 en Case 12 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN	120
Figuur 73 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en variatie in de tijd van $\partial q \partial t$ voor Case13, Case14, Case 15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN.....	121
Figuur 74 – Variatie interne parameters m.b.t. damping langskracht translatiegolven voor Case01, Case02 en Case03	126
Figuur 75 – Variatie interne parameters m.b.t. damping langskracht translatiegolven voor Case04, Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10	127
Figuur 76 – Variatie interne parameters m.b.t. damping langskracht translatiegolven voor Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16.....	128
Figuur 77 – Variatie hydraulische straal en Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie beïnvloed door de wrijving met de kolkwanden voor Case01, Case02, Case03, Case04 en Case05.....	129
Figuur 78 – Variatie hydraulische straal en Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie beïnvloed door de wrijving met de kolkwanden voor Case06, Case07, Case08, Case09, Case10 en Case11.	130
Figuur 79 – Variatie hydraulische straal en Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie beïnvloed door de wrijving met de kolkwanden voor Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16.....	131
Figuur 80 – Vergelijking Chézy-coëfficiënt berekend met de benadering door de formule van Strickler met deze berekend met de formule van White-Colebrook.....	133
Figuur 81 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case01 en Case02	137
Figuur 82 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case04 en Case06	138
Figuur 83 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case07 en Case09	139
Figuur 84 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case10 en Case11	140
Figuur 85 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case12 en Case13	141
Figuur 86 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case15 en Case16	142
Figuur 87 – Ontwikkeling van een naar de bodem gerichte straal.....	144
Figuur 88 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case01	150

Figuur 89 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case02	151
Figuur 90 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case04	152
Figuur 91 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case06	153
Figuur 92 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case07	154
Figuur 93 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case09	155
Figuur 94 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case10	156
Figuur 95 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case11	157
Figuur 96 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case12	158
Figuur 97 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case13	159
Figuur 98 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case15	160
Figuur 99 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case16	161
Figuur 100 – Invloed extra uitvoerpunten op de langskracht ten gevolge van translatiegolven voor Case01 en Case02 berekend met vul_sluis release 01.30.02, vul_sluis release 01.42.vA.05 en vul_sluis release 01.53.00.....	163
Figuur 101 – Vergelijking waterspiegelhelling tussen extra uitvoerpunten voor Case09 en Case10 berekend met vul_sluis release 01.51.00 en vul_sluis release 01.53.00.....	164
Figuur 102 – Vergelijking locatie omslagpunt voor Case01 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.53.00.	165
Figuur 103 – Vergelijking locatie omslagpunt voor Case10 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.53.00.	166
Figuur 104 – Variatie in de tijd van interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case13 berekend met vul_sluis release 01.53.00 – Breekb = J	169
Figuur 105 – Variatie in de tijd van interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case13 berekend met vul_sluis release 01.53.00 – Breekb = N	170
Figuur 106 – Invloed Breekb = J en Breekb = N op de variatie in de tijd van de componenten van de langskracht en de totale langskracht voor Case 13.....	171
Figuur 107 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case03 en Case04 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.....	174
Figuur 108 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case05, Case06, Case07 en Case08 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.....	175

Figuur 109 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case09, Case10, Case11 en Case12 met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.	176
Figuur 110 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case13, Case14, Case15 en Case16 met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.	177
Figuur 111 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05, Case06, Case07 en Case08 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.....	178
Figuur 112 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip voor Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.....	179
Figuur 113 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case01 en Case02 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00.....	182
Figuur 114 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00	183
Figuur 115 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case10, Case11, Case12 en Case13 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00	184
Figuur 116 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00.....	185
Figuur 117 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case08, Case09, Case10 en Case11 berekend met vul_sluis release 01.53.01, en vul_sluis release 01.54.00.....	190
Figuur 118 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking voor Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.53.01, en vul_sluis release 01.54.00.....	191
Figuur 119 – Variatie in de tijd van totale langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case04 en Case06 berekend met release 01.53.01 en vul_sluis release 01.54.00	191
Figuur 120 – Variatie in de tijd van totale langskracht op het schip voor Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met release 01.53.01 en vul_sluis release 01.54.00	192
Figuur 121 – Schematische voorstelling releases programma vul_sluis	B6
Figuur 122 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case01	B7
Figuur 123 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case02	B8
Figuur 124 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case04	B9
Figuur 125 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case06	B10
Figuur 126 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case07	B11
Figuur 127 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case09	B12
Figuur 128 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case10	B13
Figuur 129 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case11	B14
Figuur 130 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case12	B15

Figuur 131 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case13	B16
Figuur 132 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case15	B17
Figuur 133 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case16	B18

Gebruikte notatie

α	Hoek boeg in het verticale vlak	[°]
β	Hoek boeg in het horizontale vlak	[°]
δ_1	Afstand tot de bodem van het punt in het snelheidsprofiel waarvoor de stroomsnelheid gelijk is aan de helft van de maximale stroomsnelheid	[m]
$\frac{\delta Q_{VO}^n}{\delta t}$	Helling van de debietscurve na n tijdstappen	[m³/s²]
Δt	Tijdstap	[s]
μ	Gemiddelde	[m]
ρ_w	Dichtheid van water	[kg/m³]
σ	Standaarddeviatie	[m]
ϕ	Hoek tussen de straalsas en de horizontale	[°]
ψ_1	Coëfficiënt voor drukverlaging ten gevolgen van afstromend water	[-]
ψ_2	Coëfficiënt die aangeeft welk deel van de impuls van de straal tegen de boeg gaat	[-]
A_{VO}^n	Oppervlakte vulopeningen na n tijdstappen	[m²]
$A_{VO,max}$	Maximale totale oppervlakte van de vulopeningen in de sluisdeur	[m²]
$A_{VS,boeg}^n$	Oppervlak van de vulstraal ter hoogte van de boeg na n tijdstappen	[m²]
$A_{VS,BBmax}$	Maximale totale oppervlakte van de vulstraal juist na de breekbalken	[m²]
$A_{VSschip,boeg}^n$	Oppervlak van het gedeelte van de vulstraal dat tegen de boeg gaat na n tijdstappen	[m]
b_k	Breedte sluiskolk	[m]
b_s	Breedte schip	[m]
C_1, C_2	Constante	[-]
C_b	Blok-coëfficiënt schip	[-]
C_c^n	Waarde van de contractiecoëfficiënt na n tijdstappen	[-]
CE	Coëfficiënt in e-macht bij demping van oscillaties	[-]
CE_1	Coëfficiënt CE_1 in formulering voor CE	[-]
CE_2	Coëfficiënt CE_2 in formulering voor CE	[-]
C_{Kr1}^n	Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden	[m ^{1/2} /s]
d_s	Diepgang schip	[m]
D_{VO}	Diameter van de cirkelvormige opening	[m]
F_{KW}^n	Deel van de langskracht ten gevolge wrijving op de kolkwanden	[N]
F_{SW}^n	Deel van de langskracht ten gevolge wrijving op de romp van het schip	[N]
FP^n	Gemiddelde kracht ten gevolge van translatiegolven ten behoeve van demping na n tijdstappen	[-]
$F_{x,transl}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen	[-]
$F_{x,transl}^{n-1}$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n-1 tijdstappen	[-]
$F_{x,transl}^{n-2}$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n-2 tijdstappen	[-]
$F_{x,transl+sm}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen na smoothing van de oscillaties	[-]

$F_{x,transl+sm}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen na smoothing van de oscillaties	[-]
$F_{x,transl+sm+d}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen na smoothing en damping van de oscillaties	[-]
$F_{x,vulstraal}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van de vulstraalwerking na n tijdstappen	[-]
$F_{x,wrijving}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van wrijving na n tijdstappen	[-]
g	Valversnelling (= 9,81 m/s ²)	[m/s ²]
h_2^n	Afstand tussen de onderzijde van de vulopening en het wateroppervlak	[m]
h_B^n	Waterhoogte ter plaatse van sectie B (juist voor boeg) na n tijdstappen	[m]
h_C^n	Waterhoogte ter plaatse van sectie C (juist na boeg) na n tijdstappen	[m]
h_D^n	Waterhoogte ter plaatse van sectie D (juist voor hek) na n tijdstappen	[m]
h_E^n	Waterhoogte ter plaatse van sectie E (juist na hek) na n tijdstappen	[m]
h_{HS}^n	Hefhoogte hefschuif na n tijdstappen	[m]
h_K^n	Waterhoogte in sluiskolk na n tijdstappen	[m]
h_{VS}^n	Hoogte van de vulstraal juist na de opwaartse deur na n tijdstappen	[m]
$h_{VS,boeg}^n$	Hoogte van de vulstraal ter hoogte van de boeg na n tijdstappen	[m]
$h_{VS,m}^n$	Hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal juist na de vuldeur na n tijdstappen	[m]
$h_{VS,XA}^n$	Hoogte boven de bodem van de bovenste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m]
$h_{VS,XB}^n$	Hoogte boven de bodem van de bovenste begrenzing van potential core na n tijdstappen voor een punt X meter verwijderd van de opwaartse deur	[m]
$h_{VS,XC}^n$	Hoogte boven de bodem van de onderste begrenzing van potential core na n tijdstappen voor een punt X meter verwijderd van de opwaartse deur	[m]
$h_{VS,XD}^n$	Hoogte boven de bodem van de onderste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m]
$i_{VS,X}^n$	Impuls (per dichtheid en per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m ⁴ /s/m]
$i_{VS,X}^n$	Impuls (per dichtheid en per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X	[m ⁴ /s/m]
$I_{VS,boeg}^n$	Impuls (per dichtheid) van de vulstraal ter plaatse van de boeg na n tijdstappen	[m ⁴ /s ²]
k_{kolk}	Ruwheidslengte van de kolkwanden	[m]
k_{schip}	Ruwheidslengte van de romp van het schip	[m]
l_K	Lengte sluiskolk	[m]
L_{neer}	Lengte van de neer	[m]
l_s	Lengte schip	[m]
m_s	Massa schip	[kg]
q_{VO}^n	Debiet door de vulopeningen (per eenheidsbreedte) na n tijdstappen	[m ³ /s/m]
Q_{VO}^n	Debiet door de vulopeningen na n tijdstappen	[m ³ /s]
Q_{VO}^x	Debiet door de vulopeningen na x tijdstappen	[m ³ /s]
$q_{VS,X}^n$	Debiet in de vulstraal (per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m ³ /s/m]
$q_{VS,X1}^n$	Debiet in de vulstraal (per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m ³ /s/m]
$q_{VS,X2}^n$	Debiet in de vulstraal (per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m ³ /s/m]

R_{Kr1}^n	Hydraulische straal van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden	[m]
T_K^n	Eigenperiode van de sluiskolk na n tijdstappen	[s]
u	Stroomsnelheid	[m/s]
$U_{VS,X}^n$	Stroomsnelheid op hoogte Y in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m/s]
$U_{VS,Xmax}^n$	Maximale waarde van de stroomsnelheid in de Y-richting in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m/s]
X	Afstand tot de opwaartse sluisdeur	[m]
X_{boeg}	X-coördinaat van boeg tot vuldeur	[m]
$X_{VS,B}^n$	X-coördinaat van de begrenzing van de potential core, punt B genoemd, na n tijdstappen.	[m]
$X_{VS,G}^n$	X-coördinaat van het punt G waar de rechte met helling 1:4 vanuit het middelpunt van de straal (ter hoogte van de opwaartse deur) de bodem van de kolk/oppervlak snijdt.	[m]
$X_{VS,L}^n$	X-coördinaat van het punt L.	
$X_{VS,R}^n$	X-coördinaat van het punt R waar de rechte met helling 1:6 vanuit de onderkant/bovenkant van de straal (ter hoogte van de opwaartse deur) de bodem van de kolk/oppervlak snijdt.	[m]
$X_{VS,omslagpunt}^n$	X-coördinaat van het punt waar gebied 1 van de menglaag overgaat in gebied 2	[m]
$X_{VS,omslagpunt2}^n$	Locatie van het omslagpunt berekend met de formulering uit (Rajaratnam & Subramanya, 1986).	[m]
Z_b	Bodempeil sluiskolk	[mZref]
Z_{BB}	Peil bovenkant breekbalken	[mZref]
Z_{ov}	Peil onderzijde opening	[mZref]
$Z_{VS,boegmax}^n$	Peil van het hoogste punt van de vulstraal (ter plaatse van de boeg) na n tijdstappen	[mZref]
$Z_{VS,boegmax1}^n$	Hulpvariabele 1 voor het berekenen van $Z_{VS,boegmax}^n$	[mZref]
$Z_{VS,boegmax2}^n$	Hulpvariabele 2 voor het berekenen van $Z_{VS,boegmax}^n$	[mZref]
Z_K^n	Waterstand in de sluiskolk na n tijdstappen	[mZref]
zone	Zone voor de berekening van $h_{VS,Xa}^n$, $h_{VS,Xb}^n$, $h_{VS,Xc}^n$ en $h_{VS,Xd}^n$	[-]

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 van openingen in de bodem.

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 van de langskracht ten gevolge van translatiegolven in de sluiscolk.
- De component van de langskracht ten gevolge van impulsafname door de stroming in de langsrichting van de colk.
- De component van de langskracht ten gevolge van wrijving door de stroming tegen het schip en de colkwanden.
- De component van de langskracht ten gevolge van het botsen van de straal uit de openingen tegen de boeg van het schip.
- De component van de langskracht 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.

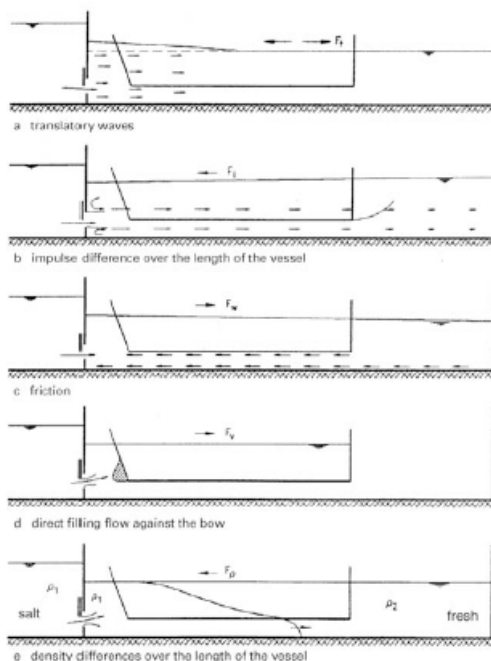


Figure 6.6 Components of the longitudinal force during filling

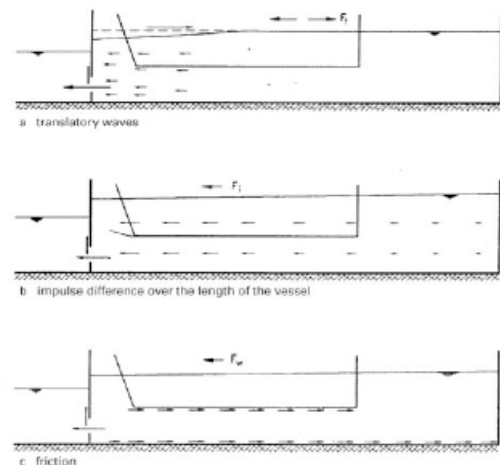


Figure 6.7 Components of the longitudinal force during emptying

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. Het programma vul_sluis beschrijft in geschematiseerde

vorm het vul- en ledigingsproces van een schutsluis bij vullen 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 niet beschouwd bij de ontwikkeling van het programma vul_sluis.

De ontwikkeling 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 (in het vervolg van dit rapport ook kortweg versie A en versie B genoemd). Deze beide versies van vul_sluis geven identiek dezelfde resultaten wat betreft het debiet door de vulopeningen, de variatie van het waterpeil in de sluiskolk en de optredende end-to-end waterspiegelhellingen. De verschillen tussen de beide versies betreffen de formulering voor het berekenen van de langskrachten op het schip. Uit de validatie volgt dat de resultaten van release 01.42.vB.08 het beste overeenkomen met deze van het Nederlandse programma LOCKFILL.

De ontwikkeling en eerste validatie van het programma vul_sluis is gerapporteerd in volgende rapporten:

- Deelrapport 1 - Opmaak en validatie programma vul_sluis (Verelst *et al.*, 2014).
- Deelrapport 2 - Verder testen en ontwikkelen programma vul_sluis (Verelst *et al.*, 2016a).
- Deelrapport 3 - Uitbreiding programma vul_sluis (Verelst *et al.*, 2016b)

Bij opmaak van deze rapporten en uit de externe revisie ervan zijn een aantal opmerkingen, aanbevelingen of verbeterpunten naar boven gekomen. Deze omvatten enerzijds een aantal aanbevelingen waarbij de wijziging van bepaalde invoerparameters of formuleringen in de code op de simulatieresultaten wordt gesuggereerd. Anderzijds zijn ook een aantal aanbevelingen geformuleerd tot verder onderzoek naar de range van waarden die kunnen voorkomen voor bepaalde variabelen, die intern in het programma gebruikt worden. Dit rapport beschrijft in detail de resultaten van het onderzoek naar deze opmerkingen, aanbevelingen of verbeterpunten met betrekking tot het programma vul_sluis.

Voor dit onderzoek zijn 16 karakteristieke cases geselecteerd uit de validatiesimulaties voor het programma vul_sluis en uit simulaties van projecten waarvoor WL recent het ontwerp van het nivelleersysteem heeft uitgevoerd. Deze 16 karakteristieke cases worden beschreven in hoofdstuk 2.

Alvorens simulaties uit te voeren voor deze 16 karakteristieke cases zijn een aantal wijzigingen aan de code van het programma vul_sluis uitgevoerd. Deze wijzigingen worden beschreven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 worden de simulaties beschreven, die met de beschouwde cases uitgevoerd zijn om de gevoeligheid van een aantal algemene parameters uit de invoerfile van het programma vul_sluis op de berekende langskrachten op het schip na te gaan.

Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van simulaties voor de 16 karakteristieke cases, waarbij in de code van het programma vul_sluis een aantal wijzigingen, i.e. het oplossen van fouten in de code of andere gewijzigde formuleringen, zijn doorgevoerd. Voor elke wijziging wordt in dit hoofdstuk de invloed op de resultaten van de betreffende case nagegaan.

Daarna is de variatie in de tijd van een aantal interne variabelen in het programma vul_sluis nagegaan voor deze 16 cases. De resultaten hiervan zijn beschreven in hoofdstuk 6. In dit hoofdstuk wordt getracht om het ontstaan van sprongen in de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname te onderzoeken.

Op basis van de resultaten van de analyses in hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 zijn daarna vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01 gedefinieerd. De invloed van de aanpassingen aan de code van deze release van vul_sluis op de resultaten voor de 16 geselecteerde cases wordt onderzocht in hoofdstuk 7 van dit rapport.

Na een eerste review van dit rapport door de Universiteit Gent is een studieopdracht met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraat uitgeschreven aan de Universiteit Gent. In deze studieopdracht zijn de formuleringen voor de berekening van het debiet en impuls in de vulstraat opnieuw afgeleid aan de hand van literatuur met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraat uit Vrijburcht (1988). De resultaten hiervan zijn beschreven in Schindfessel & De Mulder (2017). Hierbij werd ook de subroutine vul_sluis_impuls_straal_LvH.m opgeleverd, dewelke de berekening van debiet en impuls in de vulstraat uitvoert. Deze nieuwe subroutine is ingebouwd in het programma vul_sluis en heeft geleid tot vul_sluis release 01.54.00. De invloed van de gewijzigde berekening van debiet en impuls in de vulstraat op de berekende langskrachten op het schip voor de 16 in dit rapport beschouwde cases is beschreven in hoofdstuk 8.

Hoofdstuk 9 vat de conclusies van dit rapport samen.

2 Geselecteerde cases voor analyses

Voor de simulaties en analyses in dit rapport zijn 16 karakteristieke cases geselecteerd.

Vooreerst zijn Case01 tot en met Case08 geselecteerd uit de cases die als eerste validatie bij de opmaak van het programma vul_sluis zijn beschouwd. Uit Verelst *et al.* (2014) zijn niet alle validatiecases beschouwd, maar een selectie, zodat alle types nivellerings en types nivelleersystemen in deze selectie aanwezig zijn.

Deze acht cases zijn aangevuld met twee simulaties voor nivelleersystemen van sluizen, waarvoor WL in het verleden terreinmetingen heeft uitgevoerd (Case09 voor de Vandammesluis en Case10 voor de sluis van Evergem).

Daarnaast zijn Case11 tot en met Case15 beschouwd uit projecten waarvoor WL recent het ontwerp van het nivelleersysteem heeft uitgevoerd, namelijk het ontwerp van het nivelleersysteem voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve en de sluis te Denderbelle. Voor de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve is zowel een simulatie uit het eerste ontwerp met een sluis met breedte 12,5 m beschouwd, als een simulatie uit het latere ontwerp met een sluis met breedte van 16,0 m. Enerzijds kan het gewijzigde nivelleersysteem als reden hiervoor aangehaald worden. Anderzijds is het ontwerpschip (CEMT klasse Vb) voor de beide breedtes hetzelfde. Dit maakt dat bij een breedte van 12,5 m de component van de impulsafname een grotere aandeel in de totaalcracht heeft dan bij een breedte van 16,0 m. Voor de sluis van Denderbelle is één simulatie voor vullen en één simulatie voor ledigen van de sluiskolk bij beroepsvaart (CEMT klasse IV) in de kolk en één simulatie voor vullen van de sluiskolk met recreatievaart in de kolk geselecteerd.

Als laatste case is een simulatie beschouwd waarbij (op prototype-schaal) één schaalmodelproef voor de nieuwe sluis te Terneuzen wordt gesimuleerd. De schaalmodelproeven zelf zijn uitgevoerd door Deltares en gerapporteerd in Dos Santos Nogueira *et al.* (2016). Het betreft een proef zonder dichtheidsverschillen waarbij de nieuwe sluis te Terneuzen (lengte 427 m, breedte 55 m) gevuld wordt via 12 cirkelvormige openingen diameter 2.20 m in de roldeur afgesloten met hefschuiven. Deze simulatie is beschouwd aangezien het een zeesluis betreft met een groot zeeschip (265,0 m x 40,0 m x 12,5 m) in de sluiskolk. Dit in tegenstelling tot de simulatie voor de Vandammesluis, waarbij een kleiner binnenvaartschip in de sluiskolk aanwezig is.

Tabel 1 geeft een overzicht van de geselecteerde cases. In deze tabel zijn ook de referenties en de figuurnummers of de naam van de simulaties uit deze referenties vermeld.

Tabel 1 – Overzicht geselecteerde cases

Case nr.	Type nivelleersysteem	Type nivellering	Naam voorbeeld / naam sluis	Referentie	Figuur nr. / Naam simulatie
1	Rechthoekige openingen afgesloten met hefschuiven	Vullen	LOCKFILL	<i>Waterloopkundig Laboratorium (1994a)</i>	Figuur 10
2		Vullen	Royerssluis	<i>Schwanenberg & Jongeling (2003)</i>	Simulatie A1
3		Ledigen	Royerssluis	<i>Schwanenberg & Jongeling (2003)</i>	Simulatie A21
4	Cirkelvormige openingen afgesloten met vlinderkleppen	Vullen	LOCKFILL	<i>Waterloopkundig Laboratorium (1994b)</i>	Figuur 22
5		Ledigen	LOCKFILL	<i>Waterloopkundig Laboratorium (1994b)</i>	Figuur 23
6		Vullen	Royerssluis	<i>Schwanenberg & Jongeling (2003)</i>	Simulatie A3
7		Vullen	Royerssluis	<i>Schwanenberg & Jongeling (2003)</i>	Simulatie A11
8		Ledigen	Royerssluis	<i>Schwanenberg & Jongeling (2003)</i>	Simulatie A23
9		Vullen	Vandammesluis	<i>Vercruysse et al. (2012)</i>	Nivellering 18
10	Cirkelvormige openingen afgesloten met hefschuiven	Vullen	Evergem	<i>Vercruysse et al. (2011)</i>	Nivellering 12
11		Vullen	Sint-Baafs-Vijve b = 12,5 m	<i>Vercruysse et al. (2014)</i>	Geometrie 5 - Openingswet 5
12	Rechthoekige openingen afgesloten met hefschuiven	Vullen	Sint-Baafs-Vijve b = 16,0 m	<i>Vercruysse et al. (2016)</i>	Simulatie 27
13		Vullen	Denderbelle	<i>Verelst et al. (2016c)</i>	Simulatie Hsr09
14		Ledigen	Denderbelle	<i>Verelst et al. (2016c)</i>	Simulatie Hsr15
15		Vullen	Denderbelle	<i>Verelst et al. (2016c)</i>	Simulatie Hsr12
16	Cirkelvormige openingen afgesloten met hefschuiven	Vullen	Terneuzen	<i>Dos Santos Nogueira et al. (2016)</i>	Proef T1.12

Voor al deze cases geeft Tabel 2 een overzicht van de invoergegevens. Om de omvang van de tabel te beperken zijn de waarden voor de afvoercoëfficiënt van de openingen en de openingswetten van de schuiven / kleppen afzonderlijk gegeven in Tabel 3 en Tabel 4.

Tabel 2 – Overzicht invoergegevens voor de geselecteerde cases

		Case01	Case02	Case03	Case04	Case05	Case06	Case07	Case08	Case09	Case10	Case11	Case12	Case13	Case14	Case15	Case16
		LOCKFILL figuur 10	Royerssluis simulatie A1	Royerssluis simulatie A21	LOCKFILL figuur 22	LOCKFILL figuur 23	Royerssluis simulatie A3	Royerssluis simulatie A11	Royerssluis simulatie A23	Vandamme- sluis nivellering18	Evergem nivellering12	Sint-Baafs-Vijve b=12,5m Geometrie 5 openingswet 5	Sint-Baafs-Vijve b=16,0m Simulatie27	Denderbelle simulatie HSr09	Denderbelle simulatie HSr15	Denderbelle simulatie HSr12	Terneuzen Proef T1.12
Type		Vullen	Vullen	Ledigen	Vullen	Ledigen	Vullen	Vullen	Ledigen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Vullen	Ledigen	Vullen	Vullen
ALGEMEEN																	
Referentievlak	ref	NAP	TAW	TAW	NAP	NAP	TAW	TAW	TAW	TAW	TAW	TAW	TAW	TAW	TAW	TAW	NAP
Tijdsstap	s	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Valversnelling	m/s²	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
Dichtheid water	kg/m³	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Coëfficiënt drukopbouw	-	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Coëfficiënt ontwikkeling grenslaag	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Coëfficiënt 1 voor damping translatiegolven	-	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Coëfficiënt 2 voor damping translatiegolven	-	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
OPWAARTS KANAALPAND																	
Peil opwaarts pand	[mZref]	1.00	4.40	-1.00	1.00	-2.00	4.40	4.40	-1.00	3.60	5.73	8.00	8.00	5.83	3.45	5.83	2.19
SLUISKOLK																	
Lengte sluiskolk	[m]	200.0	182.5	182.5	200.0	200.0	182.5	182.5	182.5	473.0	256.6	258.1	259.0	130.0	130.0	130.0	427.0
Breedte sluiskolk	[m]	16.0	22.0	22.0	16.0	16.0	22.0	22.0	22.0	57.0	25.0	12.5	16.0	10.5	10.5	10.5	55.0
Bodempeil sluiskolk	[mZref]	-5.70	-6.33	-6.33	-5.70	-5.70	-6.33	-6.33	-6.33	-15.19	-0.55	0.90	0.91	-0.78	-0.78	-0.78	-17.00
Initiele waterstand kolk	[mZref]	-2.00	-1.00	4.40	-2.00	1.00	-1.00	-1.00	4.40	2.34	4.62	5.61	5.11	3.45	5.83	3.45	-2.67
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			JOWI	JOWI			JOWI	JOWI	JOWI			CEMT Vb	CEMT Vb	CEMT IV	CEMT IV	Recreatievaart	Bulkcarrier
Lengte	[m]	110.00	135.50	135.50	110.00	110.00	135.50	135.50	135.50	82.00	99.00	185.00	185.00	105.00	105.00	12.00	265.00
Breedte schip	[m]	11.40	16.84	16.84	11.40	11.40	16.84	16.84	16.84	11.50	9.57	11.40	11.40	9.50	9.50	3.40	40.00
Diepgang	[m]	2.80	3.20	3.20	2.80	2.80	3.20	3.20	3.20	4.29	2.70	3.50	3.50	3.00	3.00	1.40	12.50
Massa	[ton]	2890.0	6500.0	6500.0	2890.0	2890.0	6500.0	6500.0	6500.0	3236.4	2302.0	6000.0	6000.0	2385.0	2385.0	21.7	98436.0
Hoek boeg in de verticale	[°]	90	90	90	90	90	90	90	90	45	90	21	21	90	90	90	90
Hoek boeg in de horizontale	[°]	45	45	45	45	45	45	45	45	90	45	90	90	45	45	45	60
Afstand boeg tot vuldeur	[m]	7.5	10.0	10.0	7.5	7.5	10.0	10.0	10.0	55.0	7.5	7.0	5.1	5.0	5.0	5.0	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
HEFSCHUIVEN																	
Maximale hoogte vulopeningen	[m]	1.10	1.30	1.50	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.20	1.35	1.05	0.90	0.90	0.90	2.20
Type vulopeningen	[-]	Rechthoekig	Rechthoekig	Rechthoekig	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Cirkelvormig	Cirkelvormig	Rechthoekig	Rechthoekig	Rechthoekig	Rechthoekig	Cirkelvormig
Totale breedte openingen	[m]	10.50	15.05	8.60	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	11.34	5.40	5.40	5.40	n.v.t.
Aantal cirkelvormige 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.	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.	1.20	1.35	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	2.20
Afvoercoëfficiënt (i.f.v. relatieve hefhoogte)	[-]	H1	H1	H1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	H2	H2	H3	H3	H3	H3	H4
Openingssnelheid vh	[m/s]	OC1	OC2	OC3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	OC9	OC10	OC11	OC12	OC13	OC12	OC14
VLINDERKLEPPEN																	
Aantal vlinderkleppen	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	8	8	8	8	8	5	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.	1.40	1.40	1.80	1.40	1.40	1.80	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.	90	90	0	0	0	0	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.	0	0	90	90	90	90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Minimale klephoek	[°]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	10	10	8	8	0	0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Afvoercoëfficiënt (i.f.v. relatieve klepstand)	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	V1	V1	V1	V1	V1	V1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Openingssnelheid vh	[°/s]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	OC4	OC4	OC5	OC6	OC7	OC8	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Breekbalken		J/N	J	J	J	J	J	J	J	N	J	J	J	J	J	J	J
Niveau bovenkant vulopeningen	[mZref]	-3.50	-3.83	-3.63	-3.50	-3.50	-3.43	-3.83	-3.83	n.v.t.	0.90	2.45	2.14	1.05	1.05	1.05	-9.30
Oppervlakte vulstraal juist na breekbalken	[m²]	16.00	27.40	18.06	16.00	16.00	24.42	14.77	14.77	n.v.t.	13.57	10.31	14.29	4.86	4.86	4.86	45.60
Hoek van de vulstraal met de horizontale	[°]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Niveau onderkant vulopeningen	[mZref]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-13.34	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Contractiecoëfficiënt	[-]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0.6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Deurkas Roldeur		J/N	N	N	N	N	N	N	N	J	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.	0	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.	1694	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Extra uitvoerpunten		J/N	N	N	N	N	N	N	N	J	J	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.	54.3	2.7	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.	413.3	233.1	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 3 – Toegepaste waarden voor de afvoercoëfficiënt voor de verschillende cases

H1		H2		H3		H4		V1	
Relatieve Hefhoogte	Afvoercoëfficiënt	Relatieve Hefhoogte	Afvoercoëfficiënt	Relatieve Hefhoogte	Afvoercoëfficiënt	Relatieve Hefhoogte	Afvoercoëfficiënt	Relatieve klephoek	Afvoercoëfficiënt
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,00	0,70	0,00	0,75	0,00	0,95	0,00	0,880	0,00	0,000
1,00	0,65	0,60	0,75	0,15	0,82	0,15	0,884	0,10	0,005
		0,70	0,71	0,28	0,78	0,20	0,859	0,20	0,023
		0,80	0,69	0,40	0,75	0,50	0,849	0,30	0,061
		0,90	0,69	1,00	0,75	1,00	0,614	0,40	0,115
		1,00	0,65					0,50	0,190
								0,60	0,290
								0,70	0,400
								0,80	0,520
								0,90	0,620
								0,96	0,660
								1,00	0,680

HX: Afvoercoëfficiënt voor openingen afgesloten met hefschuiven; V1: Afvoercoëfficiënt voor openingen afgesloten met vlinderkleppen; Opmerking: Bij openingen afgesloten met vlinderkleppen bevat de afvoercoëfficiënt ook de relatieve oppervlakte van de openingen. Dit verklaart de kleine waarden voor vlinderkleppen bij een relatieve klephoek gelijk aan 0,00.

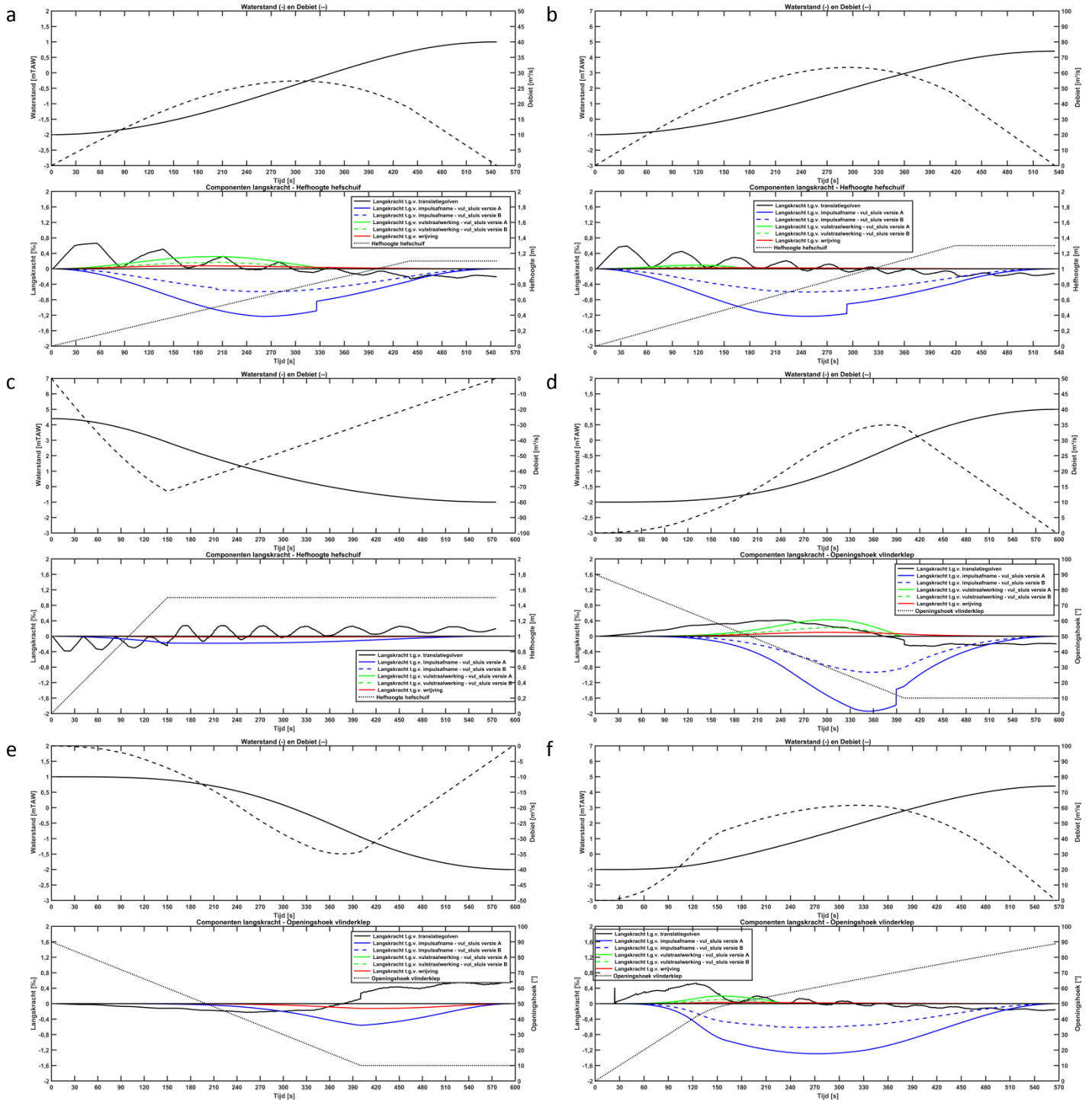
Tabel 4 – Toegepaste openingswetten voor de verschillende cases.

Case	Naam openingswet	Openingssnelheid		Case	Naam openingswet	Openingssnelheid	
Case01	OC1	0,0 0,0025	2000,0 0,0025	Case10	OC9	0,0 0,015	105,0 0,014
Case02	OC2	0,0 0,0031	2000,0 0,0031			17,0 0,015	105,1 0,000
Case03	OC3	0,0 0,0100	2000,0 0,0100			17,1 0,000	133,0 0,000
Case04	OC4	0,0 0,2000	2000,0 0,2000			55,0 0,000	133,1 0,013
Case05						55,1 0,013	146,0 0,013
Case06	OC5	0,0 0,3350	160,0 0,1005	67,0 0,013	165,0 0,000		
		120,0 0,3350	2000,0 0,0900	67,1 0,000	165,1 0,015		
Case07	OC6	0,0 0,395	160,0 0,115		94,0 0,000	2000,0 0,015	
		120,0 0,395	2000,0 0,130		94,1 0,014		
Case08	OC7	0,0 0,620	160,0 1,000	Case11	OC10	0,0 0,0040	350,0 0,0015
		120,0 0,620	2000,0 1,000			90,0 0,0040	380,0 0,0040
Case09	OC8	0,0 0,000	34,5 0,600	Case12	OC11	0,0 0,0030	389,0 0,0010
		2,5 3,160	35,0 0,000			89,0 0,0030	390,0 0,0030
		27,5 3,160	3000,0 0,000			90,0 0,0010	2000,0 0,0030
		29,5 0,600		Case13	OC12	0,0 0,0019	2000,0 0,0019
				Case15			
				Case14	OC13	0,0 0,0140	2000,0 0,0140
				Case16	OC14	0,0 0,0011	137,0 0,0000
						62,5 0,0011	137,1 0,0030
						62,6 0,0000	5500,0 0,0030

Hefschuiven: tijd [s] – Openingssnelheid [m/s]; Vlinderkleppen: tijd [s] – Openingssnelheid [°/s]

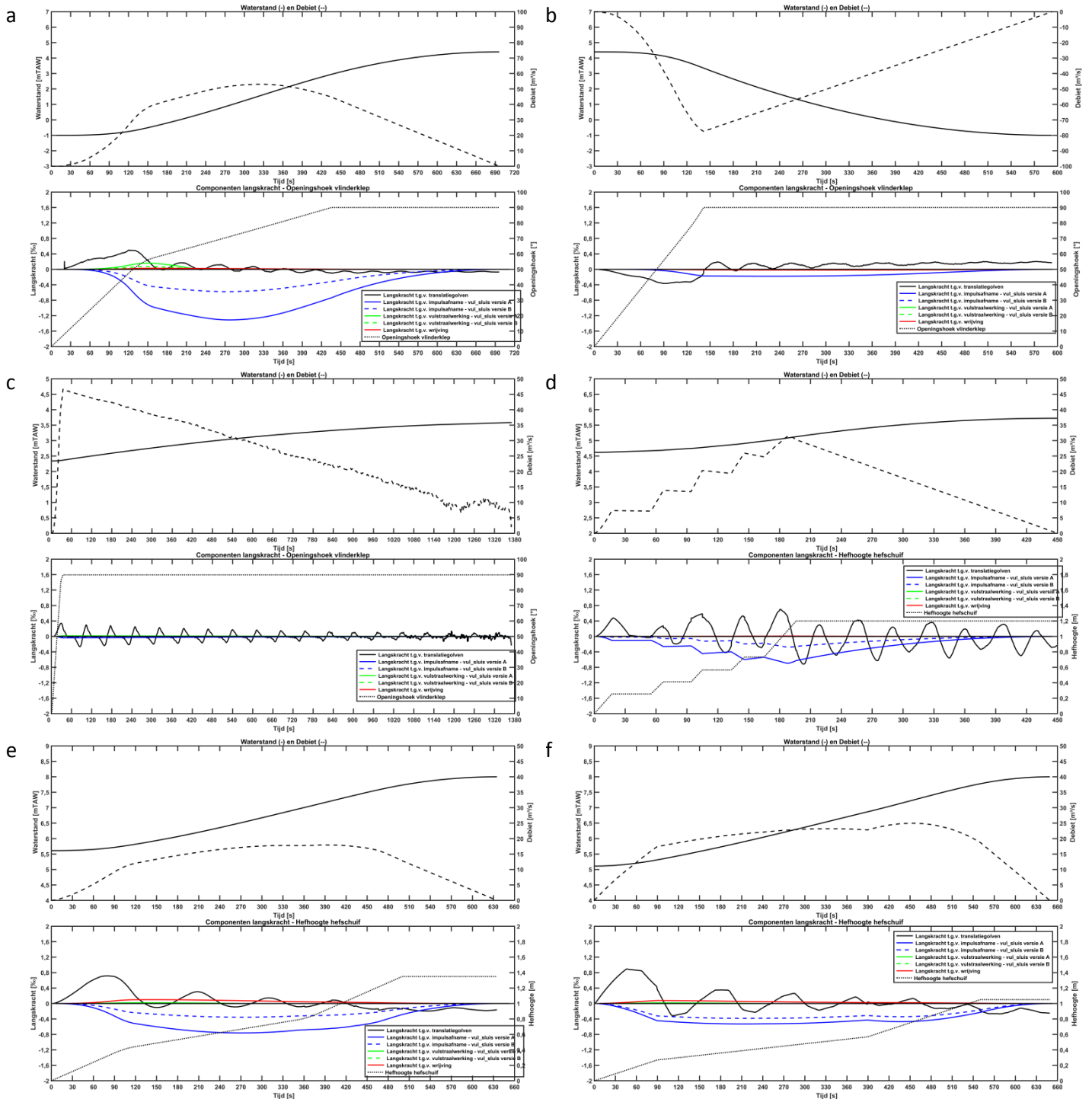
Voor Case01 tot en met Case16 zijn daarna simulaties uitgevoerd met vul_sluis release 01.42.vA.08 en vul_sluis release 01.42.vB.08. Voor al deze simulaties is de variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voorgesteld in Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4.

Figuur 2 – Variatie in de tijd van waterstand, debiet en de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05 en Case06



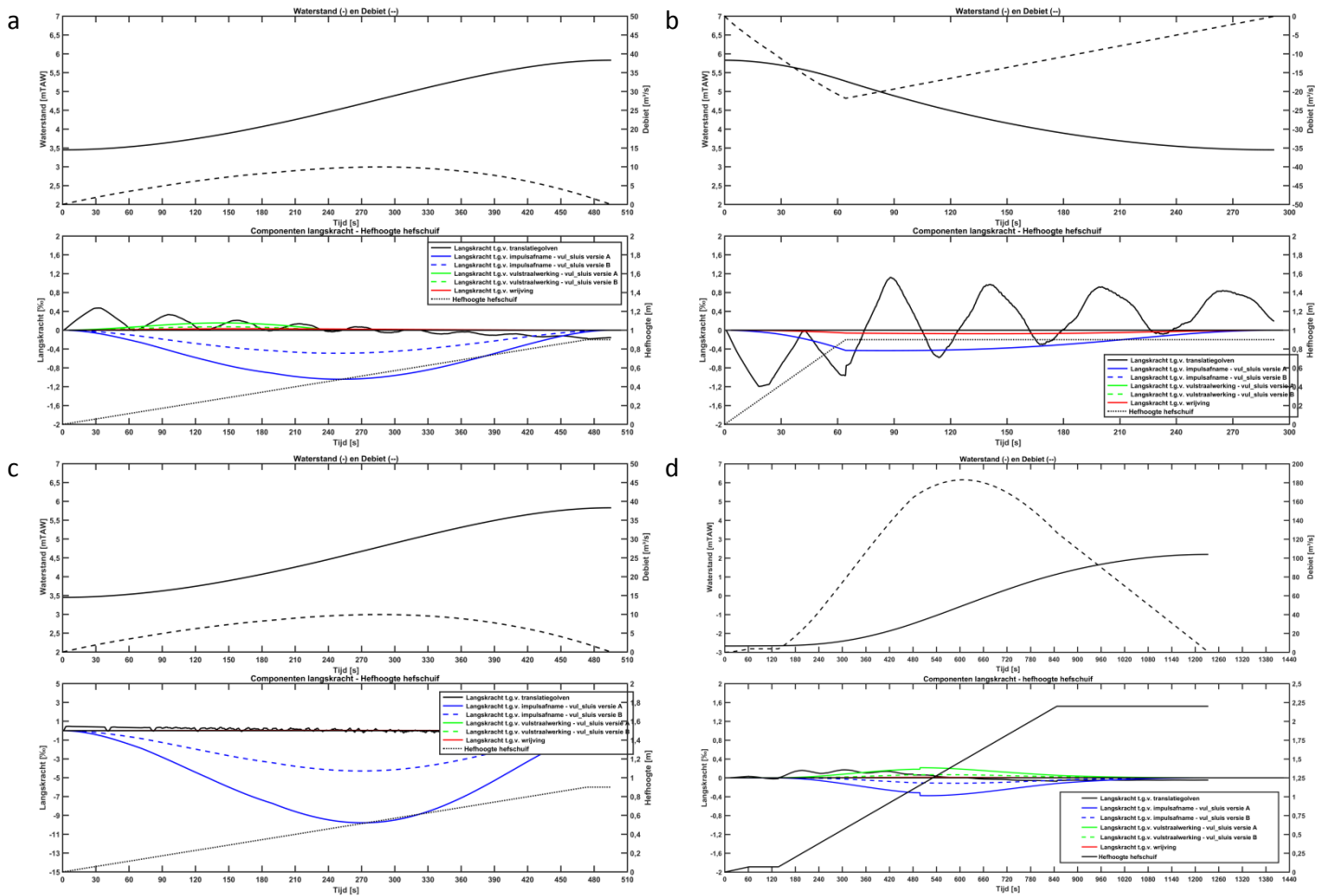
a:Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04; e: Case05; f: Case06

Figuur 3 – Variatie in de tijd van waterstand, debiet en de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case07, Case08, Case09, Case10, Case11 en Case12



a:Case07; b: Case08; c: Case09; d: Case10; e: Case11; f: Case12

Figuur 4 – Variatie in de tijd van waterstand, debiet en de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case13, Case14, Case15 en Case16



a:Case13; b: Case14; c: Case15; d: Case 16

Met betrekking tot de verschillende cases kan aan de hand van Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 het volgende vastgesteld worden:

- Voor alle cases is de component van de langskracht ten gevolge van wrijving verwaarloosbaar ten opzichte van de overige berekende componenten van de langskracht op het schip
- Case03, Case05, Case08 en Case14 betreffen ledigen van een sluis. Voor deze cases wordt geen verschil in langskracht ten gevolge van impulsafname en langskracht ten gevolge van vulstraalwerking tussen de beide versies van vul_sluis. Met uitzondering van Case05 is voor al deze cases de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven groter dan de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Bij Case05 is de bijdrage van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de bijdrage van de langskracht ten gevolge van impulsafname naar het einde van de nivellering toe ongeveer even groot.
- Bij Case09 en Case10 is de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven overheersend ten opzichte van alle overige componenten van de langskracht. De verklaring hiervoor is dat het een relatief smal schip betreft dat in een brede sluis aanwezig is, waardoor de blokkering van het dwarsprofiel relatief klein is (5 à 20 %). De langskracht ten gevolge van translatiegolven is niet verschillend tussen de beide versies van het programma vul_sluis.
- Bij Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case13 is de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname overheersend ten opzichte van de overige componenten. Aangezien de

langskracht ten gevolge van impulsafname op een verschillende wijze berekend wordt met versie A en versie B van het programma vul_sluis, zijn de verschillen in krachten op het schip berekend met de beide versies van vul_sluis groot voor deze cases. Deze cases betreffen zowel vullen van de sluiskolk met openingen in de deuren afgesloten met hefschuiven, als vullen van de sluiskolk met openingen in de deuren afgesloten met vlinderkleppen.

- Bij Case11 en Case12, simulaties voor het nivelleersysteem van de nieuwe sluis te Sint-Baafs-Vijve, is de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven ongeveer even groot. Voor deze cases wordt bijgevolg een relatief klein verschil in totale langskracht op het schip berekend met versie A en versie B van het programma vul_sluis. Gezien de grotere breedte van de sluiskolk bij Case12 (16 m) dan bij Case11 (12 m) en hetzelfde ontwerpschip in de sluiskolk is de relatieve bijdrage van de langskracht ten gevolge van translatiegolven groter en de relatieve bijdrage van de langskracht ten gevolge van impulsafname kleiner bij Case12 dan bij Case11. De verschillen tussen de beide versies van vul_sluis zijn ook kleiner bij Case12 dan bij Case11. Ook Bij Case16, de simulatie voor het nivelleersysteem van de nieuwe sluis te Terneuzen, is de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven ongeveer even groot. Ook voor deze case volgt bijgevolg een klein verschil in totale langskracht op het schip tussen beide versies van vul_sluis.
- Case15 is de enige case met betrekking tot recreatievaart in de sluiskolk. Voor deze case is de relatieve bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname zeer groot in vergelijking met de bijdrage van de overige componenten. Voor deze case worden ook grote verschillen in totale langskracht tussen de beide versies van vul_sluis berekend.
- Bij Case16 is de relatieve bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van de vulstraalwerking in de totale langskracht groter dan in vergelijking met de andere cases. De tijdsduur waarin de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking aanwezig is, is ongeveer dezelfde als de tijdsduur dat de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname aanwezig is, terwijl deze tijdsduur voor de overige cases korter is dan de tijdsduur dat de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname aanwezig is.

3 Aanpassingen aan de code van het programma vul_sluis

Vooraleer de analyses in dit rapport zijn uitgevoerd, zijn een aantal aanpassingen aan de code uitgevoerd. Deze aanpassingen worden in dit hoofdstuk beschreven en betreffen: vul_sluis release 01.50.00 (paragraaf 3.1), vul_sluis release 01.51.00 (paragraaf 3.2), vul_sluis release 01.51.s.00 (paragraaf 3.3), vul_sluis release 01.51.01 (paragraaf 3.4) en vul_sluis release 01.52.00 (paragraaf 3.5), vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01 (paragraaf 3.6) en vul_sluis release 01.54.00 (paragraaf 3.7). Een overzicht van alle releases van vul_sluis is gegeven in Bijlage A bij dit rapport.

3.1 Vul_sluis release 01.50.00

De verschillen tussen vul_sluis release 01.48.vA.00 en vul_sluis release 01.48.vB.00 betreffen de berekening van de impuls in de vulstraal, de berekening van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de berekening van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. De berekening van het debiet door de nivelleeropeningen, de waterstand in de sluiskolk, de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de component van de langskracht ten gevolge van wrijving zijn identiek voor de beide versies.

Aangezien in recente ontwerpprojecten van nivelleersystemen van sluizen telkens zowel versie A als versie B van het programma vul_sluis naast elkaar werden uitgevoerd, is beslist om de beide versies van de code van het programma vul_sluis samen te voegen tot één geheel. Dit nieuwe geheel is vul_sluis release 01.50.00. Binnen deze release wordt de berekening van het debiet door de nivelleeropeningen, de waterstand in de sluiskolk, de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de component van de langskracht ten gevolge van wrijving slechts éénmaal uitgevoerd. De berekening van de impuls in de vulstraal, de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking wordt tweemaal uitgevoerd. Een eerste keer wordt de berekening uitgevoerd met de parameterwaarden en formuleringen voor versie A en een tweede keer met de parameterwaarden en formuleringen voor versie B. Ook in de uitvoerfile van het programma worden waterstand in de sluiskolk, debiet door de nivelleeropeningen, stand van de schuiven/kleppen, oppervlakte van de openingen in de deur, langskracht ten gevolge van translatiegolven en langskracht ten gevolge van wrijving éénmaal weergegeven. De component van de langskracht ten gevolge van impulsafname, de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht op het schip worden in de uitvoer tweemaal vermeld, namelijk een eerste keer berekend met versie A en een tweede keer berekend met versie B van het programma.

Concreet zijn volgende subroutines van het programma vul_sluis gewijzigd:

- *initialiseer_globale_variabelen.m*
- *vul_sluis_preprocessing.m*
- *vul_sluis_simulatie.m*
- *vul_sluis_impuls_straal.m*
- *vul_sluis_bereken_fx_impulsafname.m*
- *vul_sluis_bereken_fx_vulstraal.m*
- *vul_sluis_postprocessing.m*

De aanpassingen in de routines *initialiseer_globale_variabelen.m*, *vul_sluis_preprocessing.m* en *vul_sluis_postprocessing.m* betreffen definitie, initialisatie en wegschrijven van bijkomende variabelen om de verschillen tussen de beide versies aan te duiden. In *vul_sluis_simulatie.m* wordt de berekening van de

impuls in de vulstraal en de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking tweemaal uitgevoerd, éénmaal voor versie A van het programma en éénmaal voor versie B van het programma. De code van de subroutines *vul_sluis_impuls_straal.m*, *vul_sluis_bereken_fx_impulsafname.m* en *vul_sluis_bereken_fx_vulstraal.m* is een samenvoeging van de code van versie A en versie B van het programma. Afhankelijk of deze subroutines opgeroepen worden met 'versie A' of 'versie B' als invoer wordt de code van de betreffende versie aangeroepen.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- Vanaf vul_sluis release 01.50.00 wordt ook slechts één releasenummer meer gedefinieerd in de code van het programma. Het onderscheid tussen de beide versies van het programma wordt enkel gemaakt in de uitvoer. In het vervolg van dit rapport zal dan ook naar de beide versies van het programma verwezen worden als 'versie A van vul_sluis release 01.50.00' en 'versie B van vul_sluis release 01.50.00'.
- De invoerfile van vul_sluis release 01.50.00 is dezelfde als deze van vorige releases van het programma vul_sluis. Echter de uitvoerfile bevat andere parameters als deze van vorige releases van vul_sluis, waardoor ook bestaande verwerkingsroutines zullen moeten aangepast worden.

3.2 Vul_sluis release 01.51.00

In deze release zijn volgende aanpassingen aan de inputfile van het programma vul_sluis doorgevoerd:

1. In de inputfile van vorige releases was een blok "0.0 NAAM" aanwezig. Binnen dit blok diende bij het enige keyword [NAAM] de naam voor de uitvoerfile opgegeven worden dewelke niet noodzakelijk dezelfde was als deze van de inputfile. De naam van de uitvoerfile werd dan opgebouwd als 'vul_sluis_"input bij keyword [naam]"_out.mat' of 'txt'. Uit praktische toepassingen van het programma vul_sluis bij recente ontwerpprojecten is echter gebleken dat bijna altijd dezelfde naam opgegeven werd als de inputfile (zonder de extensie '.txt'). Daarnaast wordt ook vaak een nieuwe inputfile aangemaakt door een bestaande inputfile te kopiëren, de bestandsnaam te wijzigen en de input aan te passen. Hierbij was een veelvoorkomende fout dat de input bij het keyword [NAAM] niet wordt aangepast, waardoor de uitvoerfile voor een bestaande simulatie overschreven werd. Om die redenen is het blok "0.0 NAAM" verwijderd uit de invoerfile. De naam van de uitvoerfile wordt nu opgebouwd als 'vul_sluis_"naam inputfile zonder extensie"_out.mat' of 'txt'. Hierbij is ook het gedeelte in de subroutine *vul_sluis_lees_invoer.m*, dat het keyword [NAAM] inleest, verwijderd uit de code.
2. De keywords [VS_X], waarmee de coördinaat van het beginpunt van de straal aan de opwaartse zijde van de sluisdeur opgegeven werd, en het keyword [Z_AFW_TIJD], waarmee een tijdreeks met waterstanden in het afwaartse kanaalpand konden opgegeven worden, werden binnen het programma vul_sluis niet gebruikt. Daarom zijn deze keywords geschrapt uit de inputfile en worden deze ook niet meer ingelezen. Het gedeelte in de subroutine *vul_sluis_lees_invoer.m*, dat de waarden van deze keywords inleest, is dan ook verwijderd uit de code.
3. Het keyword [Z_kolk_ini] is, analoog als met de schrijfwijze voor de overige keywords in de inputfile, vervangen door [Z_KOLK_INI].
4. In de inputfile voor vorige releases stond tweemaal het keyword [ZBB] vermeld. Eénmaal bij de aanwezigheid van breekbalken ('J' bij keyword [BREEKB]) met als betekenis het peil van de bovenkant van de breekbalken. Daarnaast stond hetzelfde keyword ook vermeld bij de afwezigheid van breekbalken ('N' bij keyword [BREEKB]) met als betekenis het peil van de onderkant van de vulopeningen. Dit was een verwarrende naamgeving. Om die reden is de naam van het keyword bij afwezigheid van breekbalken veranderd in [ZOV]. In de code van het programma is ook het gedeelte van de subroutine *vul_sluis_lees_invoer.m*, dat dit keyword herkend, aangepast en is een variabele VO.Zov gedefinieerd die het peil van de onderzijde van de openingen bevat. Deze nieuwe variabele is ook aangepast in andere subroutines, waar deze in voorkomt.

5. Bij de algemene variabelen (blok "1.0 ALGEMEEN") zijn volgende twee keywords toegevoegd:
- % [CE1] Coëfficiënt CE_1 voor demping translatiegolven [-]
 - % [CE2] Coëfficiënt CE_2 voor demping translatiegolven [-]

De betekenis van deze twee keywords wordt hieronder verklaard. Hierbij is ook de code van de routine *vul_sluis lees_invoer.m* aangepast om deze keywords in te lezen, zijn twee nieuwe interne variabelen gedefinieerd en zijn deze nieuwe variabelen toegevoegd aan de code van de subroutine *vul_sluis_bereken_fx_translatiegolven.m*

De coëfficiënten CE_1 en CE_2 worden toegepast bij de berekening van de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De beide coëfficiënten zijn ingevoerd analoog als in LOCKFILL 5.1-Ijmuiden, i.e. de speciale versie van LOCKFILL die door Deltares aangepast is op basis van het schaalmodelonderzoek uitgevoerd voor de nieuwe sluis van Ijmuiden. Deze speciale versie wordt op dit ogenblik echter door Deltares niet ter beschikking gesteld.

Binnen deze speciale versie van LOCKFILL is het mogelijk om de coëfficiënten voor de demping van langskracht ten gevolge van translatiegolven in te geven in de inputfile. Uit Verelst *et al.* (2014) volgt dat de langskracht ten gevolge van de translatiegolven, zonder demping en smoothing van oscillaties, berekend wordt als:

$$F_{x,transl}^n = \frac{1}{2} \cdot \frac{(h_B^n + h_C^n) - (h_D^n + h_E^n)}{l_s \cdot C_b}$$

met:

- | | | |
|--------------------|---|-----|
| - $F_{x,transl}^n$ | Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen | [-] |
| - h_B^n | Waterhoogte ter plaatse van sectie B (juist voor boeg) na n tijdstappen | [m] |
| - h_C^n | Waterhoogte ter plaatse van sectie C (juist na boeg) na n tijdstappen | [m] |
| - h_D^n | Waterhoogte ter plaatse van sectie D (juist voor hek) na n tijdstappen | [m] |
| - h_E^n | Waterhoogte ter plaatse van sectie E (juist na hek) na n tijdstappen | [m] |

Op deze berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven op het schip wordt eerst een smoothing van de oscillaties uitgevoerd aan de hand van volgende formulering:

$$F_{x,transl+sm}^n = 0,1 F_{x,transl}^{n-2} + 0,3 F_{x,transl}^{n-1} + 0,6 F_{x,transl}^n$$

met:

- | | | |
|------------------------|---|-----|
| - $F_{x,transl}^n$ | Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen | [-] |
| - $F_{x,transl}^{n-1}$ | Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n-1 tijdstappen | [-] |
| - $F_{x,transl}^{n-2}$ | Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n-2 tijdstappen | [-] |
| - $F_{x,transl+sm}^n$ | Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen na smoothing van de oscillaties | [-] |

Daarna wordt de langskracht ten gevolge van translatiegolven gedempt aan de hand van volgende formuleringen:

$$FP^n = \frac{\left(l_K - X_{boeg} - \frac{l_S}{2}\right) \cdot \frac{\delta Q_{VO}^n}{\delta t}}{l_K \cdot g \cdot (b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S) \cdot C_b}$$

$$CE = 0,07 + 0,40 \frac{b_S \cdot d_S}{b_K \cdot h_K^n}$$

$$F_{x,transl+sm+d}^n = F_{x,transl+sm}^n - (F_{x,transl+sm}^n - FP^n) \cdot \left(1 - e^{\left(-CE \cdot \frac{t}{T_K^n}\right)}\right)$$

met:

-	$F_{x,transl+sm}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen na smoothing van de oscillaties	[-]
-	$F_{x,transl+sm+d}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van translatiegolven op het schip na n tijdstappen na smoothing en damping van de oscillaties	[-]
-	FP^n	Gemiddelde kracht ten gevolge van translatiegolven ten behoeve van damping na n tijdstappen	[-]
-	CE	Coëfficiënt in e-macht bij damping van oscillaties	[-]
-	T_K^n	Eigenperiode van de sluiskolk na n tijdstappen	[s]
		$T_K^n = 2 \cdot \left(\frac{l_K - l_S}{c_K^n} + \frac{l_S}{c_S^n}\right)$	
-	g	Valversnelling (= 9,81 m/s ²)	[m/s ²]
-	l_K	Lengte sluiskolk	[m]
-	b_K	Breedte sluiskolk	[m]
-	h_K^n	Waterhoogte in sluiskolk na n tijdstappen	[m]
-	b_S	Breedte schip	[m]
-	d_S	Diepgang schip	[m]
-	C_b	Blok-coëfficiënt schip	[-]
-	$\frac{\delta Q_{VO}^n}{\delta t}$	Helling van de debietscurve na n tijdstappen	[m ³ /s ²]

In vul_sluis release 01.51.00 wordt de coëfficiënt CE als volgt algemeen geformuleerd:

$$CE = CE_1 + CE_2 \frac{b_S \cdot d_S}{b_K \cdot h_K^n}$$

Met:

-	CE_1	Coëfficiënt CE_1 in formulering voor CE	[-]
-	CE_2	Coëfficiënt CE_2 in formulering voor CE	[m]

Hierbij worden de coëfficiënten CE_1 en CE_2 in de inputfile als input opgegeven. De waarden $CE_1 = 0,07$ en $CE_2 = 0,40$ zijn overgenomen uit de formuleringen in de handleiding van LOCKFILL (Waterloopkundig Laboratorium, 1994a).

3.3 Vul_sluis release 01.51.s.00

In hoofdstuk 6 van dit rapport wordt de variatie in de tijd geanalyseerd van een aantal parameters, dewelke intern in de code van het programma vul_sluis gebruikt worden. Om deze analyse uit te voeren is intern in de code de variabele *spec_output* gedefinieerd. Deze variabele is een Matlab structural array, waarin tijdsreeksen met waarden voor de volgende interne variabelen worden bijgehouden:

1. Interne variabelen met betrekking tot de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven:
 - CE_1 Eerste deel in de uitdrukking voor de coëfficiënt CE.
 - $CE_2 \frac{b_S.d_S}{b_K.h_K^n}$ Tweede deel in de uitdrukking voor de coëfficiënt CE.
 - CE Coëfficiënt in e-macht bij demping van oscillaties
 - T_K^n Eigenperiode van de sluisolk.
 - FP^n Gemiddelde kracht ten gevolge van translatiegolven ten behoeve van demping na n tijdstappen.

Voor de formulering van deze interne variabelen en termen wordt verwezen naar paragraaf 3.2.

2. Interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van wrijving:
 - R_{Kr1}^n Hydraulische straal (na n tijdstappen) van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden.
 - C_{Kr1}^n Chézy-coëfficiënt (na n tijdstappen) van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden.

Voor de formuleringen van deze interne variabelen wordt verwezen naar Verelst *et al.* (2014).

3. Interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking:
 - $Z_{VS,boegmax}^n$ Hoogte boven de bodem van het hoogste punt van de vulstraal (ter plaatse van de boeg) na n tijdstappen
 - $Z_{VS,boegmax1}^n$ Hulpvariabele 1 voor het berekenen van $Z_{VS,boegmax}^n$
 - $Z_{VS,boegmax2}^n$ Hulpvariabele 2 voor het berekenen van $Z_{VS,boegmax}^n$
 - $A_{VS,boeg}^n$ Oppervlak van de vulstraal ter hoogte van de boeg na n tijdstappen
 - $A_{VSschip,boeg}^n$ Oppervlak van het gedeelte van de vulstraal dat tegen de boeg gaat na n tijdstappen
 - Ψ_2 De verhouding van het oppervlak van de straal die tegen de boeg gaat en het oppervlak van de vulstraal ter plaatse van de boeg

Voor de formuleringen van deze interne variabelen wordt verwezen naar Verelst *et al.* (2014) of naar paragraaf 3.5.1 van dit rapport.

4. Interne variabelen met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraal:
 - $h_{VS,m}^n$ Hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal juist na de vuldeur na n tijdstappen.
 - h_{VS}^n Hoogte van de vulstraal juist na de opwaartse deur na n tijdstappen.
 - $h_{VS,XA}^n$ Hoogte boven de bodem van de bovenste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X.
 - $h_{VS,XB}^n$ Hoogte boven de bodem van de bovenste begrenzing van de potential core ter plaatse van locatie X.
 - $h_{VS,XC}^n$ Hoogte boven de bodem van de onderste begrenzing van de potential core ter plaatse van locatie X.
 - $h_{VS,XD}^n$ Hoogte boven de bodem van de onderste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X.

- $X_{VS,B}^n$ X-coördinaat van de begrenzing van de potential core, punt B genoemd, ($= 12 h_{VS}^n / 2$) na n tijdstappen.
- $X_{VS,G}^n$ X-coördinaat van het punt G waar de rechte met helling 1:4 vanuit het middelpunt van de straal (ter hoogte van de opwaartse deur) de bodem van de kolk/oppervlak snijdt.
- $X_{VS,L}^n$ X-coördinaat van het punt L.
- $X_{VS,R}^n$ X-coördinaat van het punt R waar de rechte met helling 1:6 vanuit de onderkant/bovenkant van de straal (ter hoogte van de opwaartse deur) de bodem van de kolk/oppervlak snijdt.
- $X_{VS,omslagpunt}^n$ Locatie van het omslagpunt zoals gedefinieerd in Verelst *et al.* (2016a).
- $X_{VS,omslagpunt2}^n$ Locatie van het omslagpunt berekend met de formulering uit (Rajaratnam & Subramanya, 1986).

$$X_{VS,omslagpunt}^n = \left(13 + \frac{2.83 \left(h_{VS,m}^n - \frac{h_{VS}^n}{2} \right)}{h_{VS}^n} \right) \cdot \frac{h_{VS}^n}{2}$$

- δ_1 Afstand tot de bodem van het punt in het snelheidsprofiel waarvoor de stroomsnelheid gelijk is aan de helft van de maximale stroomsnelheid
- μ Gemiddelde in formulering Gauss-kromme bij de berekening van de stroomsnelheid op locatie X na n tijdstappen
- σ Standdaardevatie in formulering Gauss-kromme bij de berekening van de stroomsnelheid op locatie X na n tijdstappen
- zone Zone voor de berekening van $h_{VS,Xa}^n$, $h_{VS,Xb}^n$, $h_{VS,Xc}^n$ en $h_{VS,Xd}^n$ (zie Verelst *et al.* (2014)).
- $q_{VS,X}^n$ Debiet in de vulstraal (per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen
- $U_{VS,X}^n$ Stroomsnelheid ter plaatse van locatie X na n tijdstappen
- $i_{VS,X}^n$ Impuls (per dichtheid en per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen
- $U_{VS,Xmax}^n$ Maximale waarde van de stroomsnelheid in de vulstraal over de verticale ter plaatse van locatie X na n tijdstappen
- L_{neer} Lengte van de neer
- $A_{VS,boeg}^n$ Oppervlakte (per eenheidsbreedte) van de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen

Voor de definitie van deze interne variabelen wordt verwezen naar Verelst *et al.* (2014) en Verelst *et al.* (2016a).

De variabele spec_output wordt enkel weggeschreven naar de .mat-outputfile van het programma vul_sluis en niet naar de .txt-outputfile. Voor de definitie en het wegschrijven van de variabele spec_output zijn de volgende subroutines gewijzigd:

- *initialiseer_globale_variabelen.m.*
- *vul_sluis_bereken_fx_translatiegolven.m.*
- *vul_sluis_bereken_fx_vulstraal.m.*
- *vul_sluis_bereken_fx_wrijving.m.*
- *vul_sluis_simulatie.m.*
- *vul_sluis_postprocessing.m.*

3.4 Vul_sluis release 01.51.01

In deze release zijn enkele kleine programmeerfoutjes opgelost, dewelke nog zijn opgedoken bij het uitvoeren van de simulaties met vul_sluis release 01.51.00.

3.5 Vul_sluis release 01.52.00

Deze release is gedefinieerd met het oog op de analyses in hoofdstuk 5 van dit rapport. In dat hoofdstuk wordt de invloed onderzocht op de resultaten van 15 (beperkte) wijzingen aan de code van het programma vul_sluis. Om geen 15 opeenvolgende releases van het programma vul_sluis te definiëren zijn deze wijzigingen als volgt gedefinieerd:

- Voorafgaand aan de originele code is de commentaarlijn “tot en met release 01.51.00” toegevoegd.
- Daarna is de gewijzigde code vermeld voorafgegaan door commentaarlijn “aanpassing release 01.52.00 modX” met X een letter tussen A en O. Tabel 5 geeft een overzicht van de gedefinieerde wijzigingen en de naamgeving ervan.
- Standaard is de originele formulering “tot en met release 01.51.00” actief en is de gewijzigde formulering vermeld als commentaar in de code.
- Bij het onderzoeken van de invloed van de gewijzigde formulering in hoofdstuk 5 van dit rapport wordt telkens één gewijzigde formulering actief gemaakt en de bijbehorende originele formulering vermeld als commentaar in de code.

Tabel 5 - Naamgeving aanpassingen code release 01.52.00

Naam wijziging	Subroutine programma vul_sluis	Paragraaf	Omschrijving
modA	vul_sluis_bereken_fx_vulstraal.m	3.5.1	Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal
modB	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.2	Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,1 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt.
modC	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.2	Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,01 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt
modD	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.3	Wijziging 1 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg
modE	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.3	Wijziging 2 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg
modF	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.4	Aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg
modG	vul_sluis_bereken_fx_vulstraal.m	3.5.5	Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie A van vul_sluis
modH	vul_sluis_bereken_fx_vulstraal.m	3.5.5	Foutief verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie B van vul_sluis
modI	vul_sluis_bereken_fx_impulsafname.m	3.5.5	Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie A van vul_sluis

modJ	vul_sluis_bereken_fx_impulsafname.m	3.5.5	Foutief verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie B van vul_sluis
modK	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.6	Wijziging constante C_1 naar waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie A
modL	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.6	Wijziging constante C_1 naar waarde 3,5 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie B
modM	vul_sluis_bereken_fx_translatiegolf.m	3.5.7	Toepassing tweede-orde differenties bij berekening van $\delta q/\delta t$.
modN	vul_sluis_bereken_fx_translatiegolf.m	3.5.7	Toepassing derde-orde differenties bij berekening van $\delta q/\delta t$.
modO	vul_sluis_impuls_straal.m	3.5.2	Wijziging berekening locatie van het omslagpunt naar de formulering volgens Rajaratnam & Subramanya (1986).

3.5.1 Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal (*release 01.52.00 modA*)

In Verelst et al. (2014) is volgende formulering afgeleid voor de component van de langskracht op een schip ten gevolge van vulstraalwerking:

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_w \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot (\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta))$$

met

- $F_{x,vulstraal}^n$ Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van de vulstraalwerking na n tijdstappen [-]
- ρ_w Dichtheid van water [kg/m³]
- g Valversnelling (= 9,81 m/s²) [m/s²]
- b_K Breedte kolk [m]
- h_K^n Waterhoogte in kolk na tijdstappen [m]
- b_S Breedte schip [m]
- d_S Diepgang schip [m]
- $I_{VS,boeg}^n$ Impuls (per dichtheid) van de vulstraal ter plaatse van de boeg na n tijdstappen [m⁴/s²]
- ψ_1 Coëfficiënt voor drukverlaging ten gevolge van afstromend water [-]
 $\psi_1 = \begin{cases} 1 & \text{drukverlaging afwezig} \\ 0 & \text{drukverhoging} = \text{drukverlaging} \end{cases}$
- ψ_2 Coëfficiënt die aangeeft welk deel van de impuls van de straal tegen de boeg gaat [-]
 $\psi_2 = \begin{cases} 1 & \text{straal gaat volledig tegen boeg} \\ 0 & \text{straal gaat onder boeg door} \end{cases}$
- ϕ Hoek tussen de straalas en de horizontale [°]
- α Hoek boeg in het verticale vlak [°]
- β Hoek boeg in het horizontale vlak [°]

Hierbij wordt de coëfficiënt ψ_2 , die aangeeft welk deel van de impuls van de straal tegen de boeg gaat, berekend als de verhouding van het oppervlak van de straal die tegen de boeg gaat en het oppervlak van de vulstraal ter plaatse van de boeg:

$$\psi_2 = \frac{A_{VSschip,boeg}^n}{A_{VS,boeg}^n}$$

met:

- $A_{VS,boeg}^n$ Oppervlak van de vulstraal ter hoogte van de boeg na n tijdstappen [m²]
 $A_{VS,boeg}^n = h_{VS,boeg}^n \cdot b_K$
- $h_{VS,boeg}^n$ Hoogte van de vulstraal ter hoogte van de boeg na n tijdstappen [m]
- b_K Breedte sluiskolk [m]
- $A_{VSschip,boeg}^n$ Oppervlak van het gedeelte van de vulstraal dat tegen de boeg gaat na n tijdstappen [m]
 $A_{VSschip,boeg}^n = \min \left(\frac{A_{VS,boeg}^n}{(Z_{VS,boegmax}^n - (Z_K^n - d_s)) b_s} \right)$
- $Z_{VS,boegmax}^n$ Peil van het hoogste punt van de vulstraal (ter plaatse van de boeg) na n tijdstappen [mZref]
 $Z_{VS,boegmax}^n = \min \left(\frac{Z_K^n}{\max(Z_{VS,boegmax1}^n, Z_{VS,boegmax2}^n)} \right)$
- $Z_{VS,boegmax1}^n$ Hulpvariabele 1 voor het berekenen van $Z_{VS,boegmax}^n$ [mZref]
 $Z_{VS,boegmax1}^n = Z_{BB} + X_{boeg} \left(\frac{1}{2} \frac{1}{6} + \tan \phi \right)$
- $Z_{VS,boegmax2}^n$ Hulpvariabele 2 voor het berekenen van $Z_{VS,boegmax}^n$ [mZref]
 $Z_{VS,boegmax2}^n = Z_{BB} - \frac{A_{VS,BBmax}}{b_K} + \frac{h_{VS}^n}{2} + X_{boeg} \left(\frac{1}{2} \frac{1}{4} + \tan \phi \right)$
- h_{VS}^n Hoogte van de vulstraal juist na de opwaartse deur na n tijdstappen [m]
- Z_K^n Waterstand in de sluiskolk na n tijdstappen [mZref]
- Z_{BB} Niveau bovenkant breekbalken [m Zref]
- d_s Diepgang schip [m]
- b_s Breedte schip [m]
- X_{boeg} X-coördinaat van boeg tot vuldeur [m]
- ϕ Hoek tussen vulstraal en de horizontale [°]
- $A_{VS,BBmax}$ Maximale totale oppervlakte van de vulstraal juist na de breekbalken [m²]

In Verelst et al. (2014) werd opgemerkt dat geen verklaring kan gegeven worden waarom de hellingen 1/6 en 1/4 in respectievelijk de hulpvariabelen $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ gedeeld worden door twee. De formuleringen voor deze beide hulpvariabelen zijn integraal overgenomen uit de manual van LOCKFILL (Waterloopkundig Laboratorium, 1994a).

In vul_sluis release 01.52.00 wordt de deling door twee van de hellingen 1/6 en 1/4 in de formuleringen voor de beide hulpvariabelen $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ weggelaten. De beide formuleringen zijn bijgevolg als volgt gewijzigd:

$$Z_{VS,boegmax1}^n = Z_{BB} - X_{boeg} \left(\frac{1}{6} + \tan \phi \right)$$

$$Z_{VS,boegmax2}^n = Z_{BB} - \frac{A_{VS,BBmax}}{b_K} + \frac{h_{VS}^n}{2} + X_{boeg} \left(\frac{1}{4} + \tan \phi \right)$$

Deze wijzigingen worden in de code aangeduid met *release 01.52.00 modA*.

3.5.2 Wijzingen in de berekening van de locatie van het omslagpunt (*release 01.52.00 modB*, *release 01.52.00 mod C* en *release 01.52.00 modO*)

In Vrijburcht *et al.* (1988) worden de volgende formuleringen vermeld voor de berekening van het debiet in de vulstraat in het eerste en het tweede gebied van de menglaag:

1. Eerste gebied van menglaag (het debiet neemt toe door entrainment):

$$\frac{q_{VS,X1}^n}{q_{VO}^n} = 0,4 \sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}$$

Met:

- $q_{VS,X1}^n$ Debiet in de vulstraat (per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen [m³/s/m]
- q_{VO}^n Debiet door de vulopeningen (per eenheidsbreedte) na n tijdstappen [m³/s/m]
- X Afstand tot de opwaartse sluisdeur [m]
- h_{VS}^n Hoogte van de vulstraat juist na de opwaartse deur na n tijdstappen [m]

2. Tweede gebied van menglaag (debit en impuls in de vulstraat nemen af):

$$\frac{q_{VS,X2}^n}{q_{VO}^n} = 2,0 - \frac{X}{L_{neer}}$$

Met:

- $q_{VS,X2}^n$ Debiet in de vulstraat (per eenheidsbreedte) ter plaatse van locatie X na n tijdstappen [m³/s/m]
- q_{VO}^n Debiet door de vulopeningen (per eenheidsbreedte) na n tijdstappen [m³/s/m]
- X Afstand tot de opwaartse sluisdeur [m]
- L_{neer} Lengte van de neer [m]

In Verelst *et al.* (2016a) werd de locatie van het punt waar het eerste en het tweede gebied van de menglaag in elkaar overgaan berekend door deze twee uitdrukkingen aan elkaar gelijk te stellen. Dit geeft volgende tweedegraadsvergelijking:

$$\left(\frac{1}{0,4 \cdot L_{neer}}\right)^2 \cdot (X_{VS,omslagpunt}^n)^2 - \left(\frac{4}{(0,4)^2 \cdot L_{neer}} + \frac{1}{\frac{h_{VS}^n}{2}}\right) \cdot X_{VS,omslagpunt}^n + \left(\frac{2}{0,4}\right)^2 = 0$$

Met:

- $X_{VS,omslagpunt}^n$ X-coördinaat van het punt waar gebied 1 van de menglaag overgaat in gebied 2 [m]
- L_{neer} Lengte van de neer [m]
- h_{VS}^n Hoogte van de vulstraat juist na de opwaartse deur na n tijdstappen [m]

In de praktijk is dit in het programma vul_sluis als volgt uitgevoerd:

- Voor alle waarden van de vector [0:1:100] wordt het debiet volgens de beide formuleringen berekend ($q_{VS,X1}^n(x)$ en $q_{VS,X2}^n(x)$).
- Het omslagpunt is de locatie waar $q_{VS,X2}^n(x)$ groter wordt dan $q_{VS,X1}^n(x)$.
- In het geval geen snijpunt tussen beide curves wordt berekend wordt $\frac{12 h_{VS}^n}{2}$ als locatie van het omslagpunt beschouwd.

Met betrekking tot deze berekeningswijze van de locatie van het omslagpunt werd in Verelst *et al.* (2016a) de vraag gesteld of het beschouwen van een stapgrootte van 1,0 m nauwkeurig genoeg was voor deze berekening. Om die reden wordt de stapgrootte enerzijds gewijzigd naar 0,10 m (wijziging *release 01.52.00 modB* genoemd) en naar 0,01 m (wijziging *release 01.52.00 modC* genoemd).

In Verelst *et al.* (2014) werd volgende formulering uit Rajaratnam & Subramanya (1986) vermeld voor de berekening van de locatie van het omslagpunt:

$$X_{VS,omslagpunt}^n = \left(13 + \frac{2.83 \left(h_{VS,m}^n - \frac{h_{VS}^n}{2} \right)}{h_{VS}^n} \right) \cdot \frac{h_{VS}^n}{2}$$

Met:

- $X_{VS,omslagpunt}^n$ X-coördinaat van het punt waar gebied 1 van de menglaag overgaat in gebied 2 [m]
- $h_{VS,m}^n$ Hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal juist na de vuldeur na n tijdstappen [m]
- h_{VS}^n Hoogte van de vulstraal juist na de opwaartse deur na n tijdstappen [m]

In vul_sluis release 01.52.00 is ook deze aangepaste formulering voor de locatie van het omslagpunt ingebouwd (wijziging *release 01.52.00 modO* genaamd).

3.5.3 Wijziging in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (*release 01.52.00 modD* en *release 01.52.00 modE*)

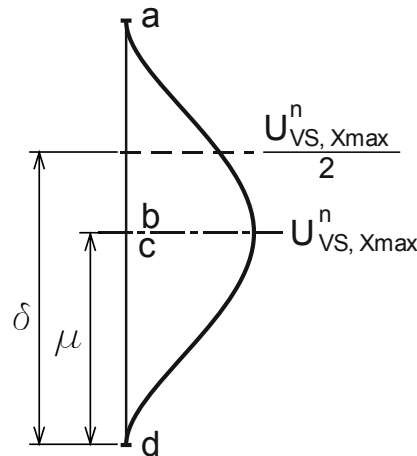
In Verelst *et al.* (2016a) zijn formuleringen afgeleid voor de berekening van stroomsnelheid ter plaatse van de boeg van het schip (locatie X genoemd). Hierbij geldt voor $X > X_{VS,omslagpunt}^n$ en voor $X > L_{neer}$ dat:

$$h_{VS,XB}^n = h_{VS,XC}^n$$

met:

- $h_{VS,XB}^n$ Hoogte boven de bodem van de bovenste begrenzing van potential core na n tijdstappen voor een punt X meter verwijderd van de opwaartse deur [m]
- $h_{VS,XC}^n$ Hoogte boven de bodem van de onderste begrenzing van potential core na n tijdstappen voor een punt X meter verwijderd van de opwaartse deur [m]
- $X_{VS,omslagpunt}^n$ X-coördinaat van het punt waar gebied 1 van de menglaag overgaat in gebied 2 [m]
- L_{neer} Lengte van de neer [m]

Dit betekent dat het snelheidsprofiel bestaat uit een volledige Gauss-kromme (Figuur 5).

Figuur 5 - Snelheidsprofiel vulstraal voor $X > X_{VS,omslagpunt}^n$ en $X > L_{neer}$ 

Aan de hand van de algemene uitdrukking voor een Gauss-kromme is volgende formulering afgeleid voor de snelheid ter plaatse van locatie X:

$$U_{VS,X}^n(y) = U_{VS,Xmax}^n \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

Met:

- $U_{VS,X}^n(y)$	Stroomsnelheid op hoogte Y in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m/s]
- $U_{VS,Xmax}^n$	Maximale waarde van de stroomsnelheid in de Y-richting in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m/s]
- σ	Standaarddeviatie	[m]
- μ	Gemiddelde	[m]

De waarde van de standaarddeviatie σ kan berekend worden op basis van de waarde van de lengteschaal δ_1 , i.e. de hoogte boven de bodem van het punt van het snelheidsprofiel, waarvoor de stroomsnelheid gelijk is aan de helft van de maximale stroomsnelheid in het snelheidsprofiel.

$$\sigma = \frac{\delta_1 - \mu}{\sqrt{2 \ln(2)}}$$

In vul_sluis is deze uitdrukking echter als volgt geprogrammeerd:

$$\sigma = \frac{\delta_1}{\sqrt{2 \ln(1/0,605)}}$$

Foutievelijk is het gemiddelde niet in deze formulering aanwezig. Daarnaast is $\ln(2)$ vervangen door $\ln(1/0,605)$, waarbij in Verelst *et al.* (2016a) opgemerkt werd dat bij het opmaken van het rapport niet meer achterhaald kon worden op welke referentie dit gebaseerd was.

Om de invloed van deze beide aanpassingen aan de formulering na te gaan zijn volgende wijzigingen gedefinieerd aan de formulering voor de berekening van de standaarddeviatie σ :

1. $\sigma = \frac{\delta_1}{\sqrt{2 \ln(2)}}$ (release 01.52.00 modD genoemd)
2. $\sigma = \frac{\delta_1 - \mu}{\sqrt{2 \ln(2)}}$ (release 01.52.00 modE genoemd)

3.5.4 Aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (*release 01.52.00 modF*)

In Verelst *et al.* (2016a) zijn formuleringen afgeleid voor de berekening van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg van het schip X meter verwijderd van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur (locatie X genoemd). Hierbij is volgende formulering afgeleid voor de berekening van de stroomsnelheid in de vulstraal op deze locatie:

$$U_{VS,X}^n = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_{h_{VS,XD}^n}^{h_{VS,XA}^n} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y-\mu}{\sigma} \right)^2} dy}{h_{VS,XA}^n - h_{VS,XD}^n}$$

met:

- $U_{VS,X}^n$ Stroomsnelheid in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen [m/s]
- $U_{VS,Xmax}^n$ Maximale waarde van de stroomsnelheid in de Y-richting in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen [m/s]
- σ Standaarddeviatie [m]
- μ Gemiddelde [m]
- $h_{VS,XA}^n$ Hoogte boven de bodem van uiterste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X na n tijdstappen [m]
- $h_{VS,XD}^n$ Hoogte boven de bodem van uiterste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X na n tijdstappen [m]

In vul_sluis versie B is deze formulering als volgt gewijzigd:

$$U_{VS,X}^n = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_0^{\min(h_{VS,XA}^n - \max(h_{VS,XD}^n, 0), h_K^n)} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma} \right)^2} dy}{\min(h_{VS,XA}^n - \max(h_{VS,XD}^n, 0), h_K^n)}$$

met:

- h_K^n Waterhoogte in kolk na n tijdstappen [m]

Het vervangen van $(y-\mu)$ door y impliceert immers dat de gemiddelde waarde zich bevindt ter plaatse van $y = 0$. De integratiegrenzen zijn hierbij echter foutief aangepast. Deze dienden als volgt gewijzigd te worden:

$$U_{VS,X}^n = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_{\max(h_{VS,XD}^n, 0) - \mu}^{h_{VS,XA}^n - \mu} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma} \right)^2} dy}{\min(h_{VS,XA}^n - \max(h_{VS,XD}^n, 0), h_K^n)}$$

Deze aanpassing wordt *release 01.52.00 modF* genoemd.

3.5.5 Aanwezigheid factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en langskracht ten gevolge van impulsafname (*release 01.52.00 modG, release 01.52.00 modH, release 01.52.00 modI en release 01.52.00 modJ*)

In Verelst *et al.* (2014) en in Verelst *et al.* (2016a) is gesteld dat voor de beide versies van vul_sluis de volgende formuleringen de theoretisch correcte formuleringen zijn voor de berekening van de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking:

1. vul_sluis versie A:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(-I_{VS,boeg}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot (\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta))$$

2. vul_sluis versie B:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(-\left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

met

- $F_{x,vulstraal}^n$	Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) ten gevolge van de vulstraalwerking na n tijdstappen	[-]
- ρ_W	Dichtheid van water	[kg/m ³]
- g	Valversnelling (= 9,81 m/s ²)	[m/s ²]
- b_K	Breedte kolk	[m]
- l_K	Lengte kolk	[m]
- h_K^n	Waterhoogte in kolk na tijdstappen	[m]
- m_s	Massa schip	[kg]
- b_S	Breedte schip	[m]
- d_S	Diepgang schip	[m]
- l_S	Lengte schip	[m]
- $I_{VS,boeg}^n$	Impuls (per dichtheid) van de vulstraal ter plaatse van de boeg na n tijdstappen	[m ⁴ /s ²]
- Q_{VO}^n	Debiet door de vulopeningen na n tijdstappen	[m ³ /s]
- $U_{VS,X}^n$	Gemiddelde snelheid in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m/s]
- ψ_1	Coëfficiënt voor drukverlaging ten gevolge van afstromend water	[-]
- ψ_2	Coëfficiënt die aangeeft welk deel van de impuls van de straal tegen de boeg gaat	[-]
- ϕ	Hoek tussen de straalsas en de horizontale	[°]
- α	Hoek boeg in het verticale vlak	[°]
- β	Hoek boeg in het horizontale vlak	[°]

Echter in vul_sluis release 01.51.00 zijn volgende formuleringen geprogrammeerd

1. vul_sluis versie A:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(-\left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

2. vul_sluis versie B:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

In vul_sluis versie A is de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ bijgevolg foutievelijk aanwezig in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname en in de formulering van de langskracht ten gevolge van de vulstraalwerking.

Om de invloed van de aanwezigheid van deze factor in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname en in de formulering van de langskracht ten gevolge van de vulstraalwerking na te gaan zijn volgende wijzigingen aan code doorgevoerd (de gewijzigde formuleringen zijn rood gemarkeerd):

- Weglaten factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in vul_sluis versie A (wijziging *release 01.52.00 modG* genoemd):

1. vul_sluis versie A:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot (\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta))$$

2. vul_sluis versie B:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

- Foutievelijk weglaten factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in vul_sluis versie B (wijziging *release 01.52.00 modH* genoemd):

1. vul_sluis versie A:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

2. vul_sluis versie B:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot (\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta))$$

- Weglaten factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname in vul_sluis versie A (wijziging *release 01.52.00 modI* genoemd):

1. vul_sluis versie A:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- I_{VS,boeg}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

2. vul_sluis versie B:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

- Foutievelijk weglaten factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname in vul_sluis versie B (wijziging *release 01.52.00 modJ* genoemd):

1. vul_sluis versie A:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot I_{VS,boeg}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

2. vul_sluis versie B:

$$F_{x,impulsafname}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_S \cdot d_S}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(- Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \cos(\phi) + \frac{(Q_{VO}^n)^2}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg} - l_S}{l_K} \right)^2 \right)$$

$$F_{x,vulstraal}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_W \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot \left(\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \left(\frac{l_K - X_{boeg}}{l_K} \right) \cdot Q_{VO}^n \cdot U_{VS,X}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \right)$$

3.5.6 Wijziging waarde constante C_1 bij de berekening van de maximale stroomsnelheid ter plaatse van de boeg van het schip (*release 01.52.00 modK* en *release 01.52.00 modL*)

In Verelst *et al.* (2016a) is voor de zone waar $L_{neer} > X > X_{VS,omslagpunt}^n$ volgende formulering uit Rajaratnam (1976) vermeld voor de berekening van de maximale waarde van de stroomsnelheid (in het snelheidsprofiel) ter plaatse van de boeg:

$$U_{VS,Xmax}^n = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \cdot \frac{C_1}{\sqrt{X + C_2 \cdot \frac{h_{VS}^n}{2}}}$$

met:

-	$U_{VS,Xmax}^n$	Maximale waarde van de stroomsnelheid in de Y-richting in de vulstraal ter plaatse van locatie X na n tijdstappen	[m/s]
-	q_{VO}^n	Debiet door de vulopeningen (per eenheidsbreedte) na n tijdstappen	[m ² /s]
-	h_{VS}^n	Waterhoogte in kolk na n tijdstappen	[m]
-	X	Afstand tot de opwaartse deur	[m]
-	C_1, C_2	Constante	[-]
-	$X_{VS,omslagpunt}^n$	X-coördinaat van het punt waar gebied 1 van de menglaag overgaat in gebied 2	[m]
-	L_{neer}	Lengte van de neer	[m]

In vul_sluis wordt voor de constante C_2 de waarde 0 toegepast. Voor de constante C_1 worden volgende waarden toegepast:

1. vul_sluis versie A : $C_1 = 3,5$ (cfr. Rajaratnam (1976))
2. Vul_sluis versie B:

$$C_1 = \begin{cases} 3,5 \\ 3,5 - (X - X_{VS,omslagpunt}^n) \cdot \frac{3,5 - 2,0}{L_{neer} - X_{VS,omslagpunt}^n} \\ 2,0 \end{cases} \quad \begin{aligned} X &= X_{VS,omslagpunt}^n \\ X_{VS,omslagpunt}^n &< X < L_{neer} \\ X &= L_{neer} \end{aligned}$$

Om de invloed van de wijziging van de waarde van de factor C_1 na te gaan worden volgende wijzigingen aangebracht:

- Interpolatie van C_1 tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A (wijziging *release 01.52.00 modK* genoemd)

1. vul_sluis versie A :

$$C_1 = \begin{cases} 3,5 \\ 3,5 - (X - X_{VS,omslagpunt}^n) \cdot \frac{3,5 - 2,0}{L_{neer} - X_{VS,omslagpunt}^n} \\ 2,0 \end{cases} \quad \begin{aligned} X &= X_{VS,omslagpunt}^n \\ X_{VS,omslagpunt}^n &< X < L_{neer} \\ X &= L_{neer} \end{aligned}$$

2. Vul_sluis versie B:

$$C_1 = \begin{cases} 3,5 \\ 3,5 - (X - X_{VS,omslagpunt}^n) \cdot \frac{3,5 - 2,0}{L_{neer} - X_{VS,omslagpunt}^n} \\ 2,0 \end{cases} \quad \begin{aligned} X &= X_{VS,omslagpunt}^n \\ X_{VS,omslagpunt}^n &< X < L_{neer} \\ X &= L_{neer} \end{aligned}$$

- Waarde voor factor C_1 gelijk aan 3,5 in vul_sluis versie B (wijziging *release 01.52.00 modK* genoemd)

1. vul_sluis versie A : $C_1 = 3,5$
2. Vul_sluis versie B: $C_1 = 3,5$

3.5.7 Berekeningswijze $\delta q / \delta t$ voor damping van translatiegolven (*release 01.52.00 modM* en *release 01.52.00 modN*)

Tot en met vul_sluis release 01.51.00 wordt de helling van de debietscurve na n tijdstappen als volgt berekend gebruik makend van een eerste orde achterwaartse differentie (Verelst *et al.*, 2014):

$$\frac{\delta Q_{Vo}^n}{\delta t} = \frac{Q_{Vo}^n - Q_{Vo}^{n-1}}{\Delta t}$$

Met

- $\frac{\delta Q_{Vo}^n}{\delta t}$	Helling van de debietscurve na n tijdstappen	$[m^3/s^2]$
- Q_{Vo}^x	Debiet door de vulopeningen na x tijdstappen	$[m^3/s]$
- Δt	Tijdstap	$[s]$

Bij het uitvoeren van simulaties met vul_sluis in het kader van ontwerpen van nivelleersystemen is gebleken dat sprongen in de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven ontstaan. Een meer gedetailleerde analyse heeft uitgewezen dat deze sprongen ontstaan na toepassen van de formuleringen voor de damping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Meer bepaald worden deze sprongen gegenereerd wanneer de eerste afgeleide van het debiet door de openingen naar de tijd ook een discontinu verloop vertoont. Dit discontinue verloop van de eerste afgeleide van het debiet naar de tijd ontstaat voornamelijk bij abrupte wijzigingen in de openingssnelheid van kleppen of schuiven (vb. bij een openingswet met stops).

Om na te gaan of de discretisatiemethode van de berekening van de helling van de debietscurve invloed heeft op het ontstaan van deze sprongen zijn volgende wijzigingen aangebracht:

1. Toepassen van een tweede orde achterwaartse differentie (wijziging *release 01.52.00 modM* genoemd)

$$\frac{\delta Q_{VO}^n}{\delta t} = \frac{\frac{3}{2} Q_{VO}^n - 2 Q_{VO}^{n-1} + \frac{1}{2} Q_{VO}^{n-2}}{\Delta t}$$

2. Toepassen van een derde orde achterwaartse differentie (wijziging *release 01.52.00 modN* genoemd)

$$\frac{\delta Q_{VO}^n}{\delta t} = \frac{\frac{11}{6} Q_{VO}^n - 3 Q_{VO}^{n-1} + \frac{3}{2} Q_{VO}^{n-2} - \frac{1}{3} Q_{VO}^{n-3}}{\Delta t}$$

3.6 Vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01

Op basis van de resultaten van de analyses in hoofdstuk 5 (invloed wijzigingen aan code van vul_sluis) en hoofdstuk 6 (analyse van de waarde van een aantal interne parameters) is een nieuwe release van vul_sluis gedefinieerd, namelijk vul_sluis release 01.53.00.

Vooreerst zijn een aantal wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00 toegepast bij de definitie van de nieuwe release. Een overzicht van de toepaste wijzigingen is beschreven in paragraaf 3.6.1. Met het oog op het vervolg van het onderzoek (onder andere de validatie van vul_sluis) zijn ook nog volgende aanpassingen doorgevoerd:

- Het integreren van de code van de speciale versies van vul_sluis in de code en en het toelaten van van optionele invoer in de inputfile (paragraaf 3.6.2).
- Een nauwkeurigere berekening van de ligging van het omslagpunt (paragraaf 3.6.3).
- Aanpassing van de formulering voor de berekening van de waterstand in de bijkomende uitvoerpunten (paragraaf 3.6.4).
- Aanpassing van de berekening van de parameter Z_{BB} bij afwezigheid van breekbalken (paragraaf 3.6.5).
- Aanpassing van de berekening van de hoogte van de vulstraal (paragraaf 3.6.6).

Na de definitie van vul_sluis release 01.53.00 is nog een kleine programmeerfout ontdekt in de subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m* (paragraaf 3.6.7). Het oplossen van deze programmeerfout heeft geleid tot vul_sluis release 01.53.01.

3.6.1 Wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00

Rekening houdend met resultaten van de analyses in hoofdstuk 5 worden volgende wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00 in rekening gebracht:

- Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal (release 01.52.00 wijziging modA). De gewijzigde formuleringen zijn beschreven in paragraaf 3.5.1.
- De correcte formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 wijziging modE). De gewijzigde formuleringen zijn beschreven in paragraaf 3.5.3.
- De aanpassing van de integratiegrenzen bij de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 wijziging modF). De gewijzigde formuleringen zijn beschreven in paragraaf 3.5.4.
- De theoretisch correcte aanwezigheid van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname (release 01.52.00 wijziging modI) en vulstraalwerking

(release 01.52.00 wijziging modG). Voor de aanpassingen aan de formuleringen wordt verwezen naar paragraaf 3.5.5.

De in paragraaf 5.9 vermelde wijziging van de stapgrootte naar 0.01 m bij de berekening van de ligging van het omslagpunt wordt niet uitgevoerd, omdat uit hoofdstuk 6 volgt dat de variatie in de tijd van de ligging van het omslagpunt een aantal sprongen vertoont. Deze sprongen volgen uit de (eenvoudige) berekeningswijze van de ligging van het omslagpunt. Het verkleinen van de stapgrootte zoals toegepast in vul_sluis release 01.52.00 mod B en vul_sluis release 01.52.00 mod C zal deze sprongen niet verhelpen, maar wel verkleinen. Om die reden is een nauwkeurigere berekening van het omslagpunt aanbevolen. Dit wordt beschreven in paragraaf 3.6.3.

3.6.2 Integreren van code van speciale versies in de code en het toelaten optionele input in de invoerfile

In Verelst *et al.* (2016a) is de speciale versie vul_sluis release 01.30.s.00 gedefinieerd. In deze versie was het mogelijk om bij de berekening van de langskracht ten gevolge van impulsafname geen loslating aan hek, respectievelijk boeg van het schip te beschouwen bij vullen, respectievelijk ledigen van een sluis. Daarnaast was het in deze speciale versie, met het oog op een vergelijking met Delft3D en LOCKSIM, mogelijk om geen rekening te houden met de invloed van de vulstraal op de langskracht ten gevolge van impulsafname.

Daarnaast is in paragraaf 3.3 de speciale versie vul_sluis release 01.51.s.00 gedefinieerd, waarbij een groot aantal interne variabelen worden weggeschreven naar de .mat-outputfile van vul_sluis.

Met het oog op de validatie van vul_sluis en met het oog op de vergelijking van vul_sluis, LOCKFILL, LOCKSIM en Delft3D binnen dit project, worden de aanpassingen van de code van deze beide speciale versies standaard geïntegreerd in de code van vul_sluis. Voor de aangepaste formuleringen uit vul_sluis release 01.30.s.00 wordt verwezen naar Verelst *et al.* (2016a). Om deze speciale versies van vul_sluis aan te roepen wordt aan de inputfile het blok '8.0 SPECIAL' uit Figuur 6 toegevoegd.

Figuur 6 – Toevoeging blok SPECIAL aan invoerfile

8.0 SPECIAL	!!!! OPTIONEEL

% [EXTRA_OUTPUT]	Extra uitvoer van interne variabelen: J/N (default: N)
J	
% [LOSLATING]	Beschouwen van loslating aan boeg/hek: J/N (default: J)
J	
% [VULSTRAAL]	Beschouwen invloed vulstraal bij langskracht t.g.v. impulsafname; J/N (default: J)
J	

Bij Figuur 6 wordt opgemerkt dat voor de keywords LOSLATING en VULSTRAAL gekozen is voor een formulering, waarbij 'N' in de inputfile overeenkomt met het toepassen van de speciale versie van vul_sluis. Indien invloed van loslating en invloed van de vulstraal beschouwd wordt, zoals in vorige versies standaard aanwezig was, dient bijgevolg 'J' opgegeven te worden.

De code van de subroutine vul_sluis_lees_invoer.m is ook zodanig aangepast dat de blokken '6.0 DEURKAS ROLDEUR', '7.0 EXTRA UITVOERPTN' en '8.0 SPECIAL' optioneel op te geven zijn. Indien deze niet aanwezig zijn in de invoerfile wordt default volgende input beschouwd:

- Geen extra oppervlaktes van deurkassen bij roldeuren ('N' als input bij keyword [DEURKAS]).
- Geen extra uitvoerpunten ('N' als input bij keyword [EXTRA_UITVOER]).
- Geen extra uitvoer van interne variabelen ('N' als input bij keyword [EXTRA_OUTPUT]).
- Loslating aan hek, respectievelijk boeg van het schip wordt standaard beschouwd bij vullen, respectievelijk ledigen van een sluis ('J' als input bij keyword [LOSLATING]).

- De invloed van de vulstraal wordt standaard beschouwd bij de berekening van de langskracht ten gevolge van impulsafname ('J' als input bij keyword [VULSTRAAL]).

Daarnaast is de code ook aangepast zodat een controle op het ontbreken van de verplichte blokken '1.0 ALGEMEEN', '2.0 OPWAARTS KANAALPAND', '3.0 SLUISKOLK', '4.0 SCHIP' en '5.0 VULLEDIGINGSSYSTEEM' wordt uitgevoerd.

3.6.3 Nauwkeurigere berekening omslagpunt

In vul_sluis wordt de berekening van het omslagpunt als volgt uitgevoerd (zie ook paragraaf 3.5.2):

- Voor alle waarden van de vector [0:1:100] wordt het debiet volgens de beide formuleringen berekend ($q_{VS,X1}^n(x)$ en $q_{VS,X2}^n(x)$).
- Het omslagpunt is de locatie waar $q_{VS,X2}^n(x)$ groter wordt dan $q_{VS,X1}^n(x)$.
- In het geval geen snijpunt tussen beide curves wordt berekend, wordt $\frac{12 h_{VS}^n}{2}$ als locatie van het omslagpunt beschouwd.

In paragraaf 3.5.2 werd volgende tweedegraadsvergelijking vermeld, dewelke bekomen wordt na het gelijkstellen van de uitdrukkingen voor $q_{VS,X1}^n(x)$ en $q_{VS,X2}^n(x)$:

$$\left(\frac{1}{0,4 \cdot L_{neer}}\right)^2 \cdot (X_{VS,omslagpunt}^n)^2 - \left(\frac{4}{(0,4)^2 \cdot L_{neer}} + \frac{1}{\frac{h_{VS}^n}{2}}\right) \cdot X_{VS,omslagpunt}^n + \left(\frac{2}{0,4}\right)^2 = 0$$

Met:

- | | | |
|-------------------------|--|-----|
| - $X_{VS,omslagpunt}^n$ | X-coördinaat van het punt waar gebied 1 van de menglaag overgaat in gebied 2 | [m] |
| - L_{neer} | Lengte van de neer | [m] |
| - h_{VS}^n | Hoogte van de vulstraal juist na de opwaartse deur na n tijdstappen | [m] |

In vul_sluis release 01.53.00 wordt de locatie van het omslagpunt nauwkeuriger berekend door de wortels te zoeken van deze tweedegraadsvergelijking. Dit wordt uitgevoerd met behulp van de Matlab-functie roots.m. Na verwijderen van eventuele imaginaire of negatieve wortels, wordt het omslagpunt gegeven door de kleinste positieve wortel van de tweedegraadsvergelijking.

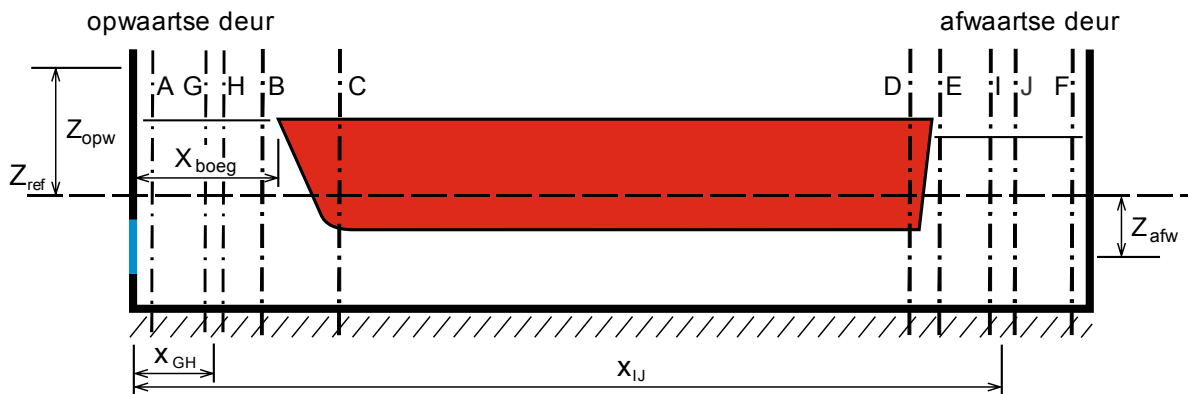
3.6.4 Aanpassing van de formulering voor de berekening van de waterstand in de bijkomende uitvoerpunten

In Verelst *et al.* (2016c) werden voor de definitie van de bijkomende uitvoerpunten volgende 10 raaien in de sluiskolk gedefinieerd:

- raai A: juist na de deur met de vulopeningen (opwaartse deur)
- raai B: juist voor de boeg van het schip
- raai C: juist na de boeg van het schip
- raai D: juist voor het hek van het schip
- raai E: juist na het hek van het schip
- raai F: juist voor de afwaartse deur
- raai G: juist voor extra uitvoerpunt UO tussen opwaartse sluisdeur en de boeg van het schip.
- raai H: juist na extra uitvoerpunt UO tussen opwaartse sluisdeur en de boeg van het schip.
- raai I: juist voor extra uitvoerpunt UA tussen hek van het schip en de afwaartse sluisdeur.
- raai J: juist na extra uitvoerpunt UA tussen hek van het schip en de afwaartse sluisdeur.

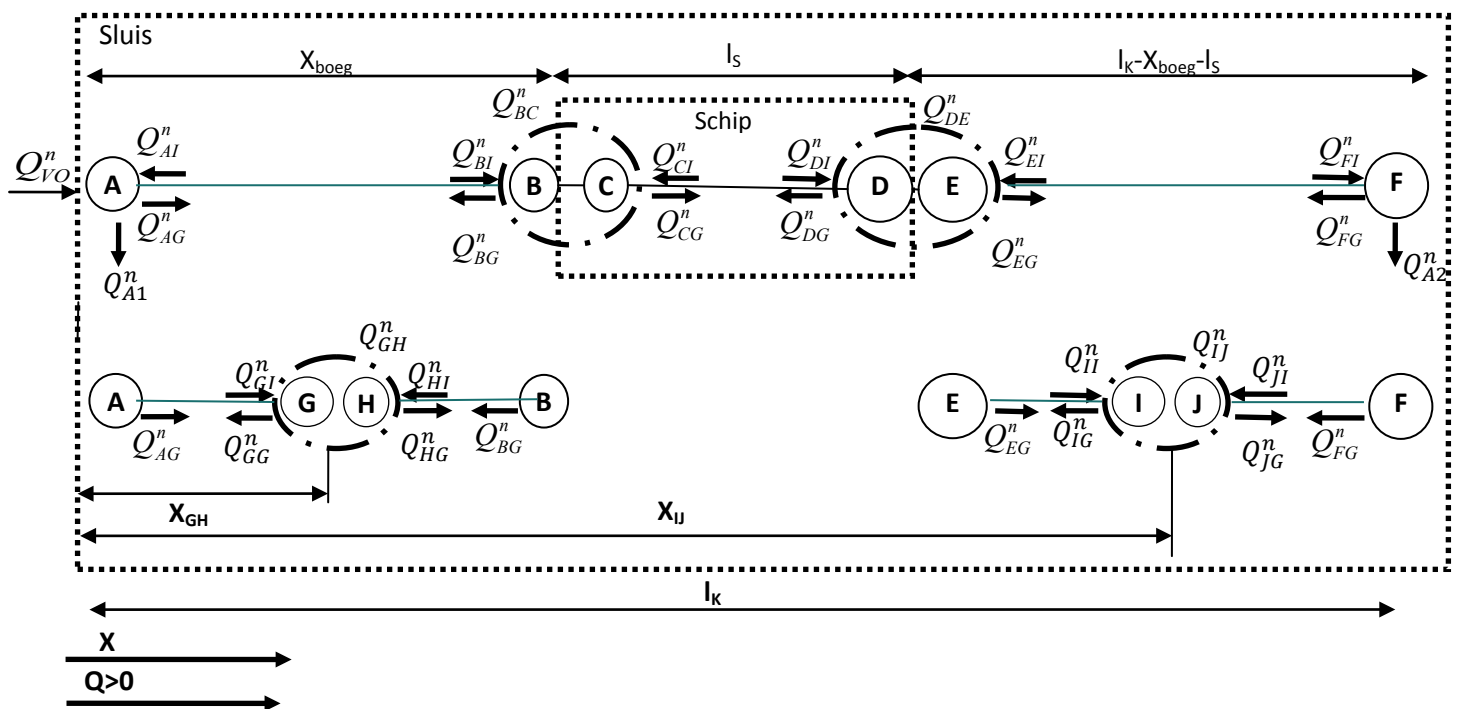
Figuur 7 geeft een grafische voorstelling van de ligging van deze raaien.

Figuur 7 - Voorstelling sluis met situering raaien



In Verelst *et al.* (2016c) werd opgemerkt dat de werkwijze voor het berekenen van de waterstand in de uitvoerpunten het numeriek model wijzigt en dat dit een beperkte invloed heeft op de berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven. Om die reden is de schematische voorstelling voor de bepaling van het inkomend en het gegenereerd debiet voor elke raai op tijdstip t gewijzigd zoals voorgesteld in Figuur 8. De berekening van waterstanden en debieten in raaien A, B, C, D, E en F wordt uitgevoerd zonder rekening te houden met de locatie van uitvoerpunten. De waterstanden en debieten in de raaien G, H, I en J ter plaatse van de uitvoerlocaties worden op een analoge wijze berekend, maar in een aparte lus bovenop de berekening van waterstanden en debieten in raaien A, B, C, D, E en F.

Figuur 8 – Schematische voorstelling van inkomende en gegenereerde debieten in de verschillende knooppunten



In Figuur 8 wordt voor de inkomende en gegenereerde debieten volgende notatie toegepast:

Q_{XI}^n	Inkomend debiet voor sectie X na n tijdstappen, hierin is X: sectie A tot en met J	$[m^3/s]$
Q_{XG}^n	Gegenereerd debiet voor sectie X na n tijdstappen,	$[m^3/s]$

	hierin is X: sectie A tot en met J	
Q_{BC}^n	Debiet ter plaatse van de boeg van het schip na n tijdstappen	$[m^3/s]$
Q_{DE}^n	Debiet ter plaatse van het hek van het schip na n tijdstappen	$[m^3/s]$
Q_{GH}^n	Debiet ter plaatse van het punt UO na n tijdstappen	$[m^3/s]$
Q_{IJ}^n	Debiet ter plaatse van het punt UA na n tijdstappen	$[m^3/s]$

Rekening houdend met de voor de simulatie toegepaste tijdstap Δt kan afgeleid worden dat:

- Het aantal tijdstappen N_{opw}^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen de opwaartse sluisdeur en de boeg van het schip af te leggen gelijk is aan:

$$N_{opw}^n = \frac{X_{boeg}}{c_K^n \cdot \Delta t}$$

- Het aantal tijdstappen N_{opw1}^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen de opwaartse deur en het uitvoerpunt UO af te leggen gelijk is aan:

$$N_{opw1}^n = \frac{X_{GH}}{c_K^n \cdot \Delta t}$$

- Het aantal tijdstappen N_{opw2}^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen uitvoerpunt UO en de de boeg van het schip af te leggen gelijk is aan:

$$N_{opw2}^n = \frac{X_{boeg} - X_{GH}}{c_K^n \cdot \Delta t}$$

- Het aantal tijdstappen N_s^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen boeg en hek van het schip ($=L_s$) af te leggen gelijk is aan:

$$N_s^n = \frac{l_s}{c_s^n \cdot \Delta t}$$

- Het aantal tijdstappen N_{afw}^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen hek van het schip en de afwaartse sluisdeur af te leggen gelijk is aan:

$$N_{afw}^n = \frac{l_K - X_{boeg} - l_s}{c_K^n \cdot \Delta t}$$

- Het aantal tijdstappen N_{afw1}^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen hek van het schip en het punt UA af te leggen gelijk is aan:

$$N_{afw1}^n = \frac{X_{IJ} - X_{boeg} - l_s}{c_K^n \cdot \Delta t}$$

- Het aantal tijdstappen N_{afw2}^n dat een translatiegolf nodig heeft om de afstand tussen het punt UA en de afwaartse sluisdeur af te leggen gelijk is aan:

$$N_{afw2}^n = \frac{l_K - X_{IJ}}{c_K^n \cdot \Delta t}$$

Aan de hand van Figuur 8 en met behulp van de hierboven gedefinieerde parameters kan het inkomende en gegenereerde debiet ter plaatse van de secties A tot en met J berekend worden.

Voor het inkomend debiet wordt dit:

- Het inkomend debiet voor sectie A is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{opw}^n tijdstappen vroeger in B gegenereerd is

$$Q_{AI}^n = Q_{BG}^{n-N_{opw}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie G is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{opw1}^n tijdstappen vroeger in A gegenereerd is

$$Q_{GI}^n = Q_{AG}^{n-N_{opw1}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie H is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{opw2}^n tijdstappen vroeger in B gegenereerd is

$$Q_{HI}^n = Q_{BG}^{n-N_{opw2}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie B is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{opw}^n tijdstappen vroeger in A gegenereerd is

$$Q_{BI}^n = Q_{AG}^{n-N_{opw}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie C is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_S^n tijdstappen vroeger in D gegenereerd is

$$Q_{CI}^n = Q_{DG}^{n-N_S^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie D is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_S^n tijdstappen vroeger in C gegenereerd is

$$Q_{DI}^n = Q_{CG}^{n-N_S^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie E is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{afw}^n tijdstappen vroeger in F gegenereerd is

$$Q_{EI}^n = Q_{FG}^{n-N_{afw}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie I is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{afw1}^n tijdstappen vroeger in E gegenereerd is

$$Q_{II}^n = Q_{EG}^{n-N_{afw1}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie J is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{afw2}^n tijdstappen vroeger in F gegenereerd is

$$Q_{JI}^n = Q_{FG}^{n-N_{afw2}^n}$$

- Het inkomend debiet voor sectie F is het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{afw}^n tijdstappen vroeger in E gegenereerd is

$$Q_{FI}^n = Q_{EG}^{n-N_{afw}^n}$$

Voor het gegenereerd debiet wordt dit:

- Het ter plaatse van sectie A gegenereerd debiet is gelijk aan de som van het debiet dat op tijdstip n door de vulopeningen de sluiscolk binnenkomt, het debiet dat naar de extra te nivelleren oppervlakte A_1 stroomt en het debiet van de reflectie van de inkomende golf tegen de afwaartse deur (het debiet afkomstig van een translatiegolf die N_{opw}^n tijdstappen vroeger in B gegenereerd is):

$$Q_{AG}^n = Q_{VO}^n - Q_{AI}^n - Q_{A1}^n = Q_{VO}^n - Q_{BG}^{n-N_{opw}^n} - Q_{A1}^n$$

- Het debiet ter plaatse van het punt UO (Q_{GH}^n) wordt als volgt berekend uit de debieten van de translatiegolven die toekomen in de raaien G en H:

$$Q_{GH}^n = 2 \cdot \frac{\frac{Q_{GI}^n}{c_K^n} + \frac{Q_{HI}^n}{c_K^n}}{\frac{1}{c_K^n} + \frac{1}{c_K^n}} = Q_{GI}^n + Q_{HI}^n = Q_{AG}^{n-N_{opw1}^n} + Q_{BG}^{n-N_{opw2}^n}$$

- Het debiet door sectie G is gelijk aan het debiet ter plaatse van het punt UO (Q_{GH}^n), verminderd met het inkomend debiet in sectie G (het debiet van een translatiegolf die N_{opw1}^n tijdstappen vroeger in A gegenereerd is):

$$Q_{GG}^n = Q_{GH}^n - Q_{GI}^n = Q_{GH}^n - Q_{AG}^{n-N_{opw1}^n}$$

- Het debiet door sectie H is gelijk aan het debiet ter plaatse van het punt UO (Q_{GH}^n), verminderd met het inkomend debiet in sectie H (het debiet van een translatiegolf die N_{opw2}^n tijdstappen vroeger in B gegenereerd is):

$$Q_{HG}^n = Q_{GH}^n - Q_{HI}^n = Q_{GH}^n - Q_{BG}^{n-N_{opw2}^n}$$

- Het debiet ter plaatse van de boeg (Q_{BC}^n) wordt als volgt berekend uit de debieten van de translatiegolven die toekomen in de raaien B en C:

$$Q_{BC}^n = 2 \cdot \frac{\frac{Q_{BI}^n}{c_K^n} + \frac{Q_{CI}^n}{c_S^n}}{\frac{1}{c_K^n} + \frac{1}{c_S^n}} = 2 \cdot \frac{\frac{Q_{AG}^{n-N_{opw}^n}}{c_K^n} + \frac{Q_{DG}^{n-N_S^n}}{c_S^n}}{\frac{1}{c_K^n} + \frac{1}{c_S^n}}$$

- Het debiet door sectie B is gelijk aan het debiet ter plaatse van de boeg Q_{BC}^n , verminderd met het inkomend debiet in sectie B (het debiet van een translatiegolf die N_{opw}^n tijdstappen vroeger in A gegenereerd is):

$$Q_{BG}^n = Q_{BC}^n - Q_{BI}^n = Q_{BC}^n - Q_{AG}^{n-N_{opw}^n}$$

- Het debiet door sectie C is gelijk aan het debiet ter plaatse van de boeg Q_{BC}^n , verminderd met het inkomend debiet in sectie C (het debiet van een translatiegolf die N_S^n tijdstappen vroeger in D gegenereerd is):

$$Q_{CG}^n = Q_{BC}^n - Q_{CI}^n = Q_{BC}^n - Q_{DG}^{n-N_S^n}$$

- Het debiet ter plaatse van het hek (Q_{DE}^n) wordt als volgt berekend uit de debieten van de translatiegolven die toekomen in de raaien D en E:

$$Q_{DE}^n = 2 \cdot \frac{\frac{Q_{DI}^n}{c_S^n} + \frac{Q_{EI}^n}{c_K^n}}{\frac{1}{c_K^n} + \frac{1}{c_S^n}} = 2 \cdot \frac{\frac{Q_{CG}^{n-N_S^n}}{c_S^n} + \frac{Q_{FG}^{n-N_{afw}^n}}{c_K^n}}{\frac{1}{c_K^n} + \frac{1}{c_S^n}}$$

- Het debiet door sectie D is gelijk aan het debiet ter plaatse van het hek (Q_{DE}^n), verminderd met het inkomend debiet in sectie D (het debiet van een translatiegolf die N_S^n tijdstappen vroeger in C gegenereerd is):

$$Q_{DG}^n = Q_{DE}^n - Q_{DI}^n = Q_{DE}^n - Q_{CG}^{n-N_S^n}$$

- Het debiet door sectie E is gelijk aan het debiet ter plaatse van het hek (Q_{DE}^n), verminderd met het inkomend debiet in sectie E (het debiet van een translatiegolf die N_{afw}^n tijdstappen vroeger in F gegenereerd is):

$$Q_{EG}^n = Q_{DE}^n - Q_{EI}^n = Q_{DE}^n - Q_{FG}^{n-N_{afw}^n}$$

- Het debiet ter plaatse het punt UA (Q_{IJ}^n) wordt als volgt berekend uit de debieten van de translatiegolven die toekomen in de raaien I en J:

$$Q_{IJ}^n = 2 \cdot \frac{\frac{Q_{II}^n}{c_K^n} + \frac{Q_{JI}^n}{c_K^n}}{\frac{1}{c_K^n} + \frac{1}{c_K^n}} = Q_{II}^n + Q_{JI}^n = Q_{EG}^{n-N_{afw1}^n} + Q_{FG}^{n-N_{afw2}^n}$$

- Het debiet door sectie I is gelijk aan het debiet ter plaatse van het punt UA (Q_{IJ}^n), verminderd met het inkomend debiet in sectie I (het debiet van een translatiegolf die N_{afw1}^n tijdstappen vroeger in E gegenereerd is):

$$Q_{IG}^n = Q_{IJ}^n - Q_{II}^n = Q_{IJ}^n - Q_{EG}^{n-N_{afw1}^n}$$

- Het debiet door sectie J is gelijk aan het debiet ter plaatse van het punt UA (Q_{IJ}^n), verminderd met het inkomend debiet in sectie J (het debiet van een translatiegolf die N_{afw2}^n tijdstappen vroeger in F gegenereerd is):

$$Q_{JG}^n = Q_{IJ}^n - Q_{JI}^n = Q_{IJ}^n - Q_{FG}^{n-N_{afw2}^n}$$

- Het gegenereerde debiet ter plaatse van raai F is gelijk aan het inkomende debiet (het debiet van de translatiegolf die N_{afw}^n tijdstappen vroeger in E gegenereerd is), verminderd met het debiet naar de extra te nivelleren oppervlakte A_2 .

$$Q_{FG}^n = 0 - Q_{FI}^n + Q_{A2}^n = 0 - Q_{EG}^{n-N_{afw}^n} + Q_{A2}^n$$

(0: debiet door afwaartse sluisdeur)

Uit deze inkomende en gegenereerde debieten kan, rekening houdend met de tekenconventie voor de debieten uit Figuur 8, de golfhogte van de inkomende en gegenereerde golven berekend worden. De formuleringen voor de berekening van deze golfhogtes en het vervolg van de berekening van de waterhoogte in de verschillende secties, de langskracht ten gevolge van translatiegolven op het schip en de

waterspiegelhellingen tussen de bijkomende uitvoerpunten is niet gewijzigd. Voor de formulering hiervan wordt verwezen naar Verelst *et al.* (2016b).

Bij de berekening van de waterstand in de uitvoerpunten wordt opgemerkt dat in de originele formulering uit Verelst *et al.* (2016b) standaard één uitvoerpunt werd gedefinieerd midden tussen de opwaartse sluisdeur en de boeg van het schip en één uitvoerpunt midden tussen het hek van het schip en de afwaartse sluisdeur indien in de invoerfile 'N' werd opgegeven bij het keyword [EXTRA_UITV]. Dit is in vul_sluis release 01.53.00 gewijzigd. Indien het blok 7.0 EXTRA_UITVOERPTN niet aanwezig is in de invoerfile of indien 'N' wordt opgegeven bij het keyword [EXTRA_UITV] in dit blok, worden geen extra uitvoerpunten gedefinieerd. De variabelen met de waterspiegelhellingen tussen deze extra uitvoerpunten worden dan ook niet weggeschreven naar de outputfile. Daarnaast is in de routine *vul_sluis_preprocessing.m* ook een contole toegevoegd op de ingevoerde coördinaten van de extra uitvoerpunten. Indien het opwaartse uitvoerpunt niet gelegen is tussen de opwaartse sluisdeur en de boeg van het schip of indien het afwaartse uitvoerpunt zich niet bevindt tussen het hek van het schip en de afwaartse sluisdeur, wordt een foutboodschap gegenereerd.

3.6.5 Aanpassing berekening parameter Z_{BB} bij afwezigheid van breekbalken

In hoofdstuk 6 is vastgesteld dat geen waarden voor $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ berekend worden indien in de inputfile de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) wordt toegepast. In dat geval wordt in vul_sluis release 01.51.00 in de inputfile het niveau van de onderzijde van de opening (parameter Z_{OV}) ingelezen (zie paragraaf 3.2). Hierbij wordt de parameter Z_{BB} , bovenzijde van de breekbalken, vervangen door NaN, waardoor ook $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ gelijk worden aan NaN, aangezien de formuleringen voor deze beide variabelen gebruik maken van de parameter Z_{BB} . Daarnaast is ook vastgesteld dat in releases van vul_sluis voorafgaand aan release 01.51.00 de onderzijde van de vulopening werd ingelezen als de parameter Z_{BB} , omwille van het gebruik van de dubbele naamgeving. Hierdoor werden de parameters $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ foutief berekend vanaf de onderzijde van de opening, terwijl deze parameters gelijk zijn aan het peil van de bovenzijde van de vulstraal ter plaatse van de boeg.

In vul_sluis release 01.53.00 is de code van de subroutine *vul_sluis_simulatie.m* aangepast zodat bij de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) in de inputfile de parameter Z_{BB} als volgt berekend wordt:

1. Hefschuiven:

$$Z_{BB} = Z_{OV} + h_{VS}^n$$

Met:

-	Z_{BB}	Peil bovenzijde breekbalken	[mZref]
-	Z_{OV}	Peil onderzijde vulopening	[mZref]
-	h_{VS}^n	Hoogte vulstraal na n tijdstappen	[m]

2. Vlinderkleppen:

$$Z_{BB} = Z_{OV} + D_{VO}$$

Met:

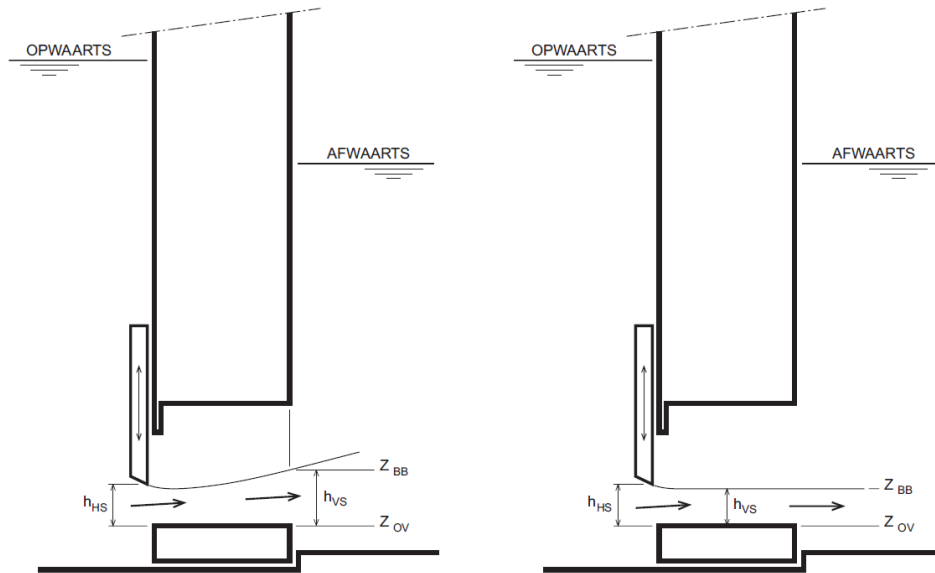
-	Z_{BB}	Peil bovenzijde breekbalken	[mZref]
-	Z_{OV}	Peil onderzijde vulopening	[mZref]
-	D_{VO}	Diameter van de cirkelvormige opening	[m]

Hierbij wordt opgemerkt dat de naamgeving van de parameter Z_{BB} , namelijk peil bovenzijde breekbalken, behouden is. Aangezien geen breekbalken aanwezig zijn wordt eigenlijk het peil van de bovenzijde van de vulstraal bedoeld.

Op deze wijze worden de parameters $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ op een correcte wijze berekend bij de berekening van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Hierbij wordt wel verondersteld dat zich bij hefschuiven tussen de hefschuif en de afwaartse zijde van de voor nivelleren gebruikte sluisdeur geen uitspreiding van de vulstraal meer voordoet (Figuur 9). Er kan echter wel rekening gehouden worden met

enige contractie van de vulstraal, zoals door de gebruiker in de inputfile van de simulatie wordt opgegeven aan de hand van de contractiecoëfficiënt.

Figuur 9 – Uitspreiding vulstraal in de opening in de sluisdeur



Links: werkelijke uitspreiding van de vulstraal in de opening in de sluisdeur; rechts: schematisatie in vul_sluis;
 h_{HS} : hefhoogte hefschuif [m]; h_{VS} : hoogte vulstraal [m]; Z_{OV} : peil onderzijde opening [mZref]; Z_{BB} : peil bovenzijde vulstraal [mZref].

3.6.6 Aanpassing berekening hoogte vulstraal en peil midden vulstraal

Bij toepassen van de optie 'BREEKB=' (breekbalken aanwezig) in de inputfile wordt in vul_sluis versie A de hoogte h_{VS}^n van de vulstraal ter plaatse van de opwaartse deur na n tijdstappen als volgt berekend (Verelst *et al.*, 2016a):

$$h_{VS}^n = \begin{cases} \frac{A_{VO}^n}{b_k} & \text{als } A_{VS,BBmax} \leq A_{VO,max} \\ \frac{A_{VS,BBmax}}{b_k} & \text{als } A_{VS,BBmax} > A_{VO,max} \end{cases}$$

In hoofdstuk 6 wordt vastgesteld dat bij opgave van een waarde voor $A_{VS,BBmax}$ in de inputfile die gelijk is aan de totale oppervlakte van de openingen in sommige gevallen toch een constante waarde van de hoogte van de vulstraal (gelijk aan $A_{VS,BBmax}/b_k$). berekend wordt. De reden hiervoor is dat de waarde voor $A_{VO,max}$

intern berekend wordt in vul_sluis en dat deze door afrondingsfouten een grootte-orde 10^{-15} kleiner kan zijn dan de opgegeven waarde voor $A_{VS,BBmax}$. Anderzijds leert de praktijk ook dat de waarde voor $A_{VS,BBmax}$ in de inputfile meestal wordt afgerond tot twee cijfers na de komma. Bij een afronding naar boven wordt dan niet meer voldaan aan de voorwaarde dat $A_{VS,BBmax} \leq A_{VO,max}$, alhoewel dit wel de bedoeling was van de gebruiker. Om die reden is de code van de subroutine *vul_sluis_simulatie.m* als volgt aangepast.

$$h_{VS}^n = \begin{cases} \frac{A_{VO}^n}{b_k} & \text{als } A_{VS,BBmax} \leq \text{round}(A_{VO,max}, 2) \\ \frac{A_{VS,BBmax}}{b_k} & \text{als } A_{VS,BBmax} > \text{round}(A_{VO,max}, 2) \end{cases}$$

Op deze wijze wordt wel de correcte formulering toegepast voor de berekening van de hoogte van de vulstraal in vul_sluis versie A. In de inputfile van het programma wordt bij de parameter $A_{VS,BBmax}$ vermeld dat deze parameter met twee cijfers na de komma dient opgegeven te worden. Het is aanbevolen om in toekomstige versies van vul_sluis (bijvoorbeeld in een logfile) een waarschuwing te geven en te vermelden welke waarde gebruikt wordt voor het berekenen van de hoogte van de vulstraal.

Daarnaast is vastgesteld dat bij toepassen van de optie 'BREEKB=N' bij openingen in de deur afgesloten met hefschuiven de berekening van het peil van het midden van de vulstraal als volgt wordt uitgevoerd, zowel in versie A als in versie B van vorige releases van vul_sluis:

$$h_{VS,m}^n = Z_{OV} + \frac{h_{HS}^n * C_c^n}{2} - Z_b$$

Met:

- $h_{VS,m}^n$	Hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal	[m]
- Z_{OV}	Peil onderzijde opening	[mZref]
- h_{HS}^n	Hoogte hefschuiven na n tijdstappen	[m]
- Z_b	Bodempeil sluiskolk	[mZref]
- C_c^n	Waarde van de contractiecoëfficiënt na n tijdstappen	[-]

Dit is echter niet consequent met de werkwijze zoals toegepast bij de optie 'BREEKB=J' (wel breekbalken aanwezig). Om deze beide formulering consequent te maken is in vul_sluis release 01.53.00 de formulering voor de berekening van het peil van het midden van de vulstraal bij optie 'BREEKB=N' als volgt gewijzigd:

1. vul_sluis versie A

$$h_{VS,m}^n = Z_{OV} + \frac{A_{VO}^n}{2 \cdot b_K} * C_c^n - Z_b$$

2. Vul_sluis versie B

$$h_{VS,m}^n = Z_{OV} + \frac{h_{HS}^n}{2} * C_c^n - Z_b$$

Met:

- A_{VO}^n	Totale oppervlakte van de openingen na n tijdstappen	[m ²]
- b_K	Breedte kolk	[m]
- h_{HS}^n	Hoogte hefschuiven na n tijdstappen	[m]

3.6.7 Aanpassing vul_sluis impuls_straal.m in vul_sluis release 01.53.01

In vul_sluis release 01.42.vA.07 en vul_sluis release 01.42.vB.07 is de formulering voor de berekening van de lengte van de neer uit de subroutine vul_sluis_impuls_straal.m als volgt gewijzigd (Verelst *et al.*, 2016b):

Figuur 10 – Berekening lengte van de neer voor $h_{VS,Q}^n < h_{VS,m}^n + h_{VS}^n/2$

$$\begin{aligned}
 & 3). h_{VS,Q}^n < h_{VS,m}^n + h_{VS}^n/2 \\
 & L_{neer} = \begin{cases} \frac{\left(h_K^n - h_{VS,m}^n - \frac{h_{VS}^n}{2} \right)}{\left(\tan(\phi) + \frac{1}{6} \right)} & h_{VS,Q}^n \geq h_K^n \\ \begin{cases} X_{VS,G}^n + 4 \cdot h_K^n & h_{VS,H}^n \leq h_K^n \\ 4 \cdot (h_K^n - h_{VS,m}^n) & h_{VS,H}^n = \infty > h_K^n, h_K^n \geq h_{VS,m}^n + \frac{X_{VS,B}^n}{4} \\ 6 \cdot \left(h_K^n - \left(h_{VS,m}^n + \frac{h_{VS}^n}{2} \right) \right) & h_{VS,H}^n = \infty > h_K^n, h_K^n < h_{VS,m}^n + \frac{X_{VS,B}^n}{4} \end{cases} & h_{VS,Q}^n < h_K^n \\ \frac{X_{VS,H}^n \cdot (h_K^n - h_{VS,Q}^n) + X_{VS,G}^n \cdot (h_{VS,H}^n - h_K^n)}{(h_{VS,H}^n - h_{VS,Q}^n)} & h_{VS,H}^n > h_K^n \end{cases}
 \end{aligned}$$

Bij de implementatie van deze aanpassing in vul_sluis release 01.42.vA.07 en vul_sluis release 01.42.vB.07 echter is $h_{VS,Q}^n \geq h_K^n$ foutievelijk gewijzigd in $h_{VS,Q}^n \leq h_K^n$ en $h_{VS,Q}^n < h_K^n$ in $h_{VS,Q}^n > h_K^n$, terwijl dit in releases van vul_sluis voorafgaand aan vul_sluis release 01.42.vA.07 en vul_sluis release 01.42.vB.07 wel correct geïmplementeerd was.

Dit is echter vastgesteld na de definitie van vul_sluis release 01.53.00. Om die reden is dit opnieuw gewijzigd naar de juiste formulering in vul_sluis release 01.53.01.

3.7 Vul_sluis release 01.54.00

In paragraaf 3.6 is, op basis van de analyses in dit rapport, vul_sluis release 01.53.01 gedefinieerd. In hoofdstuk 6 is onderzocht op welke wijze sprongen in de berekende langskracht ontstaan. Deze sprongen ontstaan namelijk doordat bij de berekening van de impuls in de vulstraal op een discontinue wijze overgegaan wordt tussen twee verschillende formuleringen. In vul_sluis release 01.53.01 (zie hoofdstuk 7) is het ontstaan van deze sprongen echter nog niet opgelost.

Om die reden is een studieopdracht aan het Laboratorium voor Hydraulica van de Universiteit Gent uitgeschreven naar de berekening van debiet en impuls in de vulstraal. Aan de hand van de literatuur met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraal uit Vrijburcht *et al.* (1988) zijn de formuleringen voor de berekening van debiet en impuls in de vulstraal opnieuw afgeleid. Het resultaat van deze studieopdracht is beschreven in Schindfessel & De Mulder (2017). Hierbij werd ook de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* opgeleverd die de berekening van debiet en impuls in de vulstraal uitvoert.

De berekening van debiet en impuls in de vulstraal in de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* wordt als volgt uitgevoerd:

1. De berekening van de lengte van de neer wordt als volgt uitgevoerd:

$$\frac{L_{neer}}{(h_2^n - h_{VS}^n)} = \begin{cases} 6 & \frac{h_2^n}{h_{VS}^n} < 2 \\ 4 + \frac{2}{\left(\frac{h_2^n}{h_{VS}^n} - 1\right)} & \frac{h_2^n}{h_{VS}^n} \geq 2 \end{cases}$$

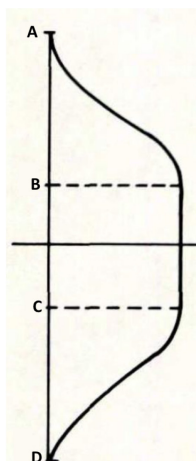
Met:

- L_{neer} Lengte van de neer [m]
 - h_{VS}^n Hoogte van de vulopening na n tijdstappen [m]
 - h_2^n Afstand tussen de onderzijde van de vulopening en het wateroppervlak [m]
- $$h_2^n = h_k^n - \left(h_{VS,m}^n - h_{VS}^n / 2 \right)$$
- h_k^n Waterdiepte in de sluisolk na n tijdstappen [m]
 - $h_{VS,m}^n$ Hoogte boven de bodem van het midden van de vulopening na n tijdstappen. [m]

Deze formulering is eenvoudiger en verschilt met deze die origineel in de routine *vul_sluis_impuls_straal.m* is geprogrammeerd (zie Verelst *et al.* (2014)). In paragraaf 8.2 wordt nagegaan wat de invloed van deze verschillen is op de berekende waarde voor de lengte van de neer.

2. De berekening van het debiet in de vulstraal wordt op dezelfde wijze uitgevoerd als in de originele subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m*. Voor meer details wordt verwezen naar Schindfessel & De Mulder (2017) en Verelst *et al.* (2016a).
3. Berekening van het snelheidsprofiel en de impuls in de vulstraal:

Figuur 11 geeft een voorstelling van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg van het schip, zoals dit beschouwd is bij het berekenen van de impuls in de vulstraal.

Figuur 11 – Snelheidsprofiel op locatie X (Vrijburcht *et al.*, 1988)

Tussen de punten A en B en tussen de punten C en D wordt het snelheidsprofiel benaderd als een Gauss-profiel. In de zone of “established flow” is de stroomsnelheid tussen de punten B en C constant. De impuls in de vulstraal $i_{VS,x}$ wordt berekend als de integraal van het snelheidsprofiel:

$$i_{VS,x} = \int_{-\infty}^{+\infty} u^2 dy$$

Indien de punten A, respectievelijk D, van het snelheidsprofiel hoger gelegen zijn dan het wateroppervlak, respectievelijk lager dan de bodem, dan kan bij de integratie van het snelheidsprofiel rekening gehouden worden met een spiegeling van het snelheidsprofiel ten opzichte van het wateroppervlak of de bodem.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de berekening van de impuls in de vulstraal en een vergelijking met een aantal voorbeelden uit Vrijburcht *et al.* (1988) wordt verwezen naar Schindfessel & De Mulder (2017). Uit de vergelijking van de met deze routine berekende impuls in de vulstraal met de voorbeelden uit Vrijburcht *et al.* (1988) wordt in Schindfessel & De Mulder (2017) aanbevolen om de impuls in de vulstraal te berekenen gebruik makend van spiegelen van het snelheidsprofiel.

In vul_sluis release 01.54.00 wordt de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* aangeroepen (met spiegelen van het snelheidsprofiel) in plaats van de subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m*. Om geïntegreerd te kunnen worden in de code van vul_sluis zijn volgende kleine aanpassingen uitgevoerd:

- De subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* bevat de uitvoervariabelen *straal.UProfielGespiegeld*, *straal.UProfielOngespiegeld* en *straal.UProfielHoogte*, die de variatie in de hoogte van het gespiegelde of ongespiegelde snelheidsprofiel ter plaatse van locatie X beschrijven. Deze uitvoervariabelen worden in het vervolg van het programma niet meer gebruikt. Daarnaast zijn er een aantal onverenigbaarheden met betrekking tot de dimensies van de uitvoer van de nieuwe subroutine en het gebruik van deze uitvoervariabelen in de routine *vul_sluis_simulatie.m*. Om die reden zijn de lijnen waar deze uitvoervariabelen worden gedefinieerd in de code vervangen door commentaarlijnen.
- In de originele subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m* was de uitvoervariabele *straal.snelheidX* gedefinieerd, dewelke in versie B van vul_sluis werd gebruikt. Om geen foutboodschappen te genereren is deze uitvoervariabele toegevoegd aan de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* en is deze gelijk gesteld aan NaN.
- In de input van de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* is ook de versie van vul_sluis (versie A of versie B) aanwezig. Aangezien slechts één berekeningswijze meer is geprogrammeerd voor de berekening van impuls in de vulstraal wordt deze input in de subroutine zelf niet meer gebruikt.

Door de aanwezigheid in de routine *vul_sluis_simulatie.m* is deze variabele, alhoewel niet meer van toepassing, toch nog aanwezig als input.

- De subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* maakt gebruik van de routine *nansum.m*. Deze routine behoort tot de Statistics and Machine Learning Toolbox van Matlab, dewelke niet beschikbaar is onder de standaard Matlab-licentie van WL. Deze routine is overgenomen uit de OpenEarth Matlab-Toolbox van Deltares, waarin deze routine ook aanwezig is.

Hierbij wordt opgemerkt dat in de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* slechts één berekeningswijze is geprogrammeerd voor de berekening van de impuls in de vulstraal. Het enige verschil tussen versie A en versie B van vul_sluis release 01.54.00 betreft nu nog de berekening van de hoogte van de vulstraal. Deze wordt als volgt berekend:

1. Breekbalken aanwezig:

- a. vul_sluis versie A

$$h_{VS}^n = \begin{cases} A_{VS,BBmax} / b_k & A_{VS,BBmax} > A_{VO,max} \\ A_{VO}^n / b_k & A_{VS,BBmax} \leq A_{VO,max} \end{cases}$$

- b. vul_sluis versie B: $h_{VS}^n = A_{VS,BBmax} / b_k$

2. Geen breekbalken aanwezig:

- a. vul_sluis versie A: $h_{VS}^n = A_{VO}^n / b_k$

- b. vul_sluis versie B $h_{VS}^n = A_{VO}^n / b_k$

Met:

- | | | |
|------------------|---|-------------------|
| - h_{VS}^n | Hoogte van de vulstraal na n tijdstappen | [m] |
| - $A_{VS,BBmax}$ | Maximale totale oppervlakte van de vulstraal juist na de breekbalken | [m ²] |
| - A_{VO}^n | Totale oppervlakte van de vulopeningen in de sluisdeur na n tijdstappen | [m ²] |
| - b_k | Breedte sluisolk | [m] |

Deze verschillende berekeningswijze van de hoogte van de vulstraal bij aanwezigheid van breekbalken is geen reden meer om het verschil tussen versie A en versie B van vul_sluis te laten bestaan. Aan de hand van de input van het programma vul_sluis (i.e. de waarde voor de parameter $A_{VS,BBmax}$) kan deze verschillende berekeningswijze ook bewerkstelligd worden. Daarnaast is in de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* de outputvariabele *straal.snelheidX* gelijkgesteld aan NaN, wat maakt dat de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend met versie B van vul_sluis ook gelijk zullen zijn aan NaN. Om deze redenen wordt er in vul_sluis release 01.54.00 geen onderscheid meer gemaakt tussen verschillende versies.

Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de uitvoer van vul_sluis release 01.54.00 nog steeds een onderscheid maakt tussen de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend met versie A en met versie B van vul_sluis. De langskrachten ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking berekend met versie B van vul_sluis zijn, zoals hierboven aangehaald, echter gelijk aan NaN. De aanpassingen aan de rest van de code om de beide versies te verwijderen zijn echter nog niet uitgevoerd en dienen bij toekomstige wijzigingen aan de code nog uitgevoerd te worden.

4 Gevoeligheidsanalyse invoerparameters

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de invloed onderzocht is van de variatie van een aantal algemene invoerparameters op de langskrachten op het schip berekend met vul_sluis. Concreet worden voor de gevoeligheidsanalyse de volgende algemene invoerparameters beschouwd:

- Ψ_1 Coëfficiënt voor drukverlaging ten gevolge van afstromend water [-]
 $\Psi_1 \in [0; 1]; \text{met: } \begin{cases} 0 & \text{drukverhoging} = \text{drukverlaging} \\ 1 & \text{drukverlaging afwezig} \end{cases}$
- Ψ_3 Coëfficiënt die aangeeft of de grenslaag achter de boeg volledig ontwikkeld is of niet; [-]
 $\Psi_3 \in [0; 1]; \text{met: } \begin{cases} 0 & \text{geen ontwikkelde grenslaag} \\ 1 & \text{volledig ontwikkelde grenslaag} \end{cases}$
- k_{kolk} Ruwheidslengte van de kolkwanden [m]
- k_{schip} Ruwheidslengte van de romp van het schip [m]
- CE_1 Coëfficiënt CE_1 voor damping translatiegolven [-]
- CE_2 Coëfficiënt CE_2 voor damping translatiegolven [-]

De coëfficiënt Ψ_1 is enkel aanwezig in de formulering voor de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Zoals in paragraaf 3.5.1 reeds vermeld, wordt deze gegeven door volgende formulering:

$$F_{x,\text{vulstraal}}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{\rho_w \cdot b_K \cdot h_K^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)} \cdot (\Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot I_{VS,\text{boeg}}^n \cdot \sin(\phi + \alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta))$$

Voor de verklaring van de parameters in deze formulering wordt verwezen naar paragraaf 3.5.1.

De formulering voor de component van de langskracht ten gevolge van wrijving bevat de coëfficiënt Ψ_3 en de ruwheidslengtes k_{kolk} en k_{schip} . Uit Verelst et al. (2014) volgt voor de langskracht ten gevolge van wrijving volgende formulering:

$$F_{x,\text{wrijving}}^n = \frac{1}{m_s \cdot g} \cdot \frac{b_S \cdot d_S \cdot F_{KW}^n + b_K \cdot h_K^n \cdot F_{SW}^n}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)}$$

$$\begin{cases} F_{KW}^n = \Psi_3 \cdot \rho_w \cdot g \cdot \frac{1}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)^2} \left(\frac{2l_K - 2X_{\text{boeg}} - l_S}{2l_K} \right)^2 \cdot (Q_{VO}^n)^2 \cdot \frac{(b_K + 2h_K^n)}{(C_{Kr1}^n)^2} \cdot l_S \\ F_{SW}^n = \Psi_3 \cdot \rho_w \cdot g \cdot \sqrt[4]{\frac{k_{\text{schip}}}{k_{\text{kolk}}}} \cdot \frac{1}{(b_K \cdot h_K^n - b_S \cdot d_S)^2} \left(\frac{2l_K - 2X_{\text{boeg}} - l_S}{2l_K} \right)^2 \cdot (Q_{VO}^n)^2 \cdot \frac{(b_S + 2d_S)}{(C_{Kr1}^n)^2} \cdot l_S \end{cases}$$

Met:

- $F_{x,\text{wrijving}}^n$ Langskracht (dimensieloos ten opzichte van de waterverplaatsing) [-]
ten gevolge van wrijving na n tijdstappen
- F_{KW}^n Deel van de langskracht ten gevolge wrijving op de kolkwanden [N]
- F_{SW}^n Deel van de langskracht ten gevolge wrijving op de romp van het schip [N]
- g Valversnelling (= 9,81 m/s²) [m/s²]
- ρ_w Dichtheid van water [kg/m³]
- b_K Breedte kolk [m]

-	h_K^n	Waterhoogte in kolk na tijdstappen	[m]
-	l_K	Lengte sluiskolk	[m]
-	m_s	Massa schip	[kg]
-	b_s	Breedte schip	[m]
-	d_s	Diepgang schip	[m]
-	l_s	Lengte schip	[m]
-	x_{boeg}	Afstand boeg tot vuldeur	[m]
-	Q_{VO}^n	Debiet door de vulopeningen na n tijdstappen	[m ³ /s]
-	ψ_3	Coëfficiënt die aangeeft of de grenslaag achter de boeg volledig ontwikkeld is of niet	[-]
-	C_{Kr1}^n	Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden	[m ^{1/2} /s]
	$C_{Kr1}^n = 18 \cdot \log_{10} \left(12 \cdot \frac{R_{Kr1}^n}{k_{kolk}} \right)$		
-	R_{Kr1}^n	Hydraulische straal van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden	[m]
	$R_{Kr1}^n = \frac{b_K \cdot h_K^n - b_s \cdot d_s}{\left((b_K + 2h_K^n) + (b_s + 2d_s) \cdot \sqrt[4]{\frac{k_{schip}}{k_{kolk}}} \right)}$		
-	k_{kolk}	Ruwheidslengte van de kolkwanden	[m]
-	k_{schip}	Ruwheidslengte van de romp van het schip	[m]

De coëfficiënten CE_1 en CE_2 zijn in vul_sluis release 01.51.00 ingevoerd om de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven te beschrijven. Voor de definitie van deze coëfficiënten en de formulering van de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven wordt verwezen naar paragraaf 3.2.

Om de mogelijke waarden van de invoerparameters in de gevoeligheidsanalyse te bepalen zijn waarden voor deze parameters uit volgende invoerfiles vergeleken:

- Bij WL zijn simulaties met vul_sluis uitgevoerd met invoerwaarden dewelke overgenomen zijn uit de handleiding van LOCKFILL (Waterloopkundig Laboratorium, 1994a) of uit voorbeeld invoerfiles vermeld in Waterloopkundig Laboratorium (1994b). De waarden van deze invoerparameters zijn niet gewijzigd.
- In het kader van het ontwerp van de nieuwe sluis Terneuzen heeft WL invoerfiles verkregen van LOCKFILL-simulaties die door Deltares uitgevoerd zijn met LOCKFILL 5.1 – Ijmuiden. Deze (niet ter beschikking gestelde) versie van LOCKFILL is aangepast op basis van een vergelijking met schaalmodelproeven uitgevoerd voor de nieuwe sluis te Ijmuiden. Bepaalde waarden voor de algemene parameters uit de invoerfile zijn ook gewijzigd op basis van een vergelijking met de langskrachten op het schip opgemeten tijdens deze schaalmodelproeven.

Tabel 6 vergelijkt de waarden voor de algemene invoerparameters uit deze twee invoerfiles. Hierbij wordt opgemerkt dat bij simulaties van cases die in Verelst *et al.* (2014) als eerste validatie voor het programma vul_sluis zijn gebruikt door WL $\psi_3 = 0,8$ is toegepast. Later werd door WL $\psi_3 = 0,9$ toegepast. Om die reden zijn deze beide waarden in Tabel 6 vermeld.

Tabel 6 – Waarden invoerparameters uit invoerfiles simulaties WL en invoerfiles simulaties Deltares voor sluis Terneuzen

Invoer-parameter	Eenheid	Invoerfile simulaties WL	Invoerfile simulaties Deltares Terneuzen
Ψ_1	-	0,8	0,2
Ψ_3	-	0,8 of 0,9	0,9
k_{kolk}	m	0,005	0,005
k_{schip}	m	0,005	0,005
CE_1	-	0,07	0,07
CE_2	-	0,40	0,05

Uit Tabel 6 volgt dat de waarden voor de parameters Ψ_1 en CE_2 verschillen tussen de invoerfiles voor simulaties van WL en de invoerfiles voor simulaties van Deltares.

Aan de hand van de waarden voor de algemene parameters in Tabel 6, op basis van literatuurwaarden en rekening houdend met het totale aantal bekomen simulaties, worden volgende waarden voor de invoerparameters toegepast in de gevoeligheidsanalyse:

- Parameter Ψ_1 :
Voor deze parameter worden zowel de waarde uit de invoerfile van Deltares ($\Psi_1 = 0,2$) en de waarde uit de invoerfile van WL ($\Psi_1 = 0,8$) toegepast. Daarnaast worden ook een tussenliggende waarde $\Psi_1 = 0,4$ en de maximale waarde $\Psi_1 = 1,0$ beschouwd.
- Parameter Ψ_3 :
Voor deze parameter wordt de originele waarde uit handleiding van LOCKFILL ($\Psi_3 = 0,8$) en de waarde uit de latere invoerfiles van WL en de invoerfile van Deltares ($\Psi_3 = 0,9$) toegepast. Daarnaast worden ook de maximale waarde voor deze parameter ($\Psi_3 = 1,0$) en een minimale waarde ($\Psi_3 = 0,1$) toegepast.
- Ruwheidslengte kolkwanden k_{kolk} :
De waarde $k_{kolk} = 0,0050$ m komt overeen met de waarde voor ruw beton (Berlamont, 1980). Voor oud, slecht beton vermeldt deze publicatie een waarde $k_{kolk} = 0,0200$ m en voor glad beton een waarde $k_{kolk} = 0,0005$ m. Deze drie waarden worden toegepast als mogelijke waarden voor de ruwheidslengte van de kolkwanden.
- Ruwheidslengte romp van het schip k_{schip} :
Voor de ruwheidslengte van staal vermeldt Berlamont (1980) een waarde 0,0020 m voor sterk gecorrodeerd staal en 0,0001 m voor gelast staal. Miller (1994) vermeldt voor de ruwheidslengte van stalen leidingen een waarde 0,000025 m voor nieuwe gladde leidingen en een waarde 0,0010 m voor zwaar verroeste leidingen. Hieruit volgt dat 0,005 m reeds een hoge waarde is voor de ruwheidslengte van het staal van het schip zelf. Echter het is mogelijk dat in de ruwheidslengte voor de romp van het schip ook biologische aangroei en de aanwezigheid van roer en schroef van het schip verdisconteerd is. Dan is deze waarde wel een realistische waarde.
Voor deze parameter worden de waarden $k_{schip} = 0,0001$ m, $k_{schip} = 0,0025$ m, $k_{schip} = 0,0050$ m en $k_{schip} = 0,0100$ m toegepast. Hierbij wordt opgemerkt dat deze laatste waarde eerder onrealistisch hoog is.
- Coëfficiënt CE_1 :
Voor deze coëfficiënt wordt zowel in de invoerfile van WL als in de invoerfile van Deltares de waarde 0,07 toegepast. Daarnaast wordt een waarde CE_1 gelijk aan 0,01 en een waarde $CE_1 = 0,14$ toegepast.
- Coëfficiënt CE_2 :
Voor deze coëfficiënt wordt in de invoerfile van WL een waarde 0,40 toegepast en in de invoerfile van Deltares een waarde 0,05 toegepast. Deze beide waarden worden toegepast, alsook een waarde $CE_1 = 0,80$.

Tabel 7 geeft een overzicht van de toegepaste waarden voor de invoerparameters in de gevoeligheidsanalyse.

Tabel 7 – Toegepaste waarden voor de invoerparameters in de gevoeligheidsanalyse

ψ_1 [-]	ψ_3 [-]	k_{kolk} [m]	k_{schip} [m]	CE_1 [-]	CE_2 [-]
0,2	0,1	0,0005	0,0001	0,01	0,05
0,4	0,8	0,0050	0,0025	0,07	0,40
0,8	0,9	0,0200	0,0050	0,14	0,80
1,0	1,0		0,0100		

Vet gedrukte waarden: waarde van de invoerparameter in de basissimulatie.

In Tabel 7 zijn de waarden voor de invoerparameters uit de invoerfiles van WL vetgedrukt weergegeven. Deze waarden worden als basiswaarden beschouwd. Vooreerst worden de 16 geselecteerde cases gesimuleerd met vul_sluis release 01.51.00 gebruik makend van deze basiswaarden. Daarna wordt telkens de waarde voor één invoerparameter aangepast en een nieuwe reeks simulaties uitgevoerd voor de 16 geselecteerde cases. Op deze wijze worden in totaal 16 (aantal verschillende parameterwaarden) x 16 (aantal cases) = 256 simulaties bekomen.

Voor de verwerking van de resultaten wordt de invloed van de wijziging van de waarde van een invoerparameter op de berekende langskrachten op het schip nagegaan. De resultaten hiervan zijn beschreven in paragraaf 4.2 (wijziging waarde coëfficiënt ψ_1), paragraaf 4.3 (wijziging waarde coëfficiënt ψ_3), paragraaf 4.4 (wijziging ruwheidslengte kolkwanden), paragraaf 4.5 (wijziging ruwheidslengte schip), paragraaf 4.6 (wijziging coëfficiënt CE_1) en paragraaf 4.7 (wijziging coëfficiënt CE_2).

Bij de bespreking van de resultaten in paragrafen 4.2 tot en met 4.7 wordt ook de procentuele afwijking van de langskracht ten opzichte van de basissimulatie bij wijziging van een bepaalde invoerparameter berekend. Deze procentuele afwijking wordt telkens als volgt berekend:

$$\% \text{ afwijking} = \frac{\text{waarde simulatie } X - \text{waarde basissimulatie}}{\text{waarde basissimulatie}} \times 100 \%$$

4.2 Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt Ψ_1

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.1 is de coëfficiënt Ψ_1 enkel aanwezig in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Deze component is enkel belangrijk bij vullen van een sluis. Bij ledigen van een sluis is deze component van de langskracht gelijk aan 0. Om die reden is de variatie van deze invoerparameter enkel nagegaan voor de cases uit hoofdstuk 2 met betrekking tot vullen van een sluis. Case03, Case05, Case08 en Case14, dewelke betrekking hebben op ledigen van een sluis, worden in deze paragraaf dus niet beschouwd.

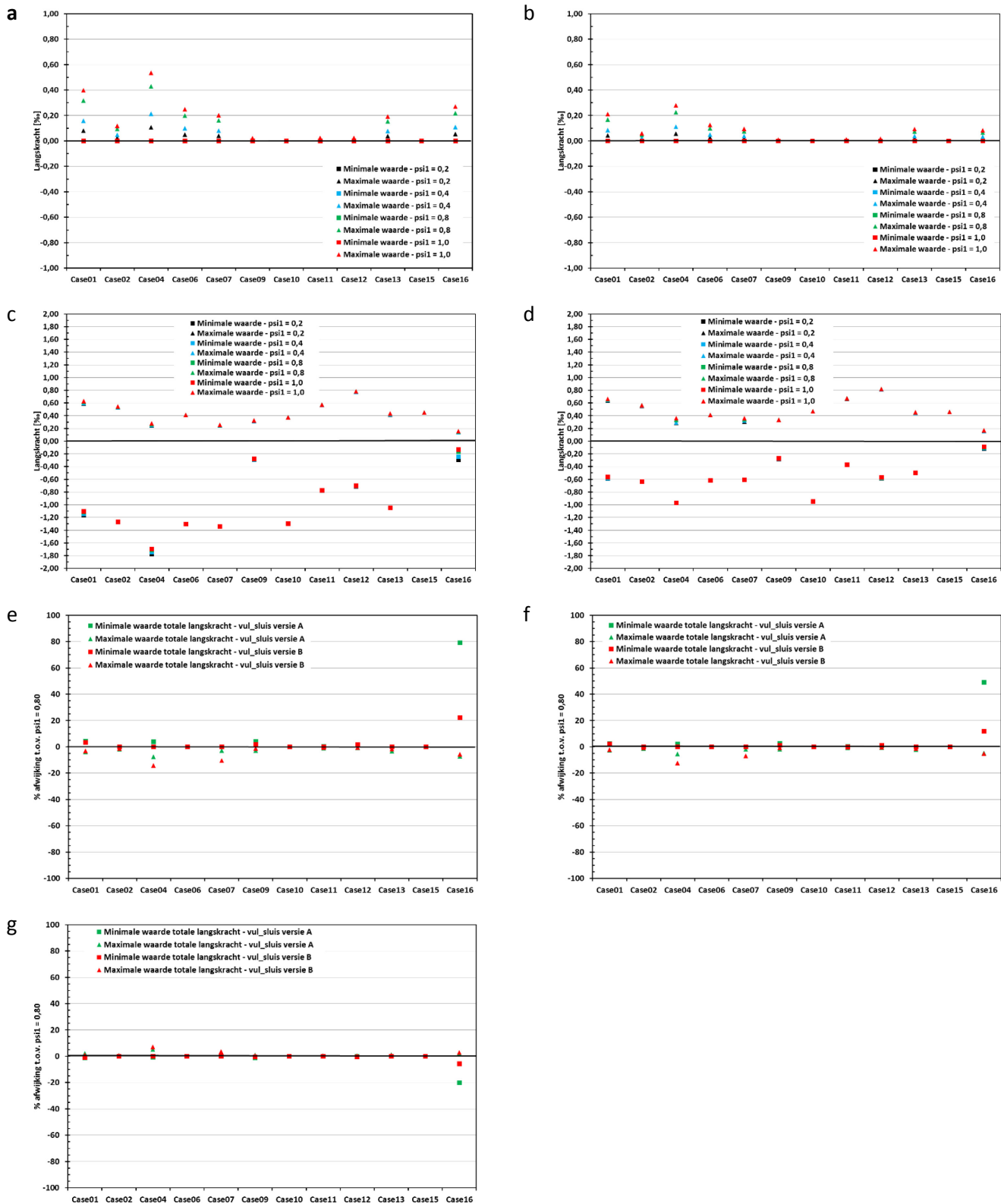
Voor de cases uit hoofdstuk 2 met betrekking tot vullen van een sluis zijn simulaties uitgevoerd met $\Psi_1=0,2$, $\Psi_1=0,4$, $\Psi_1=0,8$ en $\Psi_1=1,0$. Hierbij wordt de waarde 0,8 als basiswaarde voor deze coëfficiënt beschouwd.

Figuur 12 geeft voor de vier uitgevoerde simulaties voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van de totale langskracht en de procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de totale langskracht op het schip ten opzichte van de basissimulatie ($\Psi_1 = 0,80$). Aangezien de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking evenredig is met de coëfficiënt Ψ_1 , resulteert een afname, respectievelijk toename van de waarde van de coëfficiënt Ψ_1 in een evenredige afname, respectievelijk toename van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Een verlaging van de coëfficiënt Ψ_1 met 50 % (van $\Psi_1 = 0,80$ naar $\Psi_1 = 0,40$), resulteert in een verlaging van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking met 50 %. Om die reden is in deze figuur voor deze cases enkel de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\Psi_1 = 0,8$) gegeven. In Figuur 13 en Figuur 14 is voor alle cases en alle uitgevoerde simulaties de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van de totale langskracht grafisch voorgesteld. Hierbij wordt opgemerkt dat de formulering van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking verschillend is in versie A en versie B van vul_sluis. Om die reden is in de figuren telkens de waarde van de langskracht berekend met vul_sluis versie A voorgesteld en deze berekend met vul_sluis versie B.

Uit Figuur 12 tot en met Figuur 14 wordt vastgesteld dat bij Case10 en Case15 geen langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend wordt. Analyse van de simulatieresultaten leert dat voor deze cases de vulstraal gedurende de volledige nivellering onder het schip door gaat. Voor deze cases wordt bijgevolg ook geen invloed van een wijziging van de waarde van de coëfficiënt Ψ_1 op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en op de totale langskracht waargenomen.

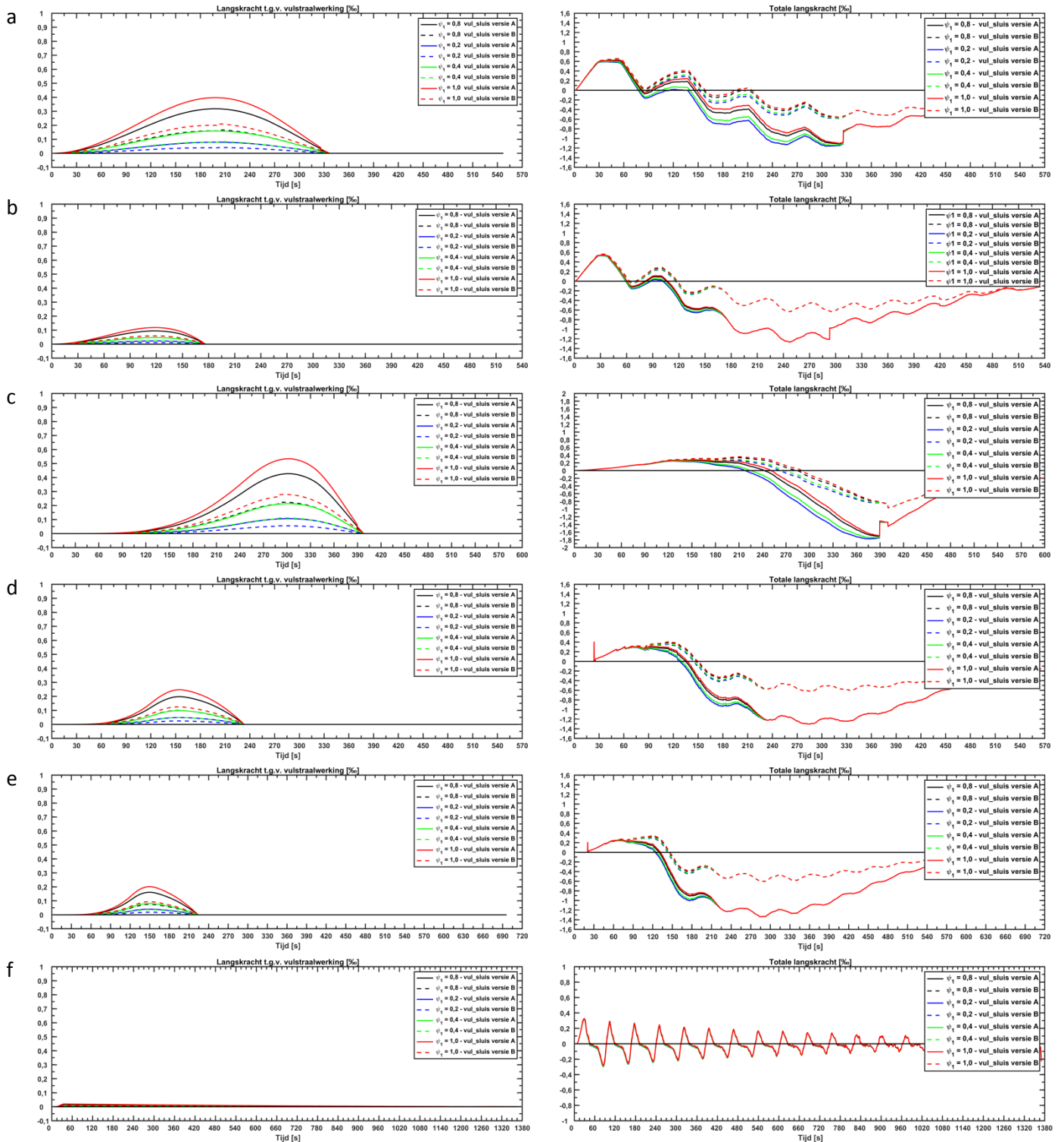
De bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in de totale langskracht op het schip is eerder beperkt. Deze bijdrage is altijd positief van teken en is voor de meeste cases ook beperkt in de tijd, namelijk de tijdsduur dat de vulstraal tegen de boeg van het schip botst. Enkel bij Case16 is de tijdsduur dat de vulstraal tegen de boeg van het schip botst bijna gelijk aan de volledige nivelleertijd. Voor Case16 wordt daarom een invloed van een toename of afname van de waarde van de coëfficiënt Ψ_1 op de totale langskracht waargenomen met 79 % bij toepassen van vul_sluis versie B en 22 % bij toepassen van vul_sluis versie A. Bij Case04 bedraagt deze invloed 14 % bij toepassen van vul_sluis versie B en 8 % bij toepassen van vul_sluis versie A. Voor de overige cases worden beduidend lagere procentuele afwijkingen berekend.

Figuur 12 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking, minimale en maximale waarde van de totale langskracht en procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\Psi_1 = 0,8$) bij variatie coëfficiënt Ψ_1 .

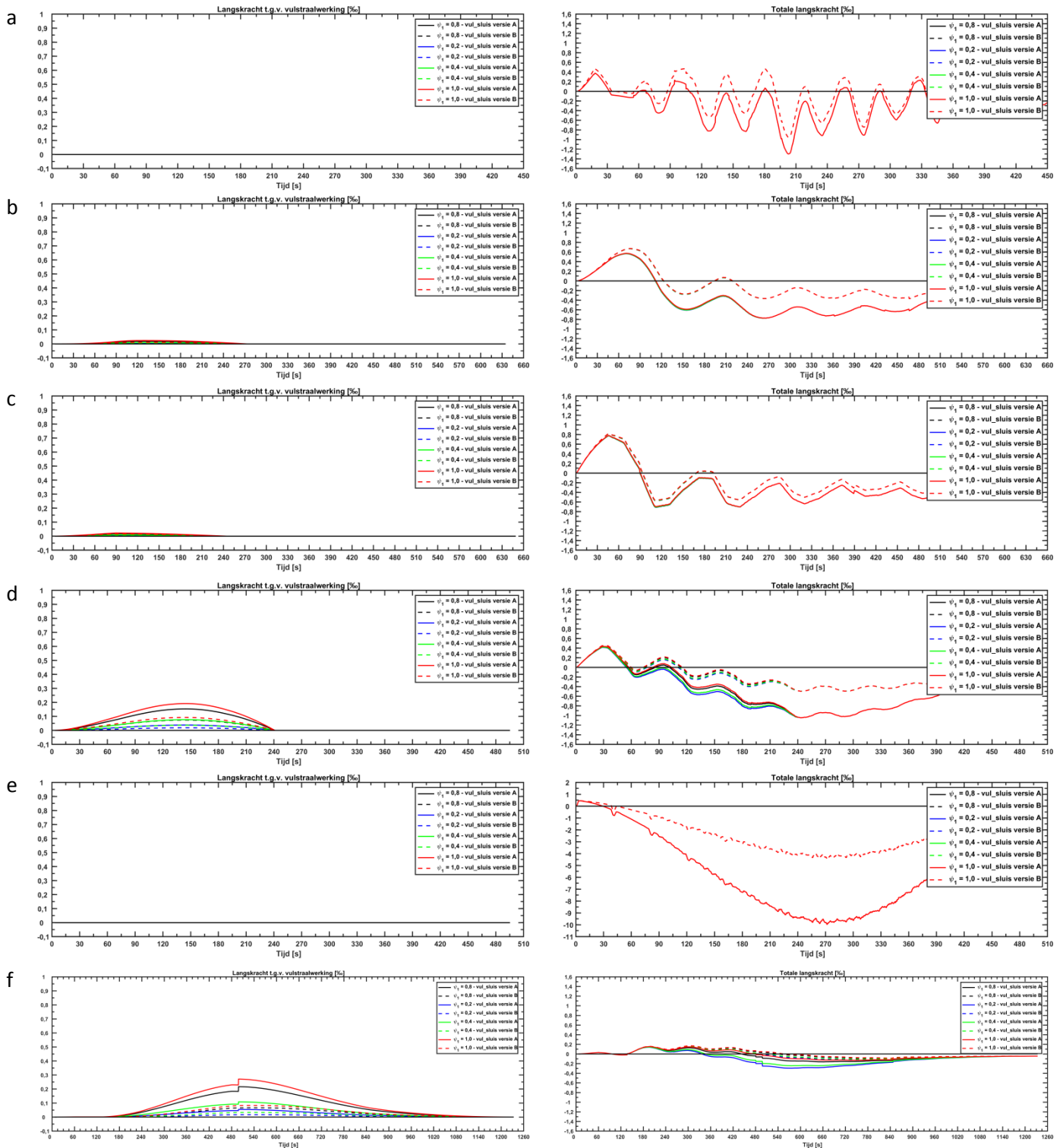


a: langskracht ten gevolge van vulstraatwerking vul_sluis versie A; b: langskracht ten gevolge van vulstraatwerking vul_sluis versie B
c: totale langskracht vul_sluis versie A; d: totale langskracht vul_sluis versie B; e: Procentuele afwijking totale langskracht bij $\Psi_1 = 0,2$ t.o.v $\Psi_1 = 0,8$; f: Procentuele afwijking totale langskracht bij $\Psi_1 = 0,4$ t.o.v $\Psi_1 = 0,8$; g: Procentuele afwijking totale langskracht bij $\Psi_1 = 1,0$ t.o.v $\Psi_1 = 0,8$.

Figuur 13 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 bij $\psi_1=0,2$, $\psi_1=0,4$, $\psi_1=0,8$ en $\psi_1=1,0$.



Figuur 14 - Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 bij $\psi_1=0,2$, $\psi_1=0,4$, $\psi_1=0,8$ en $\psi_1=1,0$.



a: Case10; b: Case11; c: Case12; d: Case13; e: Case15; f: Case16.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: totale langskracht

4.3 Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt Ψ_3

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.1 is de coëfficiënt Ψ_3 enkel aanwezig in de formulering voor de langskracht ten gevolge van wrijving. Voor deze component is er geen verschil in de formulering in de beide versies van het programma vul_sluis. Deze component is zowel bij vullen als bij ledigen van een sluis van belang.

Voor alle cases uit hoofdstuk 2 zijn simulaties uitgevoerd met $\Psi_3=0,10$, $\Psi_3=0,80$, $\Psi_3=0,90$ en $\Psi_3=1,00$. Hierbij wordt de waarde 0,90 als basiswaarde voor deze coëfficiënt beschouwd.

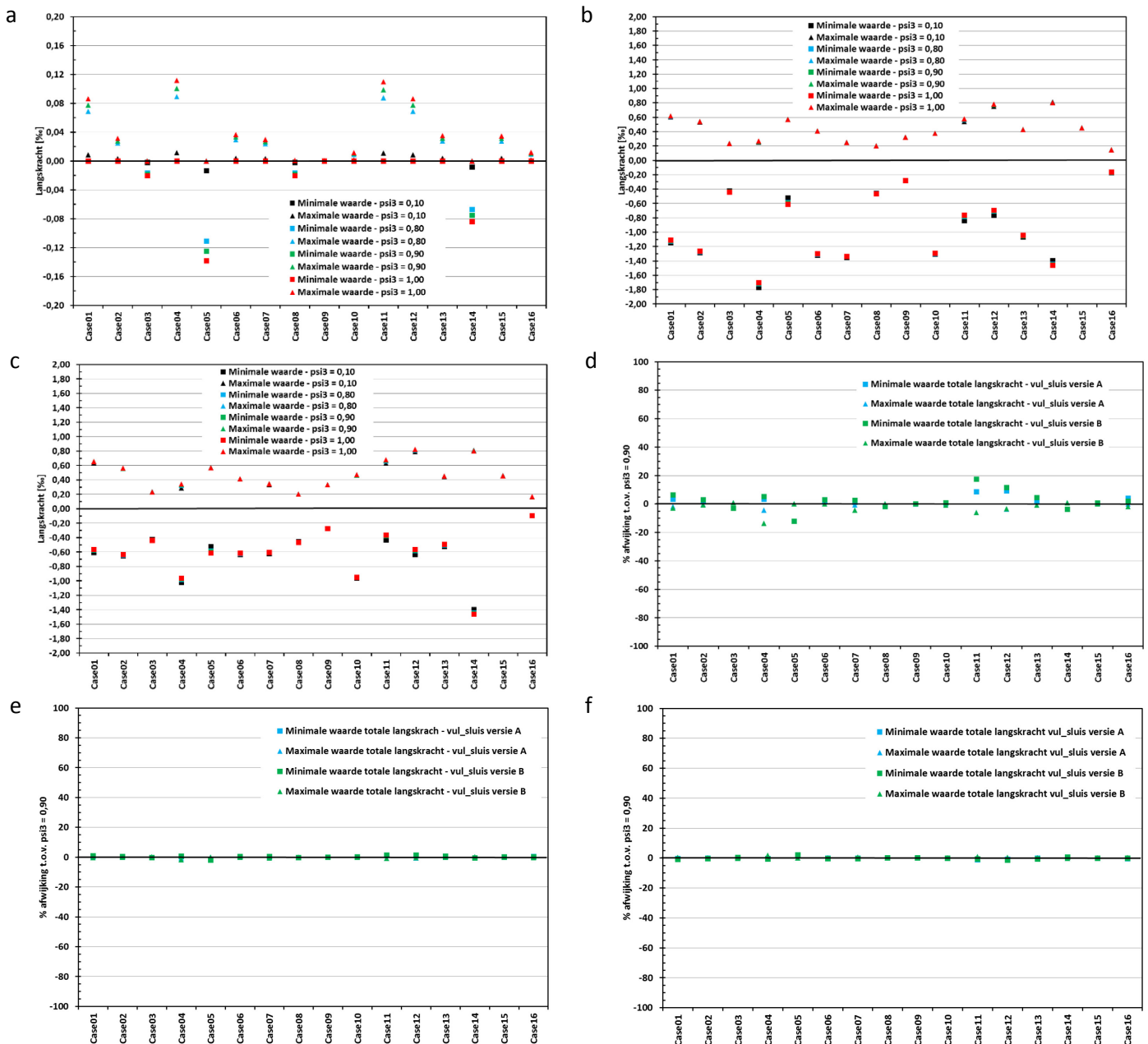
Figuur 15 geeft voor de vier uitgevoerde simulaties voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving, de minimale en maximale waarde van de totale langskracht en de procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\Psi_3=0,90$).

Aangezien de component van de langskracht ten gevolge van wrijving evenredig is met de coëfficiënt ψ_3 , resulteert een afname, respectievelijk toename van de waarde van de coëfficiënt ψ_3 in een evenredige afname, respectievelijk toename van de langskracht ten gevolge van wrijving. Een verlaging van de coëfficiënt ψ_3 met 89 % (van $\psi_3 = 0,90$ naar $\psi_3 = 0,10$), resulteert in een verlaging van de langskracht ten gevolge van wrijving met 89 %. Om die reden is in Figuur 15 voor alle beschouwde cases enkel de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\Psi_3=0,90$) gegeven.

In Figuur 16, Figuur 17 en Figuur 18 is voor alle cases en alle uitgevoerde simulaties de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht grafisch voorgesteld. In deze figuren is voor de totale langskracht telkens de waarde berekend met de beide versies van het programma vul_sluis voorgesteld. De component van langskracht ten gevolge van wrijving is identiek in deze beide versies. Omwille van de verschillende formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname wordt met de beide versies van vul_sluis een verschillende totale langskracht op het schip berekend. Om de invloed van de variatie van de coëfficiënt Ψ_3 op de berekende totale langskracht op het schip na te gaan is bijgevolg telkens de waarde berekend met de beide versies van vul_sluis in de figuren voorgesteld.

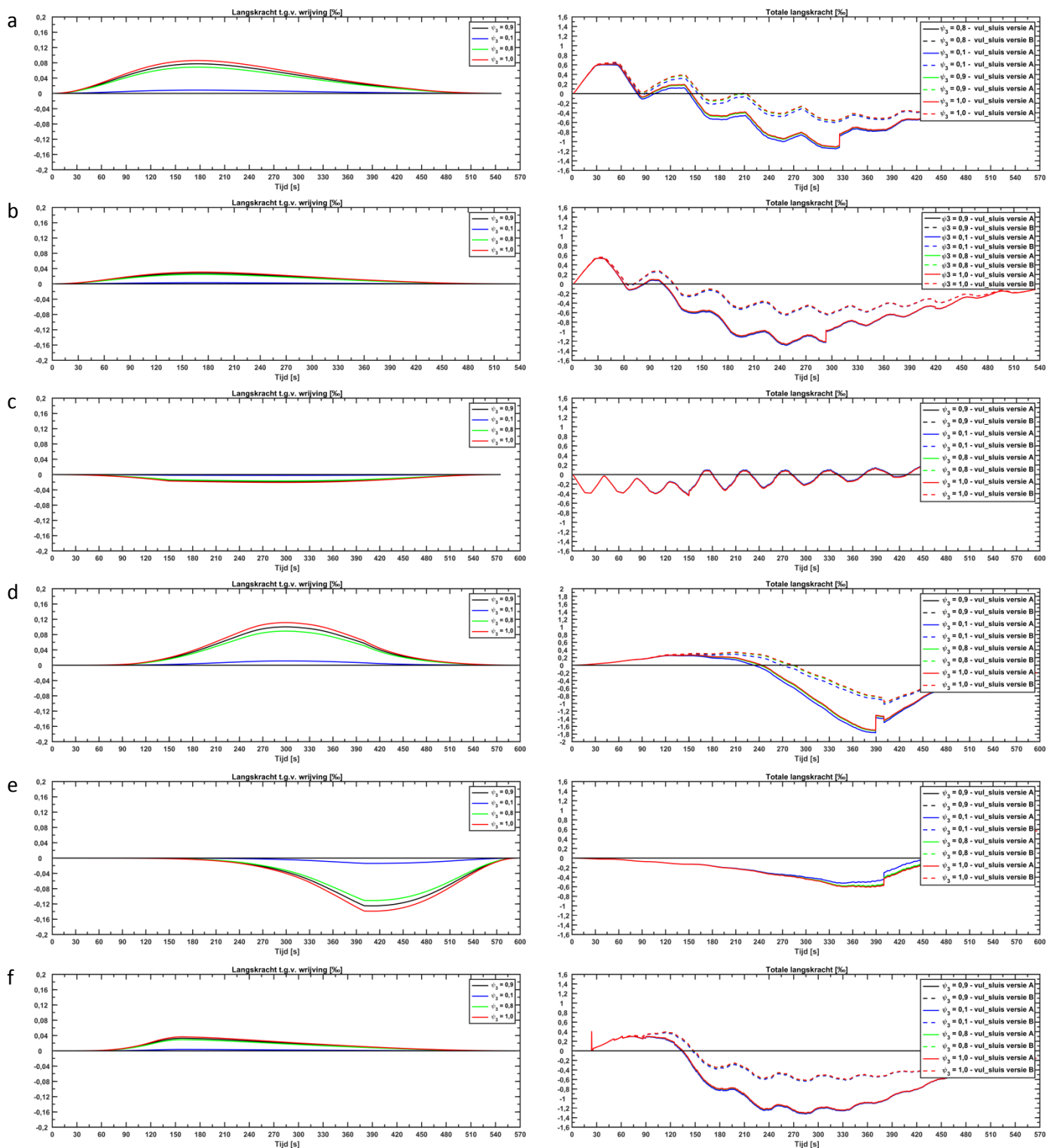
De bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale langskracht op het schip is voor de meeste cases zeer beperkt. Bij vullen is deze bijdrage positief van teken, bij ledigen is deze negatief van teken. Met uitzondering van Case04, Case05, Case11, en Case12 volgt uit Figuur 15 tot en met Figuur 18 dat de invloed van een toename of afname van de waarde van de coëfficiënt ψ_3 op de totale langskracht beperkt is tot maximaal 5 % bij toepassen van beide versies van vul_sluis. Bij Case04, Case05, Case11, en Case12 worden iets hogere procentuele afwijkingen tot 12 % waargenomen bij een verlaging van de coëfficiënt ψ_3 van 0,90 naar 0,10.

Figuur 15 - Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van wrijving, minimale en maximale waarde van de totale langskracht en procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($\psi_3 = 0,90$) bij variatie coëfficiënt ψ_3 .



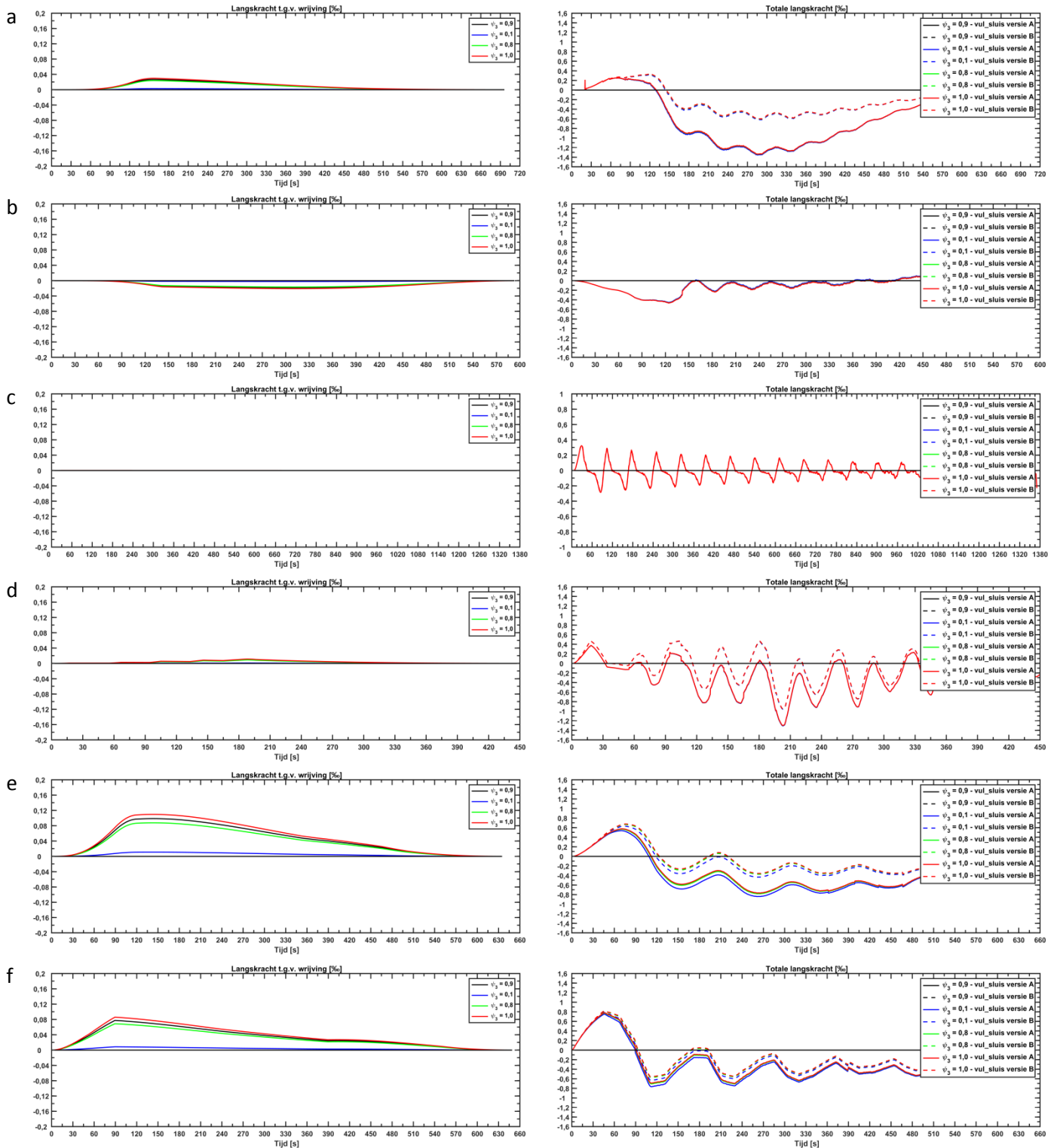
a: langskracht ten gevolge van wrijving; b: totale langskracht vul_sluis versie A; c: totale langskracht vul_sluis versie B; e: Procentuele afwijking totale langskracht bij $\psi_3 = 0,1$ t.o.v $\psi_3 = 0,9$; f: Procentuele afwijking totale langskracht bij $\psi_3 = 0,8$ t.o.v $\psi_3 = 0,9$; g: Procentuele afwijking totale langskracht bij $\psi_3 = 1,0$ t.o.v $\psi_3 = 0,9$.

Figuur 16 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05 en Case06 bij $\Psi_3=0,1$, $\Psi_3=0,8$, $\Psi_3=0,9$ en $\Psi_3=1,0$.



a:Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04; e: Case05; f: Case06
links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

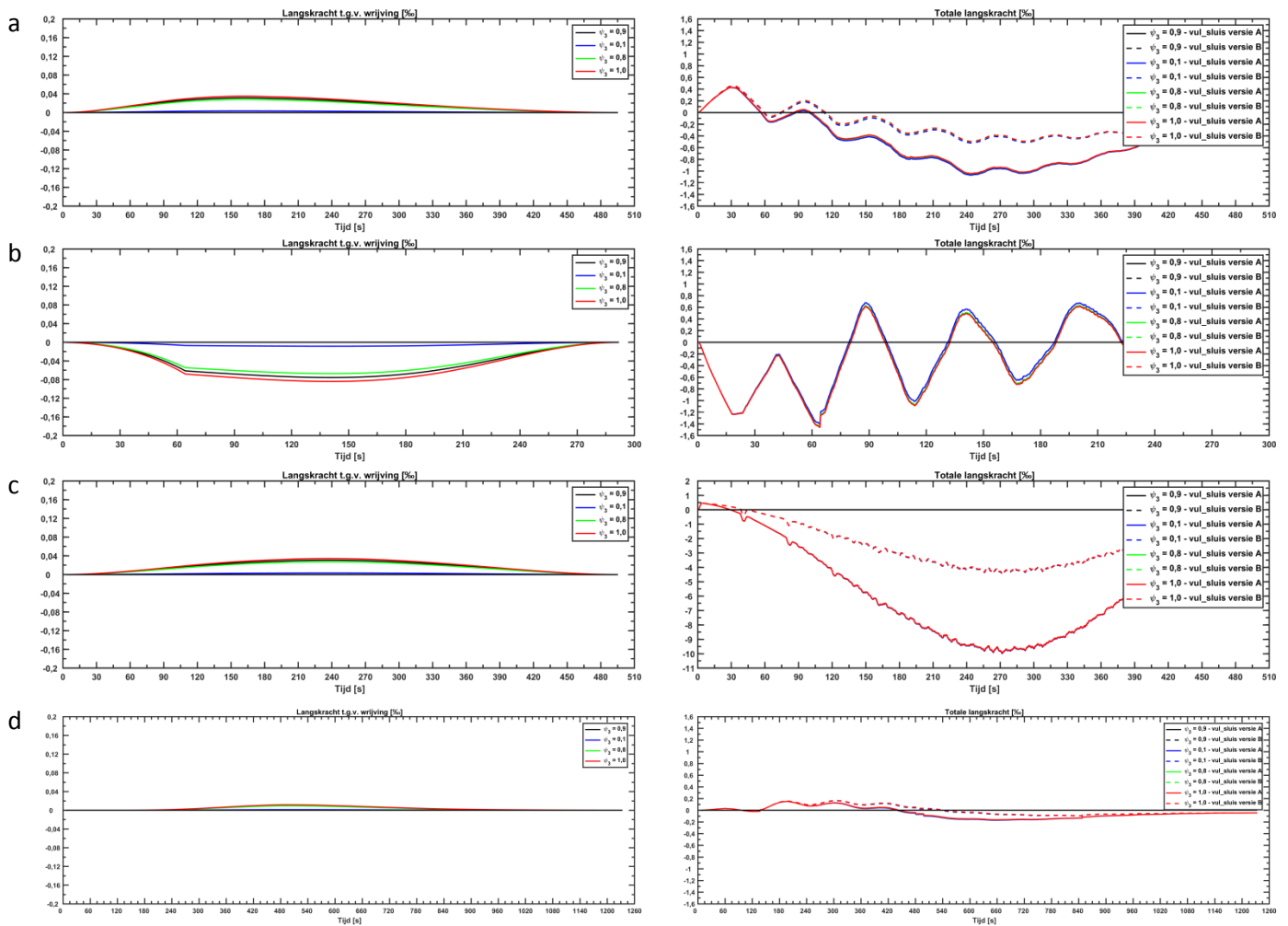
Figuur 17 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case07, Case08, Case09, Case10, Case11 en Case12 bij $\Psi_3=0,1$, $\Psi_3=0,8$, $\Psi_3=0,9$ en $\Psi_3=1,0$.



a: Case07; b: Case08; c: Case09; d: Case10; e: Case11; f: Case12.

links: langskracht ten gevolge van wrijving– rechts: totale langskracht

Figuur 18 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $\Psi_3=0,1$, $\Psi_3=0,8$, $\Psi_3=0,9$ en $\Psi_3=1,0$.



a: Case13; b: Case14; c: Case15; d: Case16.

links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

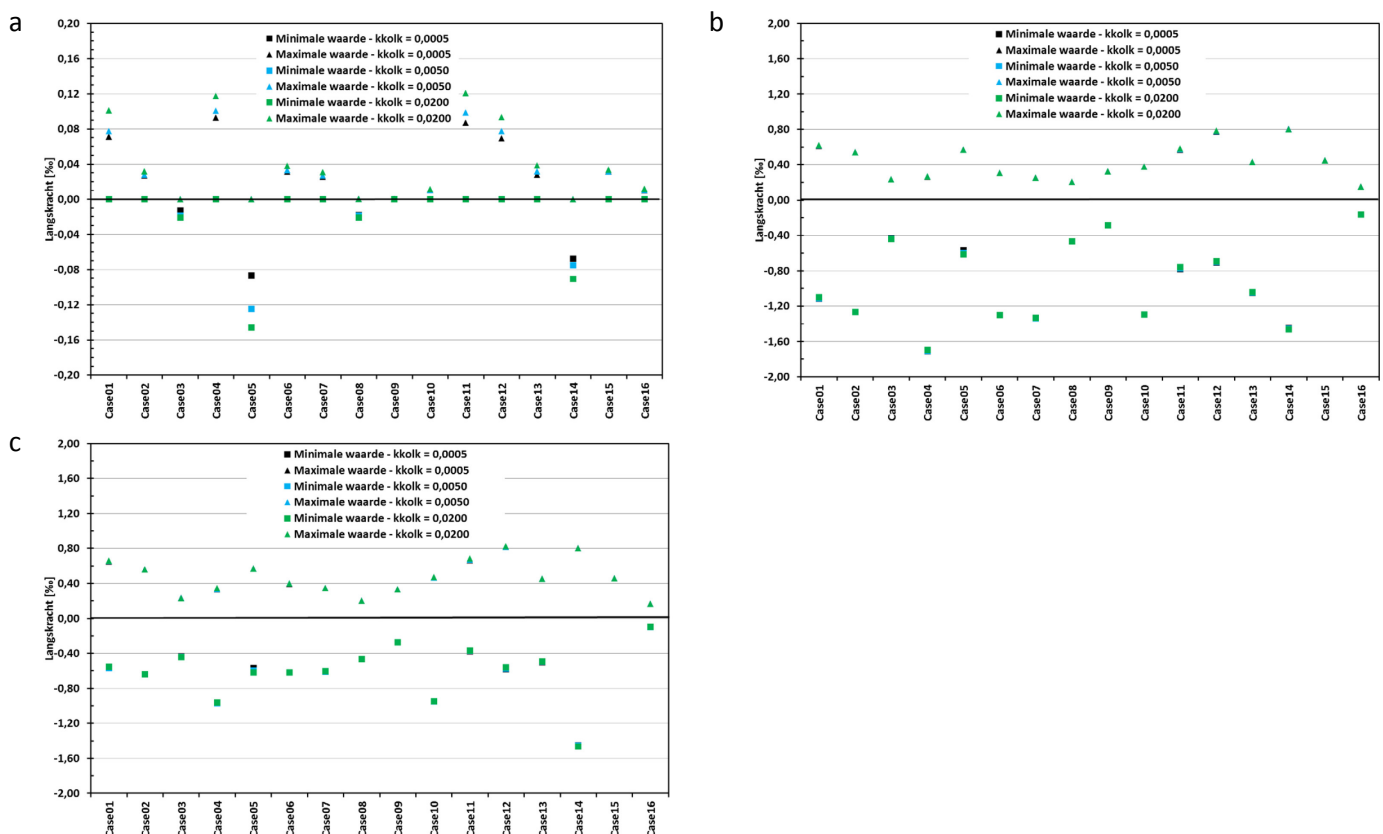
4.4 Resultaten simulaties met wijziging ruwheidslengte kolkwanden en kolkbodem

Analoog als voor de coëfficiënt Ψ_3 is de ruwheidslengte van kolkwanden en kolkbodem (k_{kolk}) enkel aanwezig in de formulering voor de langskracht ten gevolge van wrijving. Voor deze component is er geen verschil in de formulering in de beide versies van het programma vul_sluis. Deze component is zowel bij vullen als bij ledigen van een sluis van toepassing.

Voor alle cases uit hoofdstuk 2 zijn simulaties uitgevoerd met $k_{\text{kolk}}=0,0005$, $k_{\text{kolk}}=0,0050$ en $k_{\text{kolk}}=0,0200$. Hierbij wordt de waarde 0,0050 als basiswaarde voor deze coëfficiënt beschouwd.

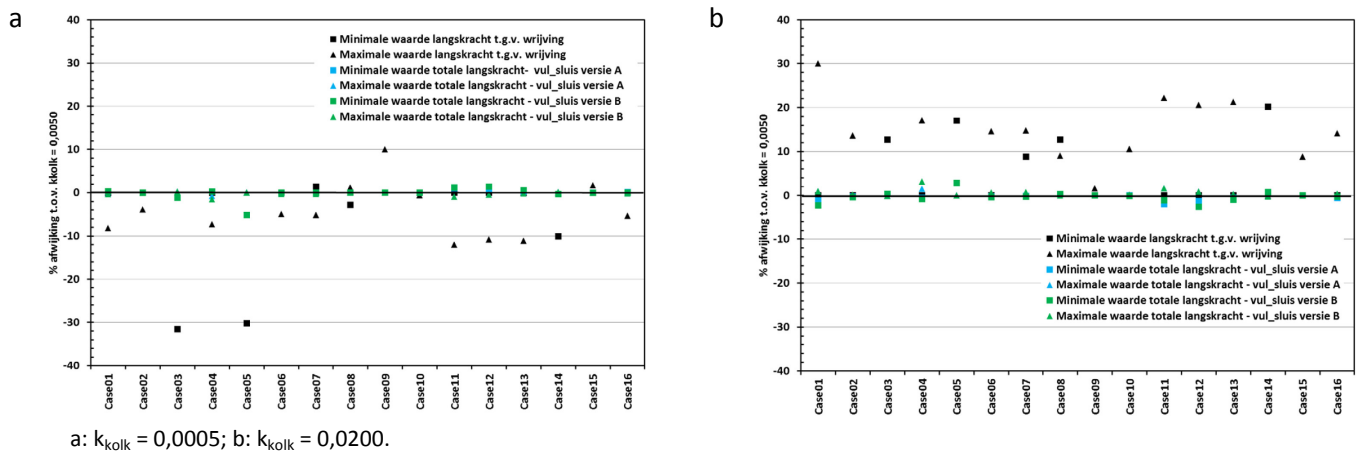
Figuur 19 geeft voor de uitgevoerde simulaties voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht. In Figuur 20 is voor alle beschouwde cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($k_{\text{kolk}}=0,0050$) gegeven. In Figuur 21, Figuur 22 en Figuur 23 is voor alle uitgevoerde simulaties en voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht grafisch voorgesteld. Analoog als in paragraaf 4.3 is in deze figuren ook telkens de waarde van de totale langskracht berekend met de beide versies van vul_sluis voorgesteld.

Figuur 19 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt k_{kolk}

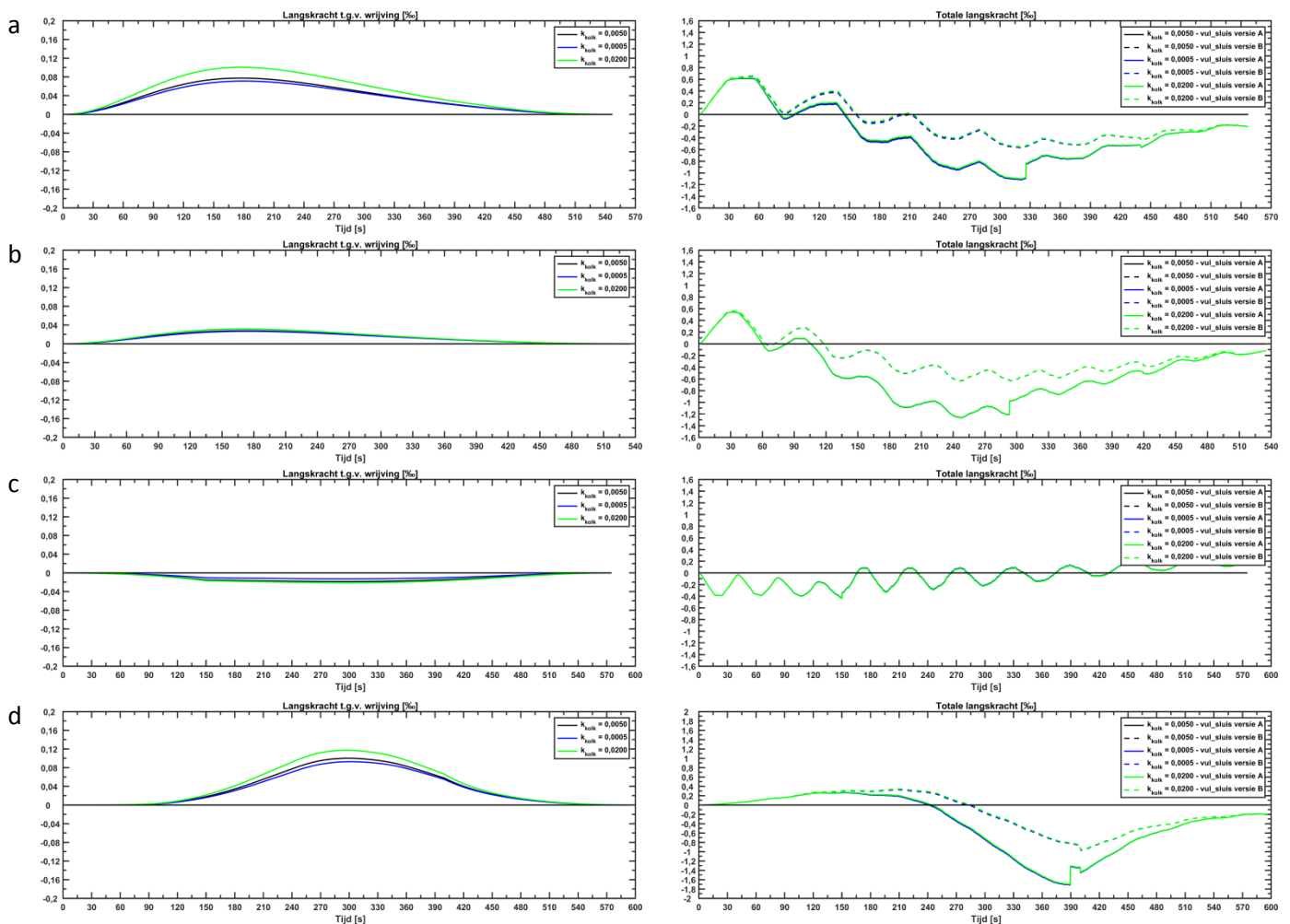


a: langskracht ten gevolge van wrijving; b: totale langskracht vul_sluis versie A; c: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 20 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($k_{kolk} = 0,0050$) bij variatie coëfficiënt k_{kolk}



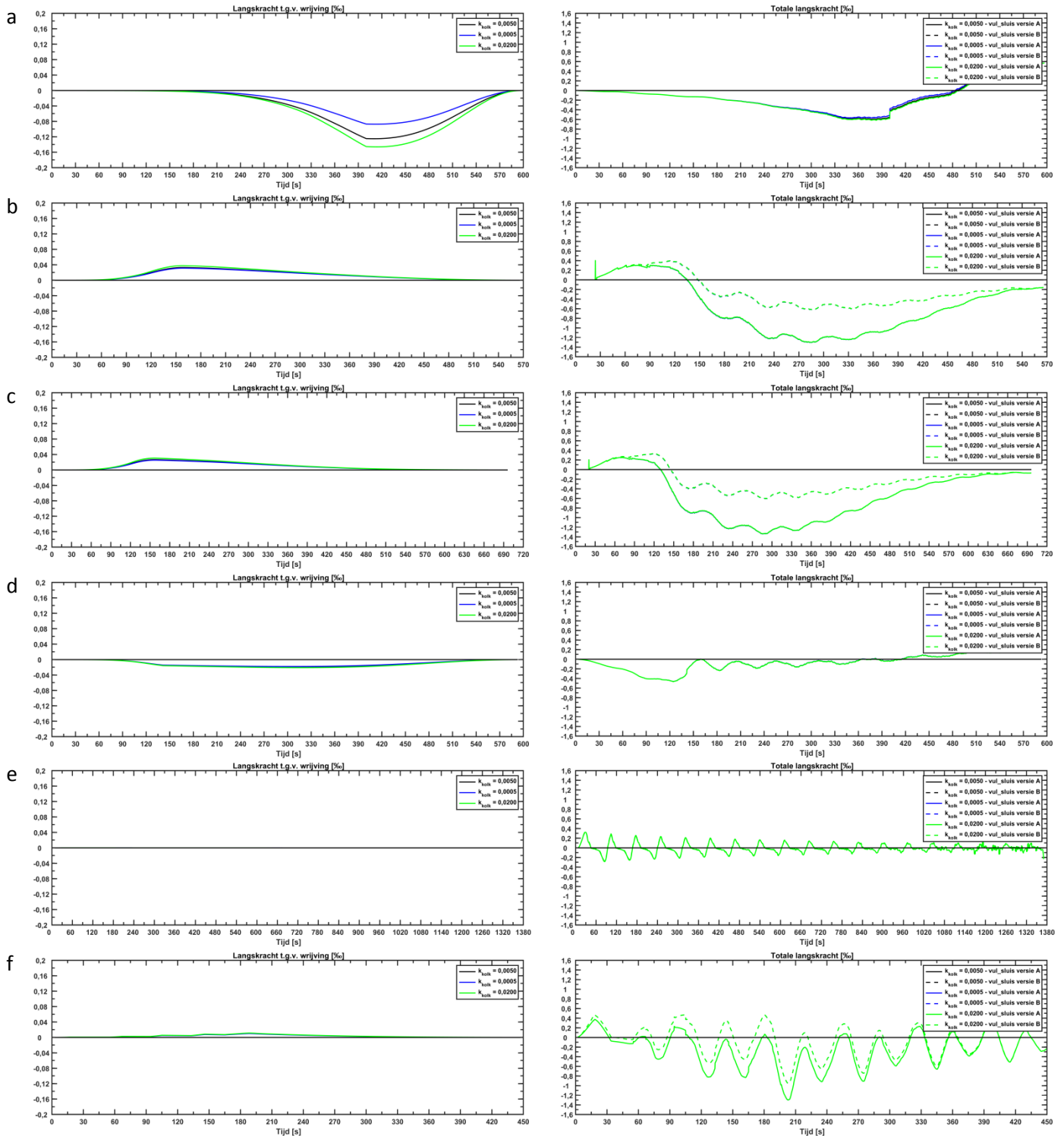
Figuur 21 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03 en Case04 bij $k_{kolk}=0,0005$, $k_{kolk}=0,0050$ en $k_{kolk}=0,0200$



a: Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04

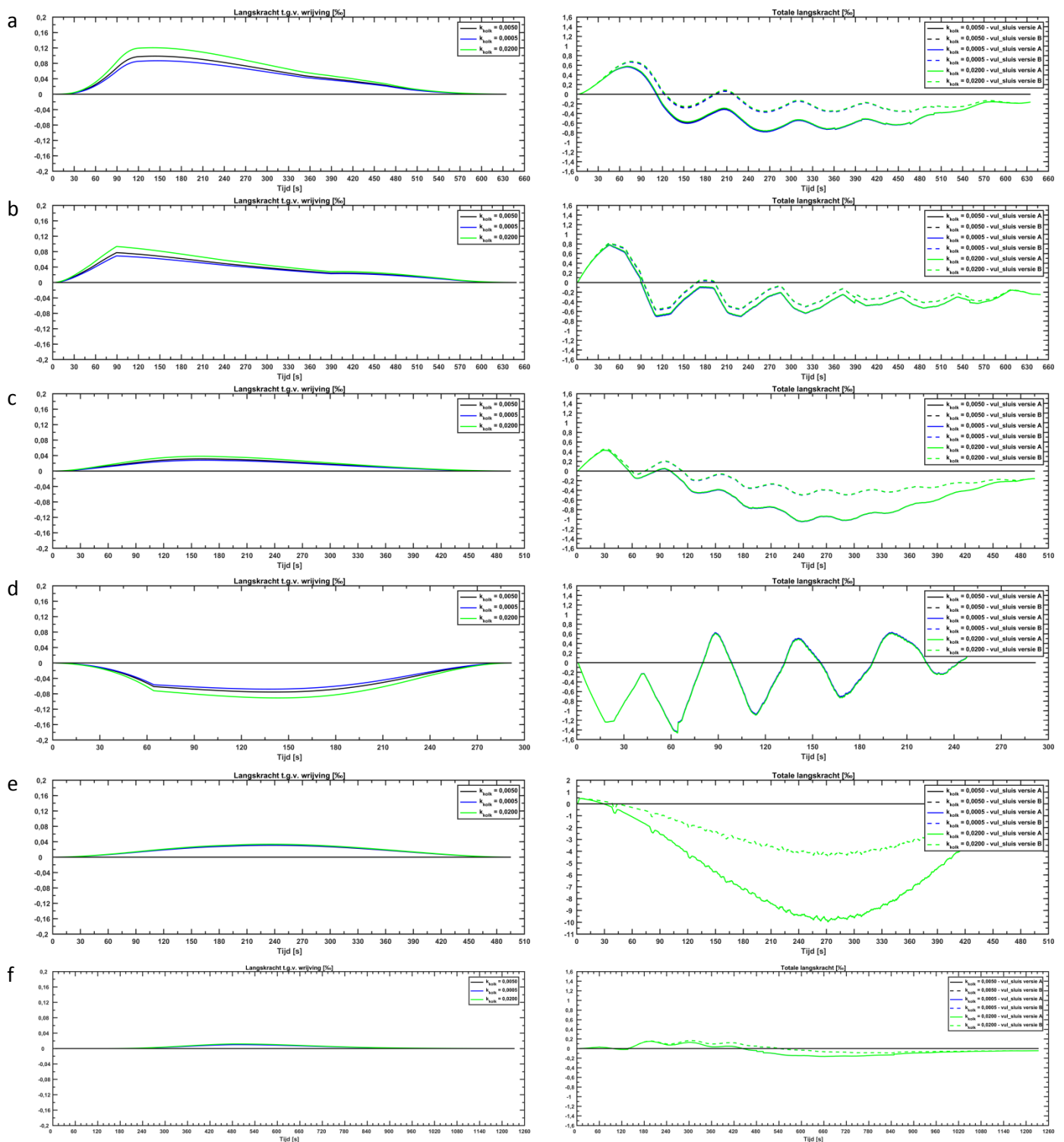
links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

Figuur 22 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10 bij $k_{kolk}=0,0005$, $k_{kolk}=0,0050$ en $k_{kolk}=0,0200$



a: Case05; b: Case06; c: Case07; d: Case08; e: Case09; f: Case10
links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

Figuur 23 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $k_{kol\bar{k}}=0,0005$, $k_{kol\bar{k}}=0,0050$ en $k_{kol\bar{k}}=0,0200$



a: Case11; b: Case12; c: Case13; d: Case14; e: Case15; f: Case16.

links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

Uit Figuur 20 volgt dat een verlaging van de ruwheidslengte van de kolkwanden en de kolkbodem van 0,0050 naar 0,0005 voor de meeste cases aanleiding geeft tot een verlaging van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving met 5 à 12 %. Enkel voor Case04 en Case05 wordt een verlaging tot ca. 30 % waargenomen.

Bij een toename van de ruwheidslengte van de kolkwanden en de kolkbodem van 0,0050 naar 0,0200 wordt voor de meeste cases een stijging met 8 à 20 % van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving waargenomen. Enkel voor Case01 wordt een stijging tot 30% waargenomen.

Hierbij wordt opgemerkt dat bij vullen van een sluiskolk een afname, respectievelijk toename van de maximale waarde van de langskracht wordt waargenomen en bij ledigen van een sluiskolk een toename, respectievelijk afname van de minimale waarde van de langskracht. Bij vullen is de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving immers positief van teken, bij ledigen negatief. In Figuur 20 worden hierop enkele uitzonderingen waargenomen. Analyse van de resultaten leert dat deze uitzonderingen zeer kleine afwijkingen betreffen van een langskracht die gelijk is aan 0.

De bijdrage van de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale kracht op het schip is echter zeer klein. Dit maakt dat een toename, respectievelijk afname van de maximale waarde van de ruwheidslengte van kolkwanden en kolkbodem resulteert in een wijziging van de berekende totale kracht op het schip met maximaal 3 %.

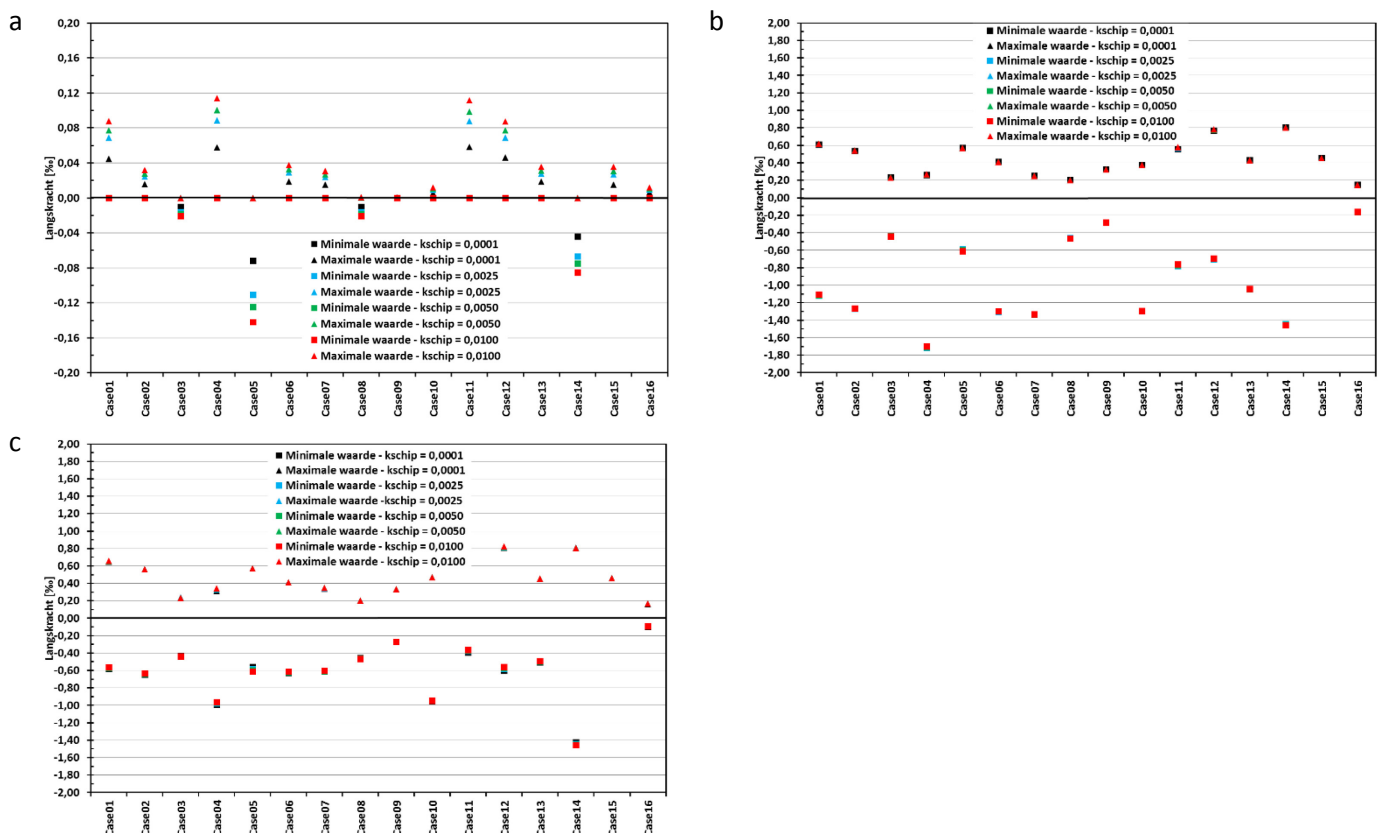
4.5 Resultaten simulaties met wijziging ruwheidslengte van de romp van het schip

Analoog als bij de coëfficiënt Ψ_3 en als bij de ruwheidslengte van kolkwanden en kolkbodem is de ruwheidslengte van de romp van het schip enkel aanwezig in de formulering voor de langskracht ten gevolge van wrijving. Voor deze component is er geen verschil in de formulering in de beide versies van het programma vul_sluis. Deze component is zowel bij vullen als bij ledigen van een sluis van toepassing.

Voor alle cases uit hoofdstuk 2 zijn simulaties uitgevoerd met $k_{\text{schip}}=0,0015$, $k_{\text{schip}}=0,0025$, $k_{\text{schip}}=0,0050$ en $k_{\text{schip}}=0,0100$. Hierbij wordt de waarde 0,0050 als basiswaarde voor deze coëfficiënt beschouwd.

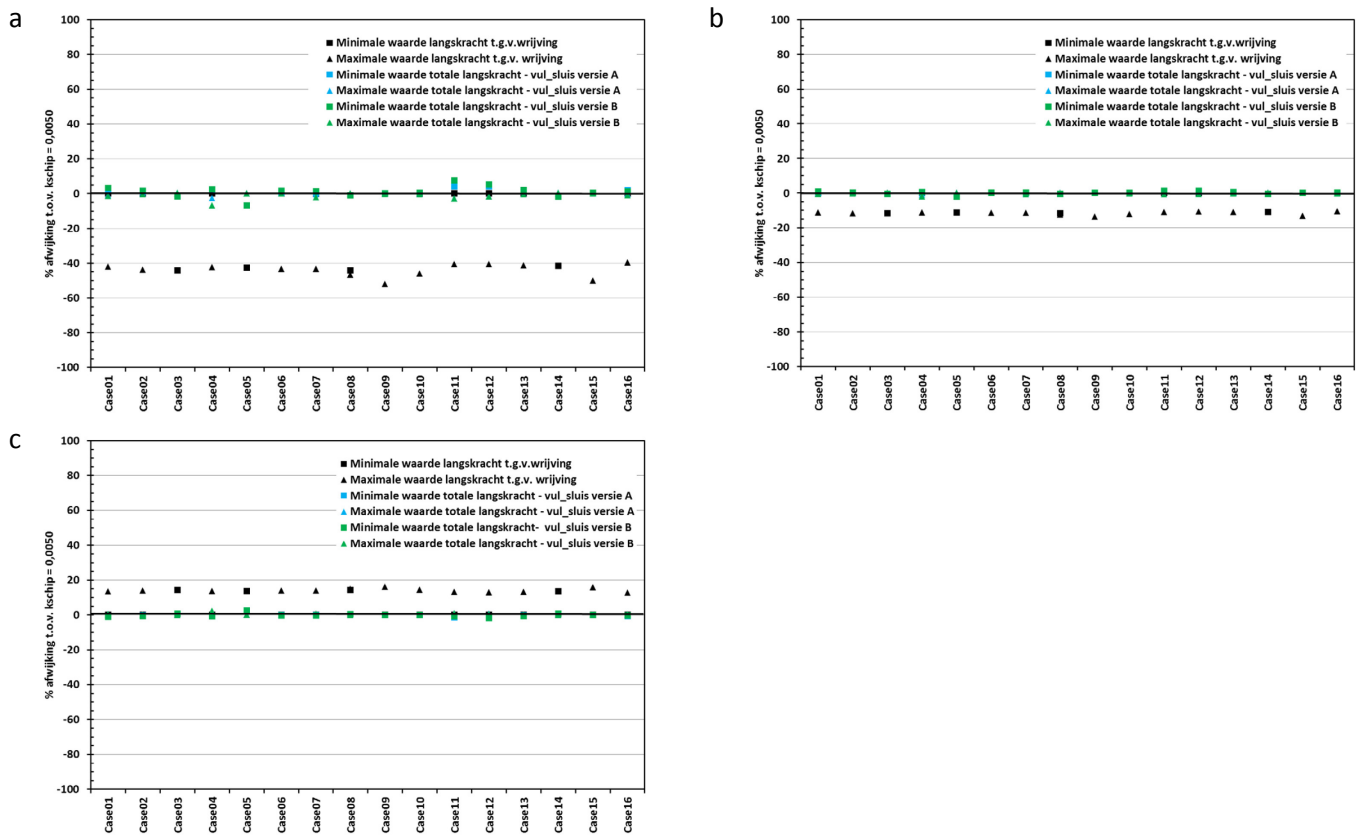
Figuur 24 geeft voor de drie uitgevoerde simulaties voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht. De procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($k_{\text{kol}}=0,0050$) is voor alle cases grafisch voorgesteld in Figuur 25. In Figuur 26, Figuur 27, Figuur 28 en Figuur 29 is voor alle uitgevoerde simulaties voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en van de totale langskracht grafisch voorgesteld. Analoog als in paragraaf 4.3 en paragraaf 4.4 is in deze figuren ook telkens de waarde van de totale langskracht berekend met de beide versies van vul_sluis voorgesteld.

Figuur 24 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt k_{schip}



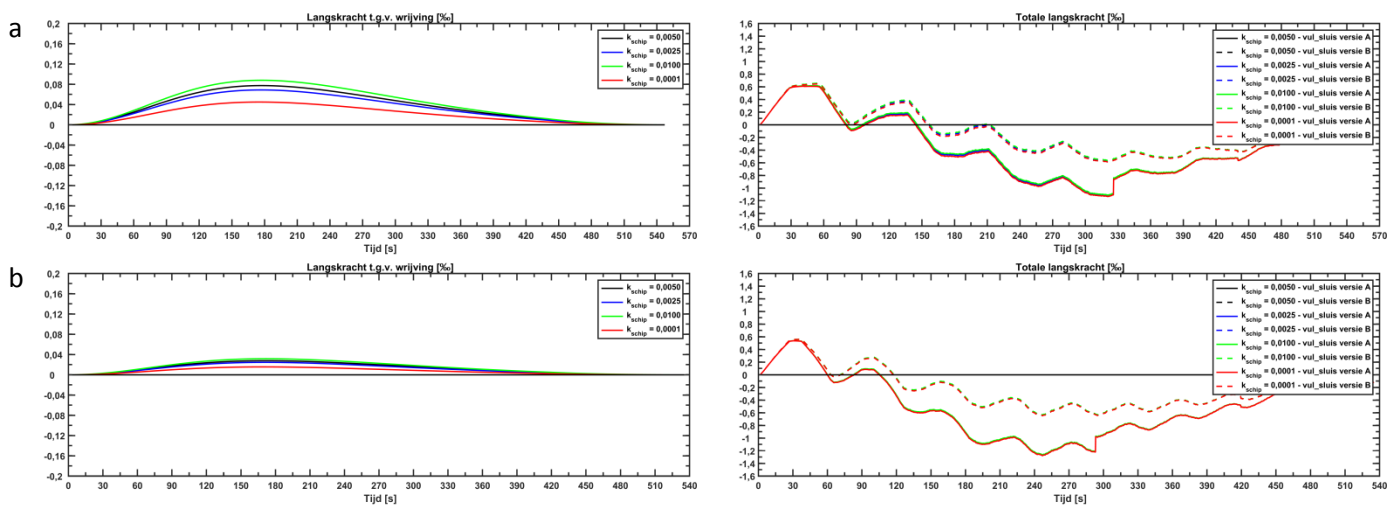
a: langskracht ten gevolge van wrijving; b: totale langskracht vul_sluis versie A; c: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 25 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($k_{\text{schip}} = 0,0050$) bij variatie coëfficiënt k_{schip} .



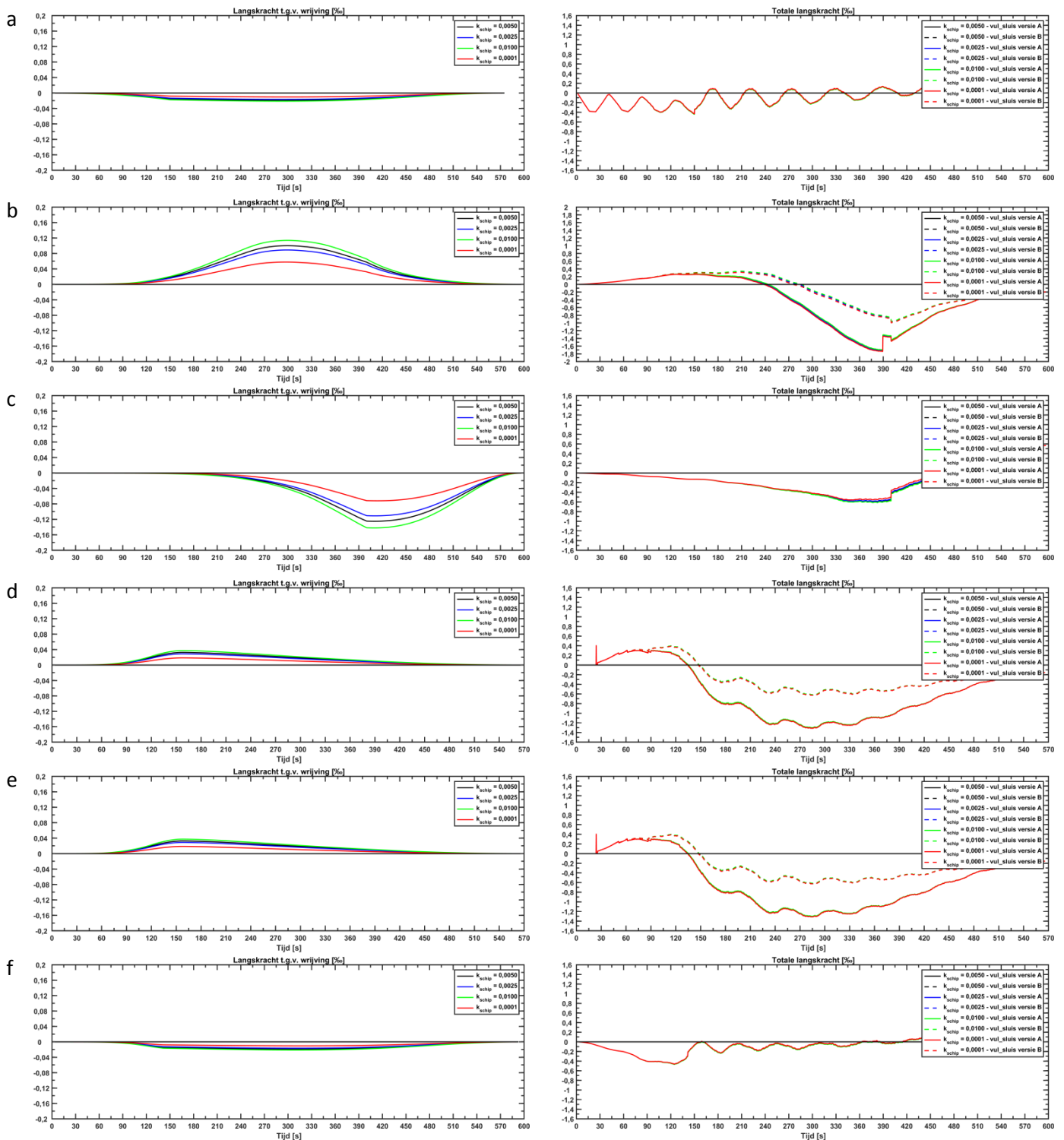
a: $k_{\text{schip}} = 0,0001$; b: $k_{\text{schip}} = 0,0025$; c: $0,0100$

Figuur 26 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case01 en Case02 bij $k_{\text{schip}} = 0,0015$, $k_{\text{schip}} = 0,0025$, $k_{\text{schip}} = 0,0050$ en $k_{\text{schip}} = 0,0100$.



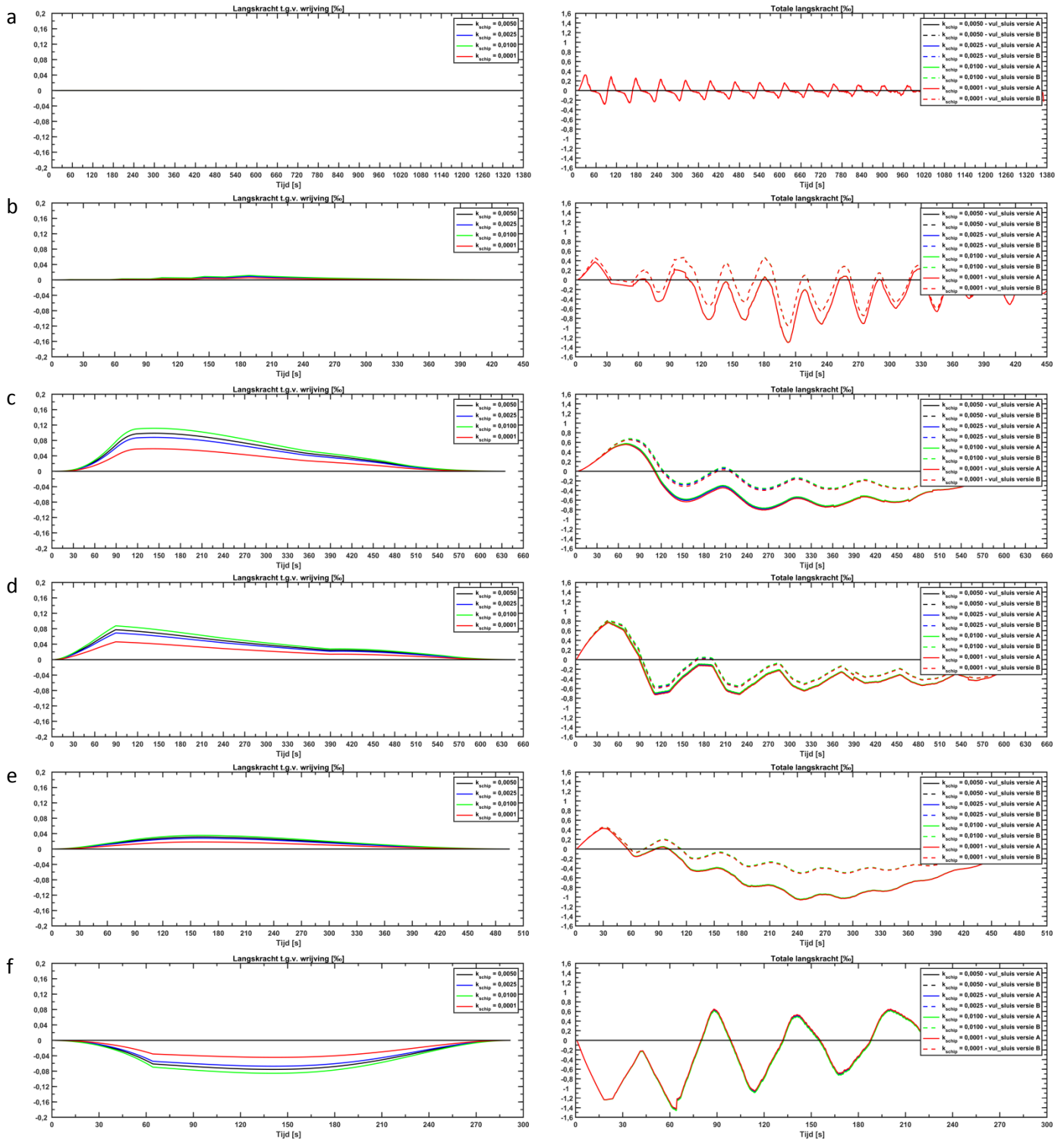
a: Case01; b: Case02;
links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

Figuur 27 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case03, Case04, Case05, Case06, Case07 en Case08 bij $k_{schip}=0,0015$, $k_{schip}=0,0025$, $k_{schip}=0,0050$ en $k_{schip}=0,0100$.



a: Case03; b: Case04; c: Case05; d: Case06; e: Case07; f: Case08
links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

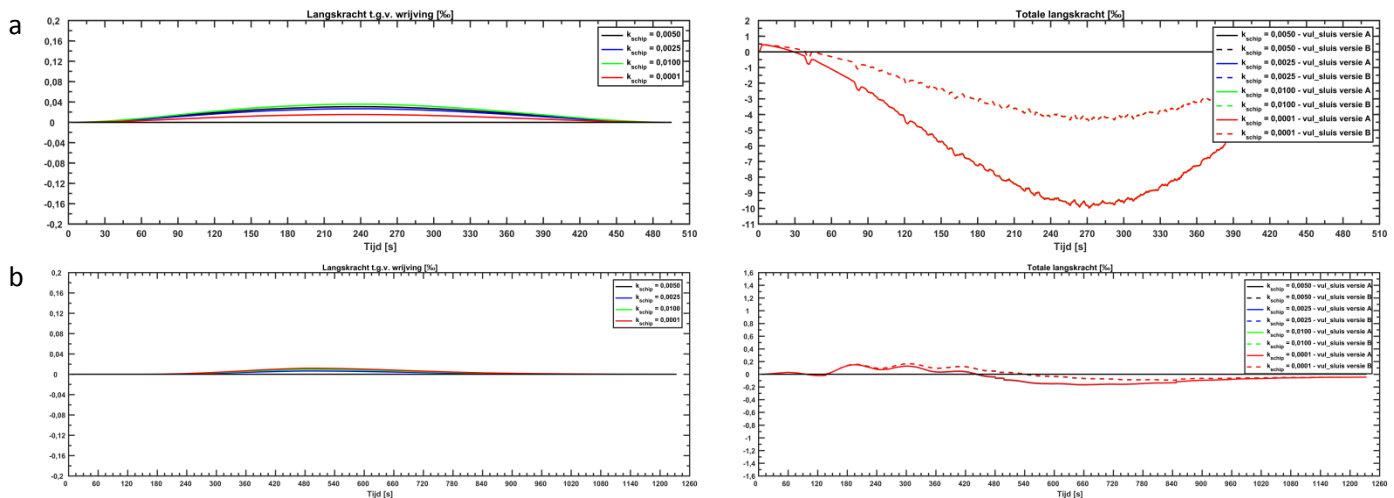
Figuur 28 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case09, Case10, Case11, Case12, Case13 en Case14 bij $k_{schip}=0,0015$, $k_{schip}=0,0025$, $k_{schip}=0,0050$ en $k_{schip}=0,0100$.



a: Case09; b: Case10; c: Case11; d: Case12; e: Case13; f: Case14.

links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

Figuur 29 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van wrijving en de totale langskracht voor Case15 en Case16
 bij $k_{\text{schip}}=0,0015$, $k_{\text{schip}}=0,0025$, $k_{\text{schip}}=0,0050$ en $k_{\text{schip}}=0,0100$.



a: Case15; b: Case16.

links: langskracht ten gevolge van wrijving – rechts: totale langskracht

Uit Figuur 25 volgt dat een verlaging van de ruwheidslengte van de romp van het schip van 0,0050 naar 0,0001 voor alle case aanleiding geeft tot een verlaging met 40 à 50% van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving. Een verlaging van de ruwheidslengte naar $k_{\text{schip}} = 0,0025$ geeft aanleiding tot een verlaging van de langskracht ten gevolge van wrijving met ca. 10 %, een stijging naar $k_{\text{schip}} = 0,0100$ tot een stijging van de langskracht met ca. 15 %.

Hierbij wordt opgemerkt dat bij vullen van een sluiscolk een afname, respectievelijk toename van de maximale waarde van de langskracht wordt waargenomen en bij ledigen van een sluiscolk een toename, respectievelijk afname van de minimale waarde van de langskracht. Bij vullen is de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving immers positief van teken, bij ledigen negatief. In Figuur 25 volgt voor Case08 (ledigen van een sluiscolk) ook een afname, respectievelijk toename van maximale waarde. Analyse van de resultaten voor deze case leert dat bij deze case zeer kleine afwijkingen op een maximale waarde gelijk aan 0 worden berekend.

De bijdrage van de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale kracht op het schip is echter zeer klein. Dit maakt dat een toename, respectievelijk afname van de maximale waarde van de ruwheidslengte van de romp van het schip resulteert in een wijziging van de berekende totale kracht op het schip met maximaal 3 %.

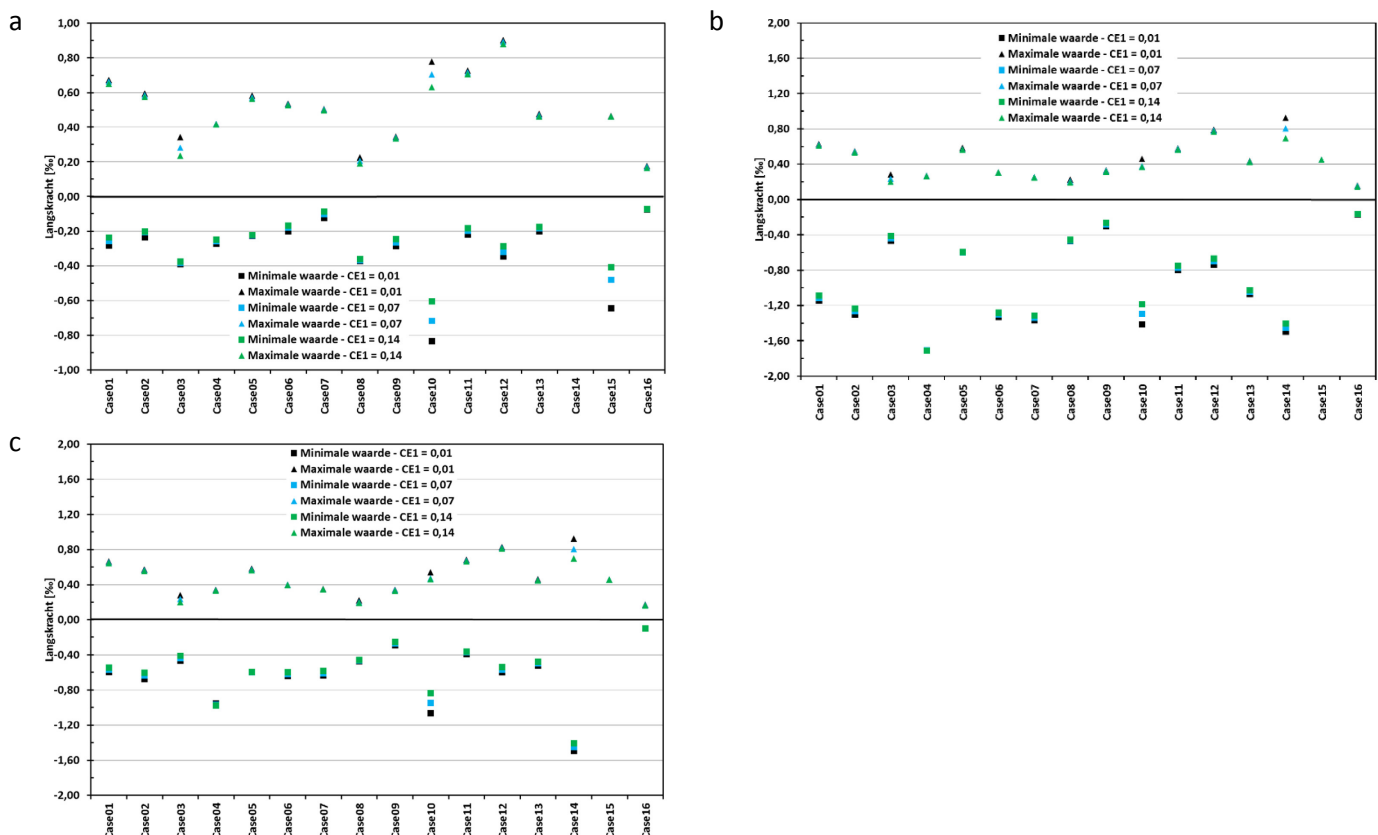
4.6 Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt CE_1

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.1 is de coëfficiënt CE_1 ingevoerd in vul_sluis release 01.51.00 om de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven te beschrijven. Een wijziging van de waarde van coëfficiënt CE_1 beïnvloedt dus enkel de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht op het schip.

Voor alle beschouwde cases in hoofdstuk 2 zijn simulaties uitgevoerd met $CE_1 = 0,01$, $CE_1 = 0,07$ en $CE_1 = 0,14$. Hierbij wordt de waarde 0,07 als basiswaarde voor deze coëfficiënt beschouwd.

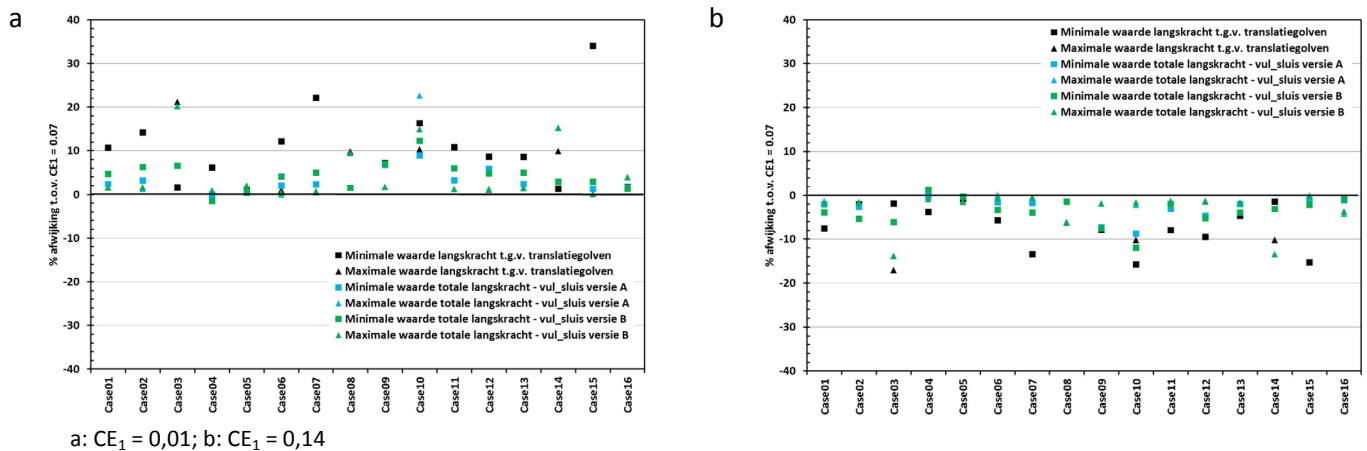
Figuur 30 geeft voor de uitgevoerde simulaties en voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en van de berekende totale langskracht. In Figuur 31 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge translatiegolven en van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($CE_1 = 0,07$) gegeven. In Figuur 32, Figuur 33 en Figuur 34 is voor alle cases en alle uitgevoerde simulaties de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en van de totale langskracht grafisch voorgesteld. Hierbij wordt opgemerkt dat de formulering van de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven niet wijzigt bij toepassen van vul_sluis versie A en vul_sluis versie B. De berekende totale langskracht op het schip verschilt wel tussen vul_sluis versie A en vul_sluis versie B. Om die reden is in de figuren zowel de waarde van de totale langskracht berekend met vul_sluis versie A als deze berekend met vul_sluis versie B voorgesteld.

Figuur 30 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt CE_1 .

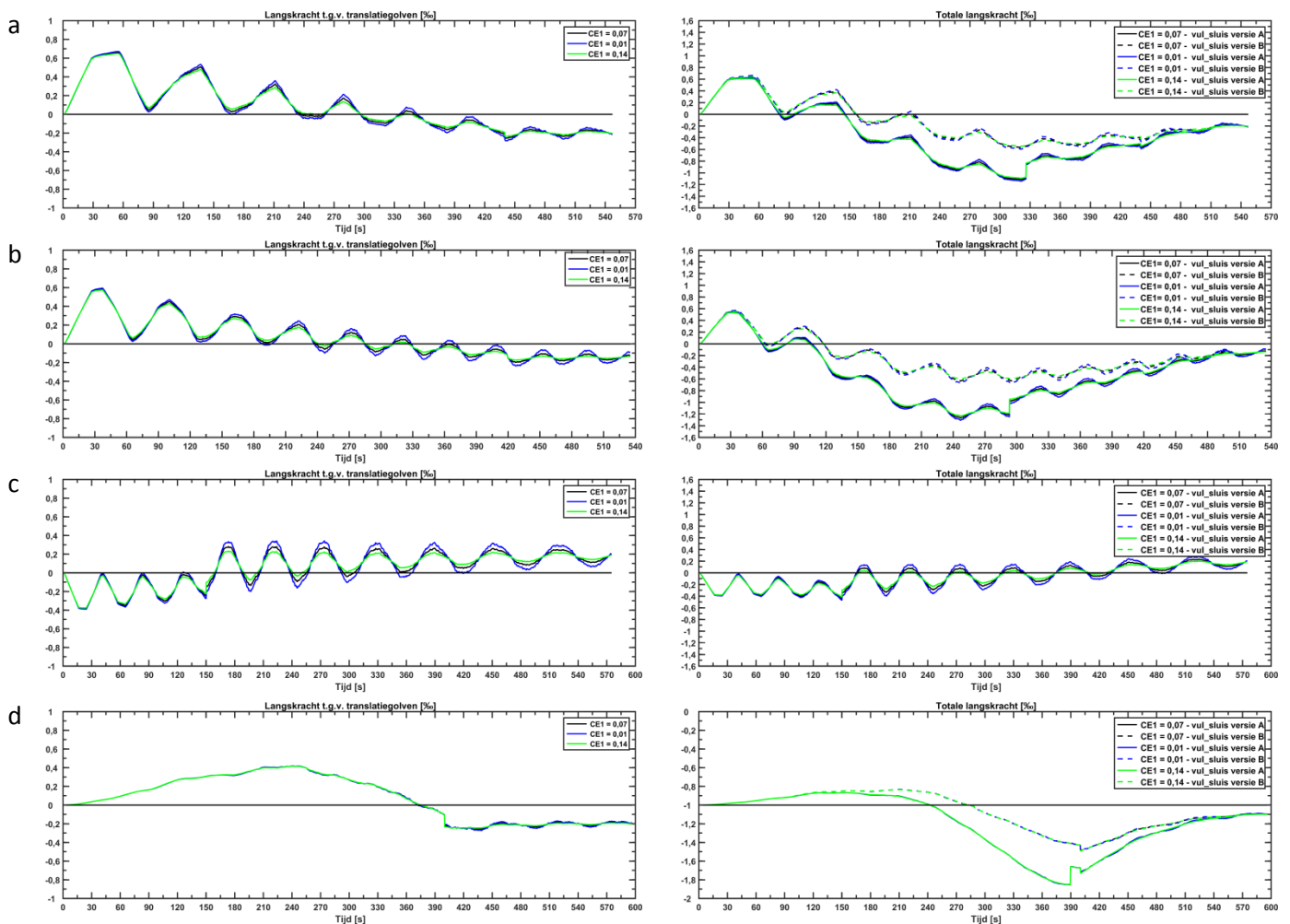


a: langskracht ten gevolge van translatiegolven; b: totale langskracht vul_sluis versie A; c: totale langskracht vul_sluis versie B

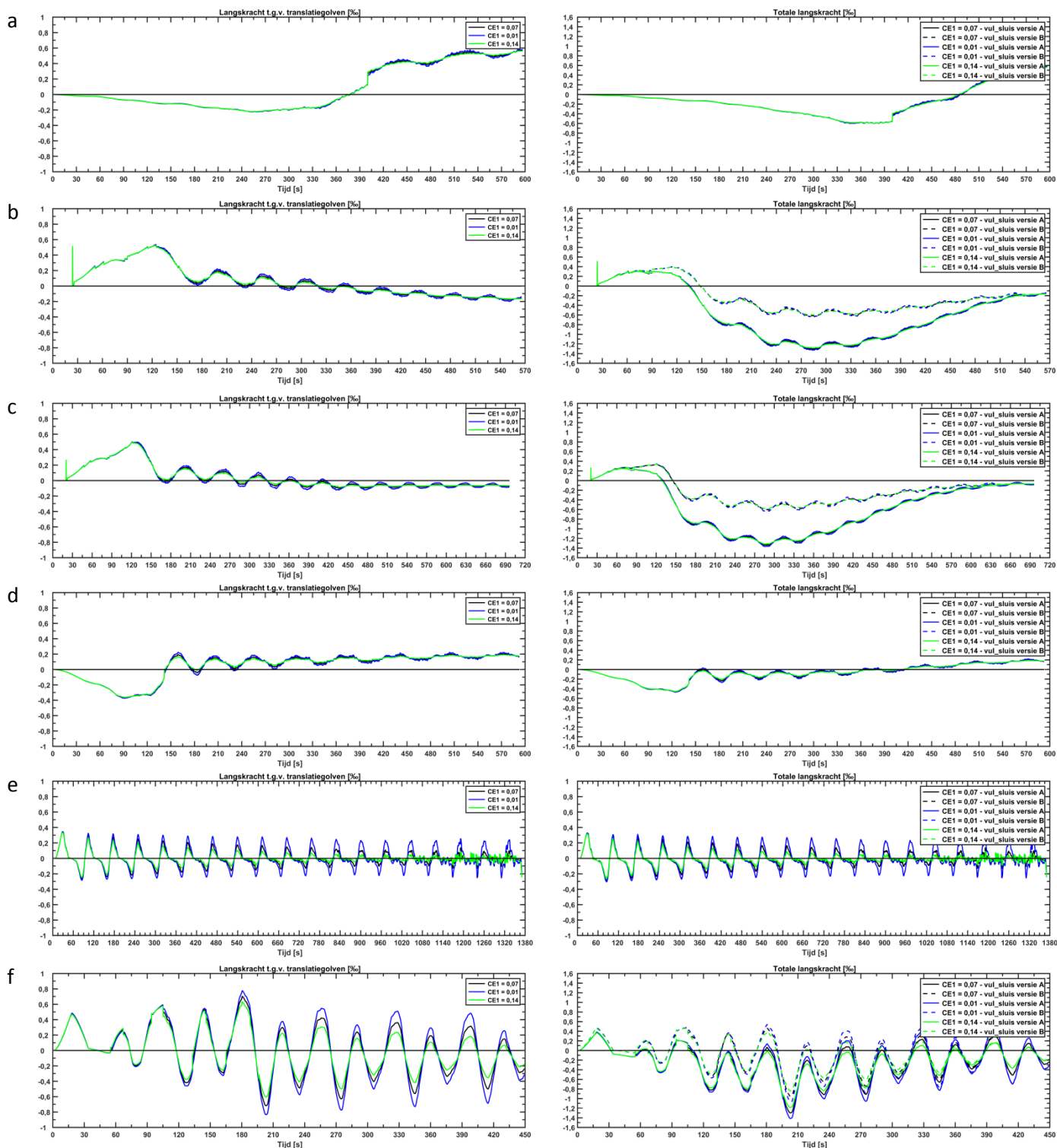
Figuur 31 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($CE_1=0,07$) bij variatie coëfficiënt CE_1 .



Figuur 32 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03 en Case04 bij $CE_1 = 0,01$, $CE_1 = 0,07$ en $CE_1 = 0,14$.



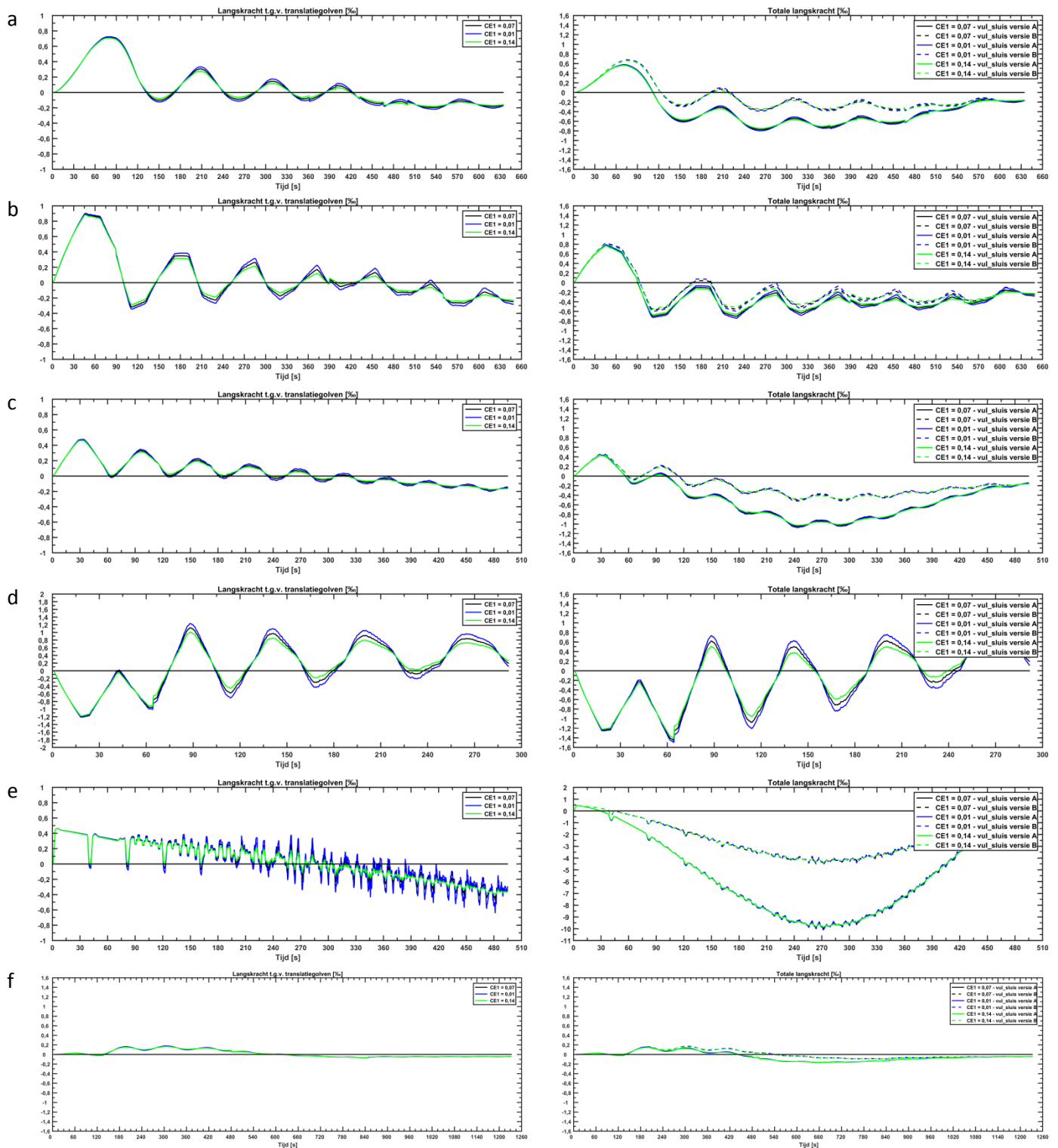
Figuur 33 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10 bij $CE_1 = 0,01$, $CE_1 = 0,07$ en $CE_1 = 0,14$.



a: Case05; b: Case06; c: Case07; d: Case08; e: Case09; f: Case10

links: langskracht ten gevolge van translatiegolven – rechts: totale langskracht

Figuur 34 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case11, Case12; Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $CE_1 = 0,01$, $CE_1 = 0,07$ en $CE_1 = 0,14$.



a: Case11; b: Case12; c: Case13; d: Case14; e: Case15; f: Case16
links: langskracht ten gevolge van translatiegolven – rechts: totale langskracht

Uit Figuur 30 tot en met Figuur 34 volgt dat een verlaging van de waarde van coëfficiënt CE_1 van 0,07 naar 0,01 een beperkte invloed heeft op de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Een toename van coëfficiënt CE_1 van 0,07 naar 0,14 zorgt voor een grotere demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven.

Dit volgt ook uit Figuur 31. De verlaging van CE_1 van 0,07 naar 0,01 zorgt voor een toename met 20 à 35 % van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Verhogen van CE_1 van 0,07 naar 0,14 zorgt voor een afname met 10 à 15 % van de langskracht. Hierbij wordt opgemerkt dat bij vullen de grootste invloed waargenomen wordt op de minimale waarde en bij ledigen (Case03, Case05, Case08 en Case14) op de maximale waarde. De maximale waarde doet zich bij vullen bij begin nivelleren voor, bij ledigen doet de minimale waarde zich voor bij begin nivelleren. Bij begin nivelleren is de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven nog minimaal, aangezien de openingen in de sluisdeur op dat moment slechts beperkt geopend zijn. De demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven is namelijk ingevoerd in LOCKFILL om rekening te houden met het dempen van translatiegolven ten gevolge van volledige geopende openingen in de deuren (zie Verelst *et al.* (2014)).

Wat de invloed op de totale kracht betreft, wordt bij Case03, Case10, respectievelijk Case14 een stijging met 20 %, 23 %, respectievelijk 15 % waargenomen bij verlagen van CE_1 naar 0,01 en een daling met 14 %, 12%, respectievelijk 13 % bij de toename van CE_1 naar 0,14. Bij de overige cases zorgt het verlagen van CE_1 naar 0,01, respectievelijk de toename van CE_1 naar 0,14 voor een stijging, respectievelijk daling van de totale kracht met 5 à 10 %.

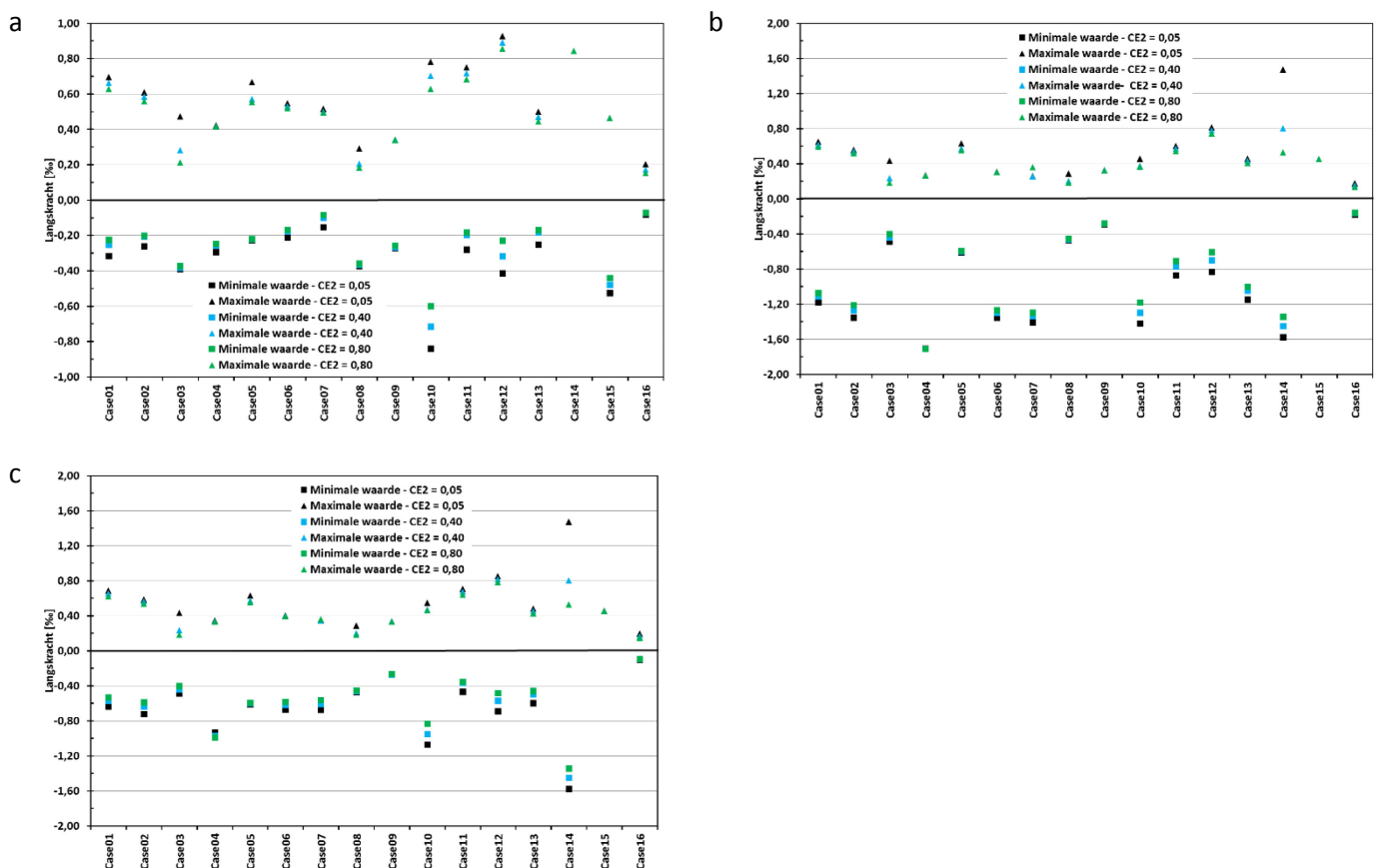
4.7 Resultaten simulaties met wijziging coëfficiënt CE_2

Analoog als coëfficiënt CE_1 is de coëfficiënt CE_2 ingevoerd in vul_sluis release 01.51.00 om de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven te beschrijven. Een wijziging van de waarde van coëfficiënt CE_2 beïnvloedt dus enkel de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale kracht op het schip.

Voor alle beschouwde cases in hoofdstuk 2 zijn simulaties uitgevoerd met $CE_2 = 0,05$, $CE_2 = 0,40$ en $CE_2 = 0,80$. Hierbij wordt de waarde 0,40 als basiswaarde voor deze coëfficiënt beschouwd.

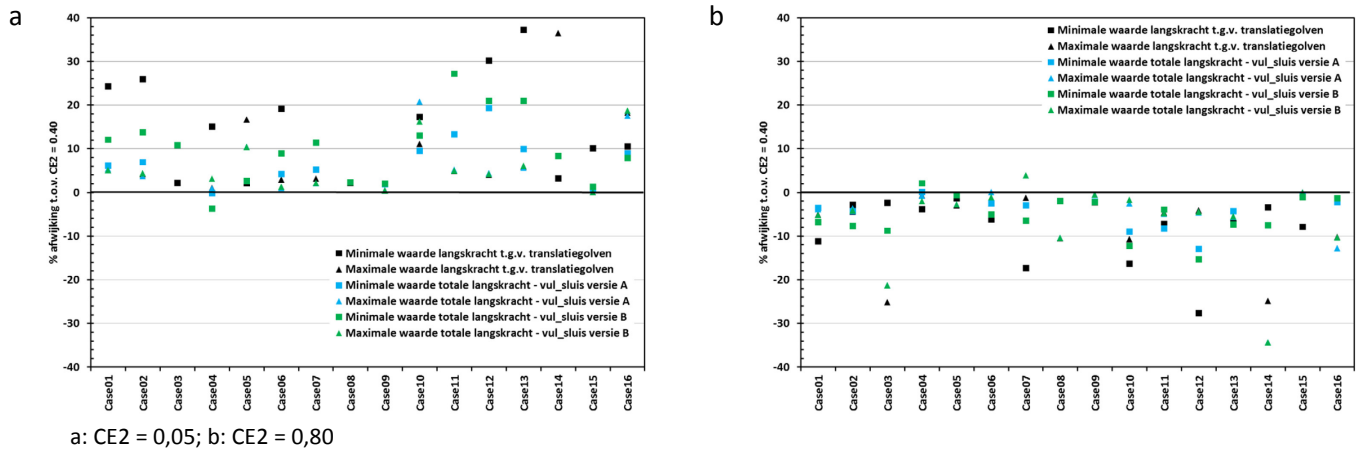
Figuur 35 geeft voor de drie uitgevoerde simulaties voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en van de berekende totale langskracht. In Figuur 36 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge translatiegolven en van de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($CE_2 = 0,40$) gegeven. In Figuur 37, Figuur 38 en Figuur 39 is voor alle cases en alle uitgevoerde simulaties de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en van de totale langskracht grafisch voorgesteld. Analoog als in paragraaf 4.6 is in deze figuren naast de langskracht ten gevolge van translatiegolven zowel de waarde van de totale langskracht berekend met vul_sluis versie A als deze berekend met vul_sluis versie B voorgesteld.

Figuur 35 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht bij variatie coëfficiënt CE_2

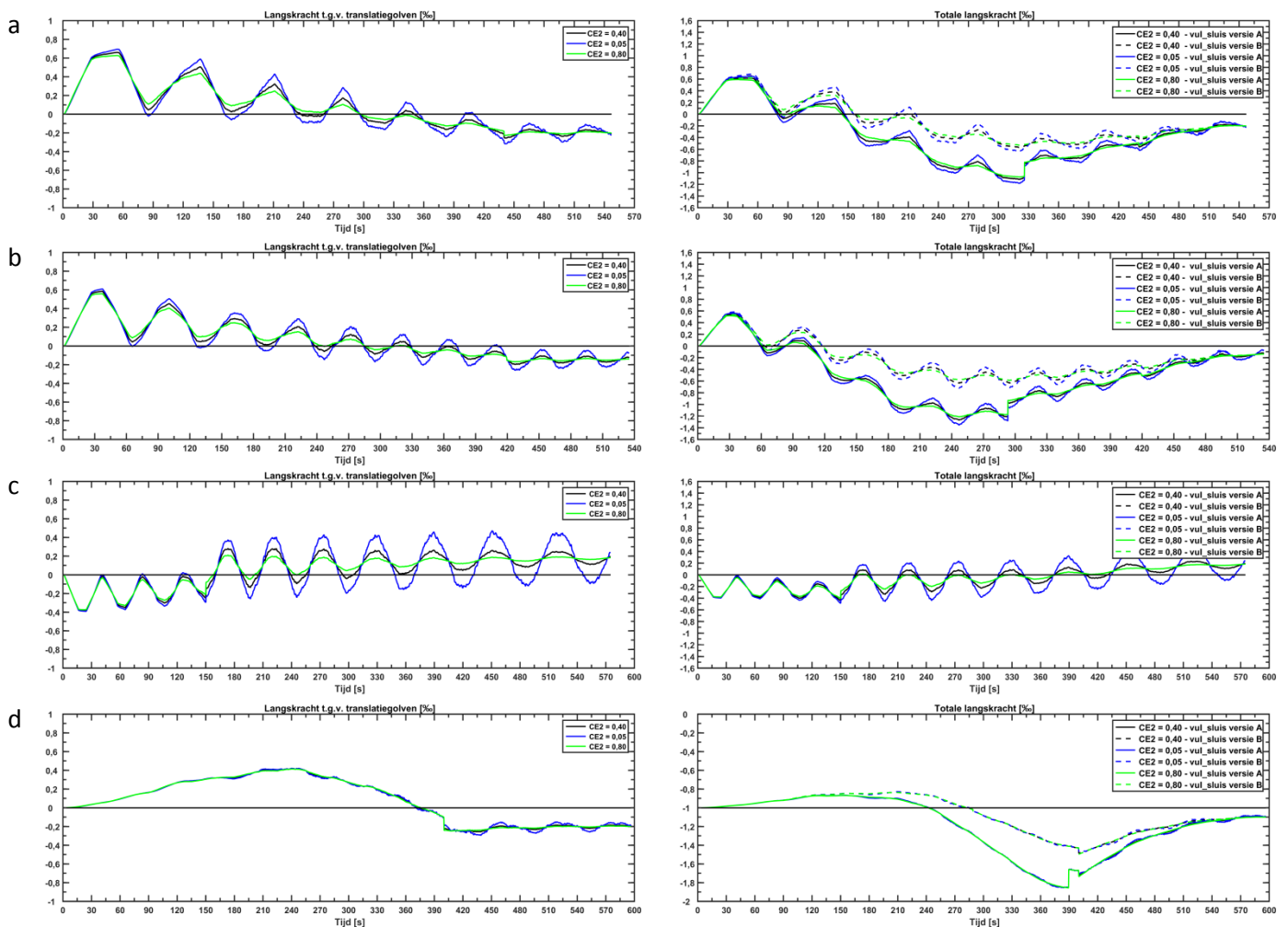


a: langskracht ten gevolge van translatiegolven; b: totale langskracht vul_sluis versie A; c: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 36 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht ten opzichte van de basissimulatie ($CE_2=0,40$) bij variatie coëfficiënt CE_2 .



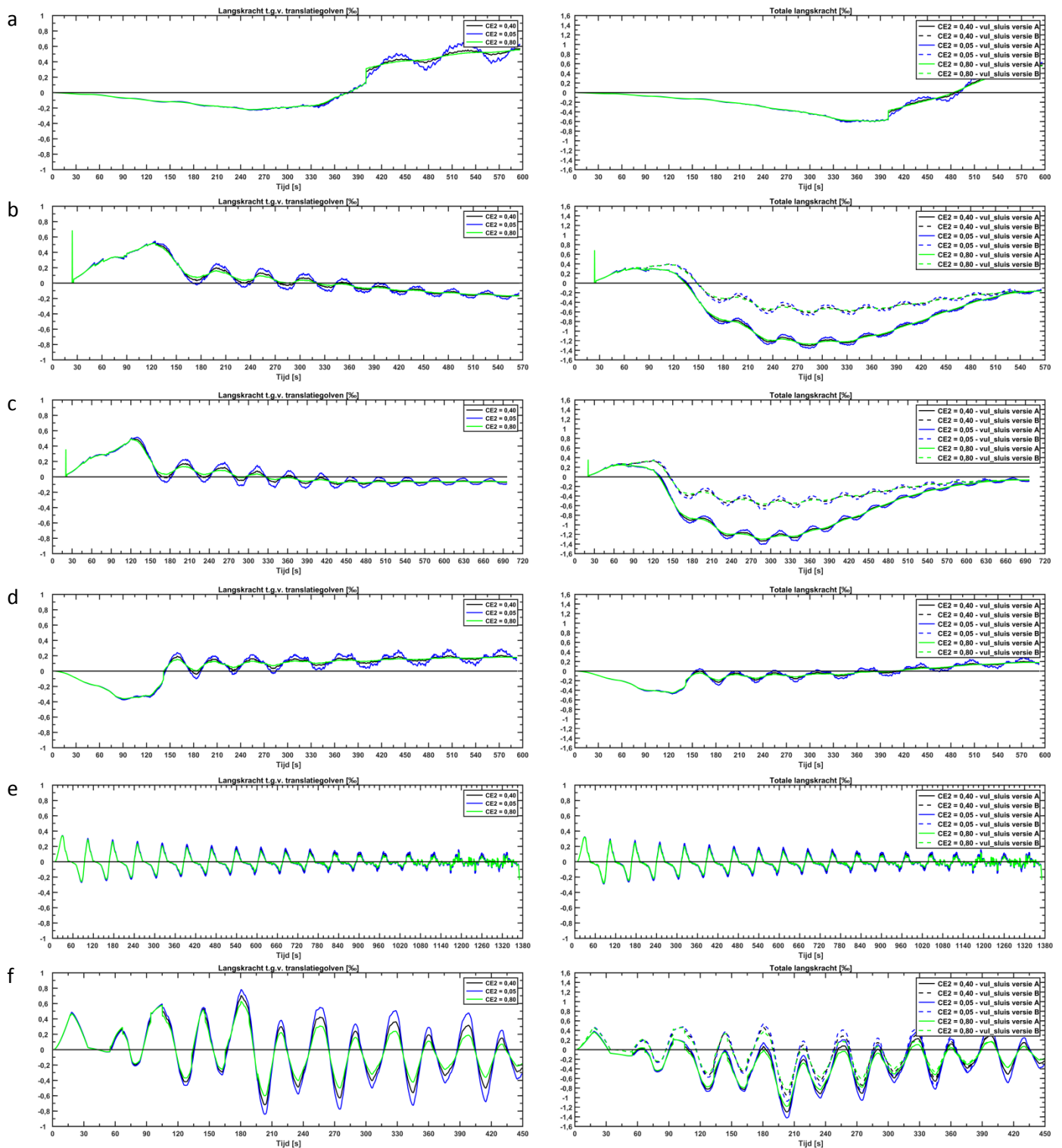
Figuur 37 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case01, Case02, Case03 en Case04 bij $CE_2 = 0,05$, $CE_2 = 0,40$ en $CE_2 = 0,80$.



a:Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04

links: langskracht ten gevolge van translatiegolven – rechts: totale langskracht

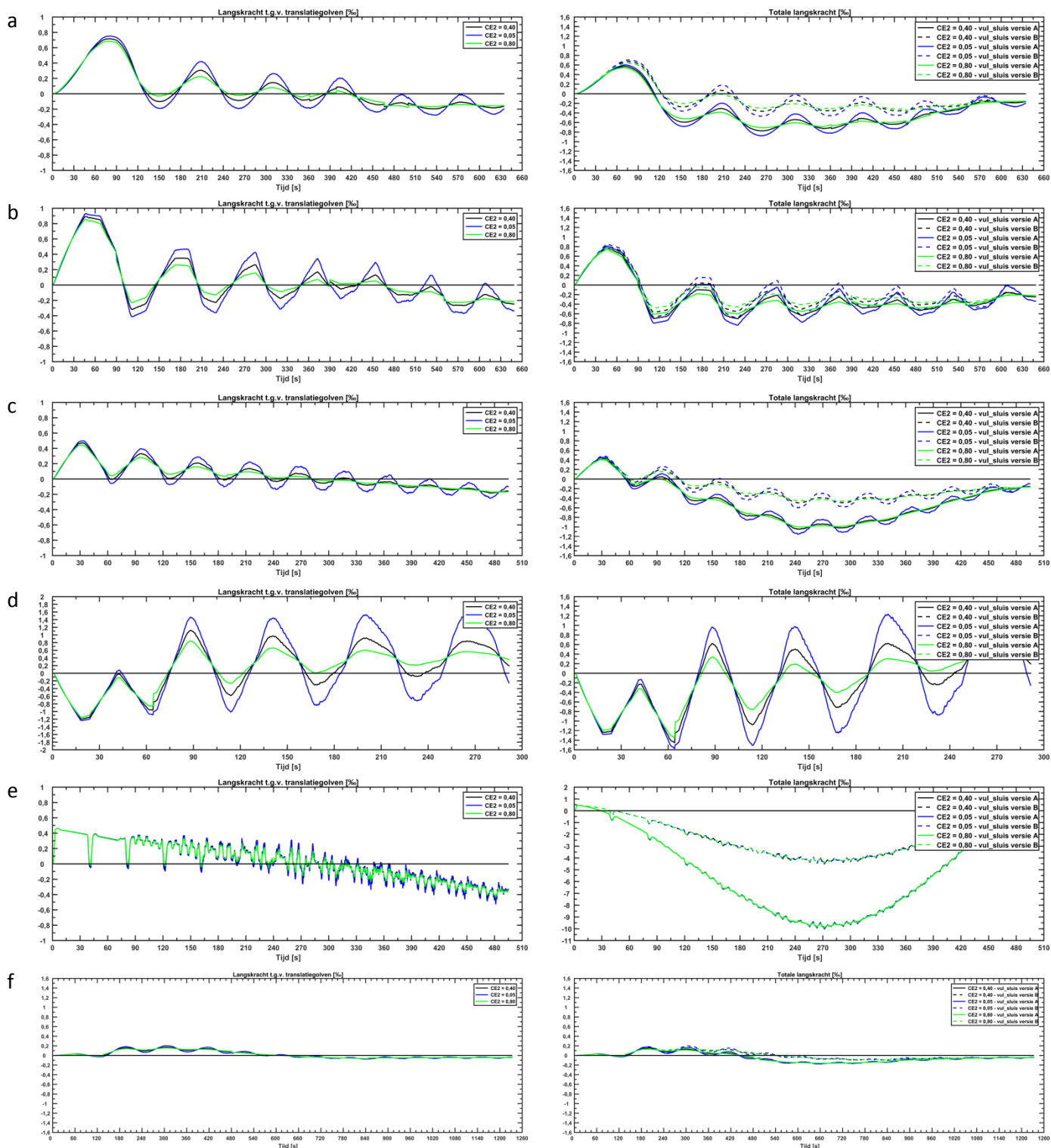
Figuur 38 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10 bij $CE_2 = 0,05$, $CE_2 = 0,40$ en $CE_2 = 0,80$



a: Case05; b: Case06; c: Case07; d: Case08; e: Case09; f: Case10

links: langskracht ten gevolge van translatiegolven – rechts: totale langskracht

Figuur 39 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de totale langskracht voor Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16 bij $CE_2 = 0,05$, $CE_2 = 0,40$ en $CE_2 = 0,80$



a: Case11; b: Case12; c: Case 13; d: Case14; e: Case15; f: Case16
links: langskracht ten gevolge van translatiegolven – rechts: totale langskracht

Voor de verschillende cases tonen Figuur 37, Figuur 38 en Figuur 39, dat een toename van de waarde van coëfficiënt CE_2 van 0,40 naar 0,80 aanleiding geeft tot een toename van de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De fluctuatie van deze langskracht is kleiner bij een hogere waarde van CE_2 . Het verlagen van CE_2 van 0,40 naar 0,05 zorgt dan ook voor een toename van de fluctuaties van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven neemt ook toe naar het einde van de nivellering toe, waardoor een toename of afname van de coëfficiënt CE_2 meer invloed heeft naar het einde van de nivellering toe (bij volledig geopende schuiven / kleppen), dan aan het begin van de nivellering.

Figuur 36 toont dat de langskracht ten gevolge van translatiegolven tot 37 % kan toenemen bij een verlaging van CE_1 van 0,40 naar 0,05 en tot 28 % kan afnemen bij een verhoging van CE_1 van 0,40 naar 0,80. Analoog als bij de variatie van de coëfficiënt CE_1 wordt bij vullen de grootste invloed waargenomen op de minimale waarde en bij ledigen (Case03, Case05, Case08 en Case14) op de maximale waarde.

Wat de invloed op de totale kracht betreft, zorgt het verlagen van CE_2 naar 0,05, respectievelijk de toename van CE_2 naar 0,80 voor bijna alle cases in een toename van de langskracht tot 27 %, respectievelijk een afname van de langskracht tot 34 %. Voor Case04 wordt bij het verlagen van CE_2 een afname van de maximale waarde van de totale kracht met 4 % waargenomen en voor Case04 en Case11 wordt bij het verhogen van CE_2 een toename van de langskracht tot 4 % waargenomen.

4.8 Samenvatting resultaten

In dit hoofdstuk is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de invloed nagegaan is van de variatie van een aantal algemene invoerparameters op de langskrachten op het schip berekend met vul_sluis. Concreet zijn de invoerparameters Ψ_1 , Ψ_3 , de ruwheidslengte van kolkwanden, de ruwheidslengte van de romp van het schip en de coëfficiënten CE_1 en CE_2 beschouwd.

De coëfficiënt Ψ_1 heeft enkel invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Een afname, respectievelijk toename van de waarde van de coëfficiënt Ψ_1 (met bijvoorbeeld 50 %) resulteert in een evenredige afname, respectievelijk toename (met 50 %) van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Echter, de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in de totale langskracht op het schip is beperkt. Deze bijdrage is altijd positief van teken en ook beperkt in de tijd, namelijk de tijdsduur dat de vulstraal tegen de boeg van het schip botst. Enkel bij Case16 is de tijdsduur dat de vulstraal tegen de boeg van het schip botst bijna gelijk aan de volledige nivelleertijd. Voor Case16 wordt daarom een invloed van een toename of afname van de waarde van de coëfficiënt Ψ_1 op de totale langskracht waargenomen met 79 % bij toepassen van vul_sluis versie B en 22 % bij toepassen van vul_sluis versie A. Bij Case04 bedraagt deze invloed 14 % bij toepassen van vul_sluis versie B en 8 % bij toepassen van vul_sluis versie A. Voor de overige cases worden beduidend lagere procentuele afwijkingen berekend.

De coëfficiënt Ψ_3 , de ruwheidslengte van kolkwanden en de ruwheidslengte van de romp van het schip beïnvloeden enkel de langskracht ten gevolge van wrijving. Een afname, respectievelijk toename van de waarde van de coëfficiënt Ψ_3 (met bijvoorbeeld 50 %) resulteert in een evenredige afname, respectievelijk toename van de langskracht (met 50 %) ten gevolge van wrijving. Een verlaging van de ruwheidslengte van de kolkwanden en de kolkbodem van 0,0050 naar 0,0005 geeft voor de meeste cases aanleiding tot een verlaging van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving met 5 à 12 %. Enkel voor Case04 en Case05 wordt een verlaging tot ca. 30 % waargenomen. Bij een toename van de ruwheidslengte van de kolkwanden en de kolkbodem van 0,0050 naar 0,0200 wordt voor de meeste cases een stijging met 8 à 20 % van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving waargenomen. Enkel voor Case01 wordt een stijging tot 30% waargenomen.

Een verlaging van de ruwheidslengte van de romp van het schip van 0,0050 naar 0,0001 geeft voor alle cases aanleiding tot een verlaging met 40 à 50% van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving. Een verlaging van de ruwheidslengte naar 0,0025 geeft aanleiding tot een verlaging van de langskracht ten gevolge van wrijving met ca. 10 %, een stijging naar 0,0100 tot een stijging van de langskracht met ca. 15 %.

De bijdrage van de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale kracht op het schip is echter zeer klein. Dit heeft tot gevolg dat een toename of afname van de waarde van de coëfficiënt ψ_1 op de totale langskracht beperkt is tot maximaal 5 % à 12 % bij toepassen van beide versies van vul_sluis. Het wijzigen van de ruwheidslengte van de kolkwanden en kolkbodem en de ruwheidslengte van de romp van het schip resulteert in een wijziging van de berekende totale kracht op het schip met maximaal 3 %.

De coëfficiënten CE_1 en CE_2 hebben enkel invloed op de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Een verlaging van de waarde van coëfficiënt CE_1 van 0,07 naar 0,01 heeft een beperkte invloed op de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven (een toename met 20 à 35 %). Een toename van coëfficiënt CE_1 van 0,07 naar 0,14 zorgt voor een grotere demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en voor een afname van de langskracht met 10 à 15 %. Wat de invloed op de totale kracht betreft, zorgt het verlagen van CE_1 naar 0,01, respectievelijk de toename van CE_1 naar 0,14 bij bijna alle cases voor een stijging, respectievelijk daling van de totale kracht met 5 à 10 %, met voor enkele cases uitschieters tot 23 %.

Een toename van de waarde van coëfficiënt CE_2 van 0,40 naar 0,80 geeft aanleiding tot een toename (tot 37 %) van de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. De fluctuatie van deze langskracht is kleiner bij een hogere waarde van CE_2 , waardoor de langskracht een afname vertoont tot 28 %. Het verlagen van CE_2 van 0,40 naar 0,05 zorgt dan ook voor een toename van de fluctuaties van de langskracht ten gevolge van translatiegolven, waardoor de langskracht kan toenemen tot 37 %. De demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven neemt ook toe naar het einde van de nivellering, waardoor een toename of afname van de coëfficiënt CE_2 meer invloed heeft naar het einde van de nivellering toe (bij volledig geopende schuiven / kleppen), dan bij het begin van de nivellering. Wat de invloed op de totale kracht betreft, zorgt het verlagen van CE_2 naar 0,05, respectievelijk de toename van CE_2 naar 0,80 voor bijna alle cases in een toename van de langskracht tot 27 %, respectievelijk een afname van de langskracht tot 34 %.

5 Analyse invloed wijzigingen aan code

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt de invloed onderzocht op de resultaten van 15 (beperkte) wijzigingen aan de code van het programma vul_sluis. Deze wijzigingen betreffen enerzijds een aantal fouten in de code dewelke in Verelst *et al.* (2014), Verelst *et al.* (2016a) en Verelst *et al.* (2016b) tijdens de rapportering zijn opgemerkt. Bij de opmaak van de hierboven genoemde rapportering is beslist om deze fouten niet te verbeteren vooraleer de invloed op de berekende krachten van deze fouten is nagegaan. Anderzijds betreffen deze wijzigingen een aantal gewijzigde formuleringen, waarvan de invloed op de berekende langskrachten op het schip wordt nagegaan.

De aanpassingen aan de code voor deze 15 (beperkte) wijzigingen zijn beschreven in paragraaf 3.4. Tabel 8 geeft een overzicht van deze wijzigingen en de naamgeving ervan. In de eerste kolom van deze tabel is ook de nummer van de paragraaf van dit hoofdstuk vermeld, waarin de resultaten van simulaties met deze gewijzigde formulering worden beschreven.

Tabel 8 – Wijzigingen aan de code in release 01.52.00

Paragraaf	Naam wijziging	Omschrijving
5.2	modA	Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal
5.3	modB	Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,10 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt.
	modC	Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,01 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt.
	modO	Wijziging berekening locatie van het omslagpunt naar de formulering volgens Rajaratnam & Subramanya (1986).
5.4	modD	Wijziging 1 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg.
	modE	Wijziging 2 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg.
5.5	modF	Aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg
5.6	modG	Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie A van vul_sluis.
	modH	Foutief verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie B van vul_sluis.
	modI	Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie A van vul_sluis.
	modJ	Foutief verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie B van vul_sluis.
5.7	modK	Wijziging constante C_1 naar waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie A.
	modL	Wijziging constante C_1 naar waarde 3,5 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie B.
5.8	modM	Toepassing tweede-orde differenties bij berekening van $\delta q / \delta t$.
	modN	Toepassing derde-orde differenties bij berekening van $\delta q / \delta t$.

Om geen 15 opeenvolgende releases van het programma vul_sluis te definiëren zijn deze wijzigingen in vul_sluis release 01.52.00 in de code vermeld als commentaarlijnen. Om de invloed van elke wijziging op de berekende langskracht na te gaan, wordt in dit hoofdstuk telkens één gewijzigde formulering actief gemaakt en de bijbehorende originele formulering als commentaarlijn vermeld.

Vooreerst zijn simulaties uitgevoerd voor de 16 cases uit hoofdstuk 2 met vul_sluis release 01.51.01. Deze simulaties worden gebruikt als basissimulatie voor de vergelijking met de resultaten van simulaties met de gewijzigde formuleringen. Daarna wordt telkens één gewijzigde formulering actief gemaakt. Met deze gewijzigde formulering worden de simulaties voor de 16 cases opnieuw uitgevoerd. Hierbij wordt aan de naam van de outputfile 'R01_52_00_modX' toegevoegd met *modX* de naam uit Tabel 8 van de betreffende wijziging. Op deze wijze worden $16 \times 15 = 240$ simulaties bekomen.

Voor de bespreking van de invloed van deze wijziging op de berekende langskrachten worden de wijzigingen die betrekking hebben op één parameter in de volgende paragrafen samen besproken. Analoog als in hoofdstuk 2 worden hiervoor grafische voorstellingen getoond van de minimale en maximale waarde van de berekend langskracht, de procentuele afwijking ten opzichte van de basissimulatie van de minimale en maximale waarde van de langskracht berekend met de gewijzigde formulering en de variatie in de tijd van de berekende langskracht voor de basissimulatie en voor de simulaties met de gewijzigde formuleringen.

Hierbij geldt ook dat de procentuele afwijking ten opzichte van de basissimulatie van de langskracht berekend met een gewijzigde formulering als volgt berekend wordt:

$$\% \text{ afwijking} = \frac{\text{waarde simulatie } X - \text{waarde basissimulatie}}{\text{waarde basissimulatie}} \times 100 \%$$

De wijzigingen die in paragraaf 5.2 worden besproken hebben enkel betrekking op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, deze in paragraaf 5.3 tot en met paragraaf 5.7 hebben betrekking op zowel de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking als de langskracht ten gevolge van impulsafname. Deze wijzigingen zijn enkel van toepassing als bij de berekening van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname de impuls bij de boeg van het schip berekend wordt aan de hand van de spreiding van de jet in de sluis kolk. Dit is enkel het geval bij vullen van een sluis kolk. Bij ledigen van een sluis is de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking gelijk aan 0 en wordt de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend op basis van het debiet door de openingen in de deur. Om die reden is in paragraaf 5.2 tot en met paragraaf 5.7 de invloed van de betreffende wijzigingen op de berekende langskrachten enkel onderzocht voor de cases uit hoofdstuk 2 met betrekking tot vullen van een sluis. Case03, Case05, Case08 en Case14, dewelke betrekking hebben op ledigen van een sluis, worden in deze paragrafen dus niet beschouwd.

Daarnaast is de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en deze voor de langskracht ten gevolge van impulsafname verschillend in vul_sluis versie A en vul_sluis versie B. Om die reden is in de grafische voorstellingen in paragraaf 5.2 tot en met paragraaf 5.7 telkens zowel de waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis versie A als deze berekend met vul_sluis versie B voorgesteld.

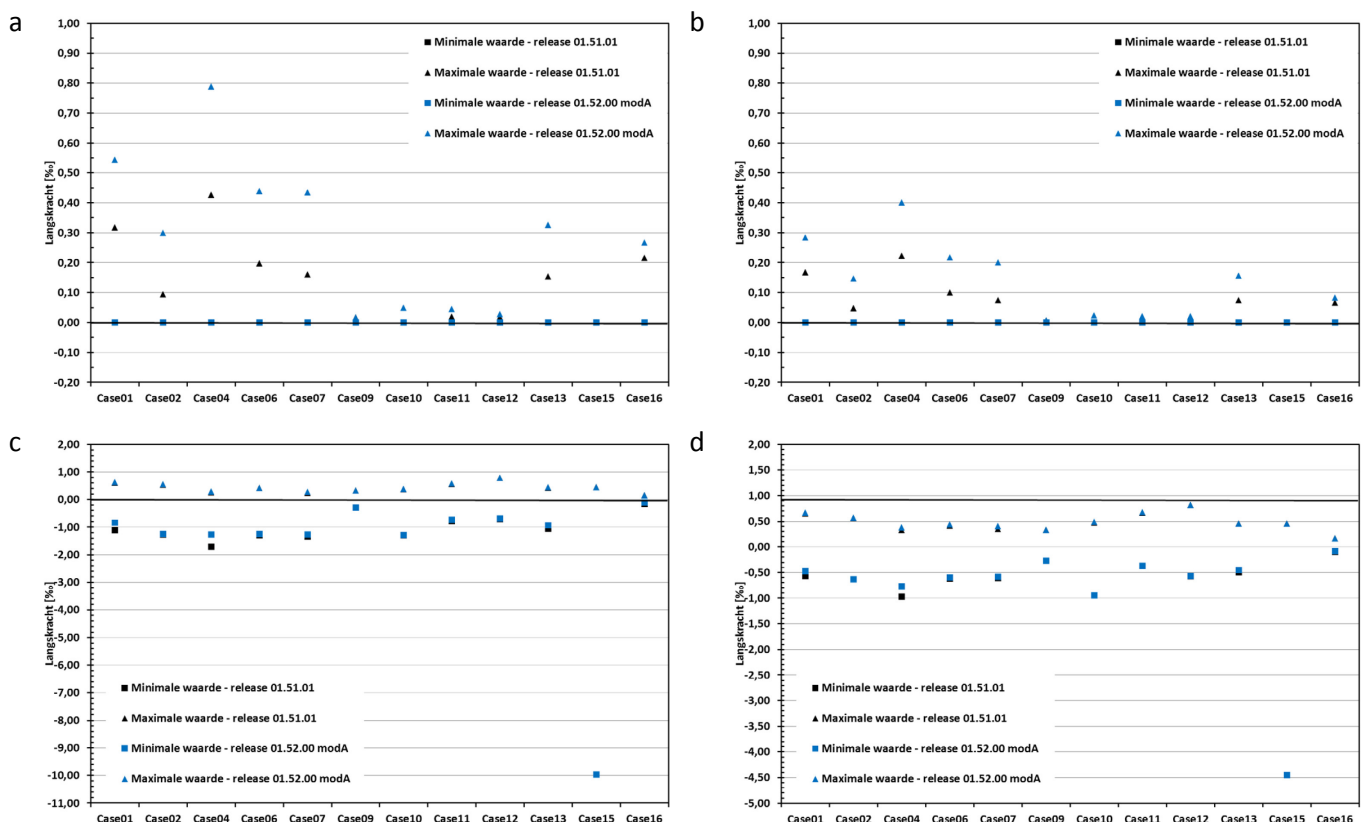
5.2 Resultaten simulaties met aanpassing helling bij berekening begrenzing vulstraal

Een eerste wijziging in de code betreft de aanpassing van de hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal (vul_sluis release 01.52.00 modA genoemd). Uit de beschrijving van de implementatie in de code in paragraaf 3.5.1 volgt dat deze wijziging zowel in vul_sluis versie A als in vul_sluis versie B wordt doorgevoerd, dat deze invloed heeft op de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht op het schip.

In deze paragraaf worden voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale kracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modA.

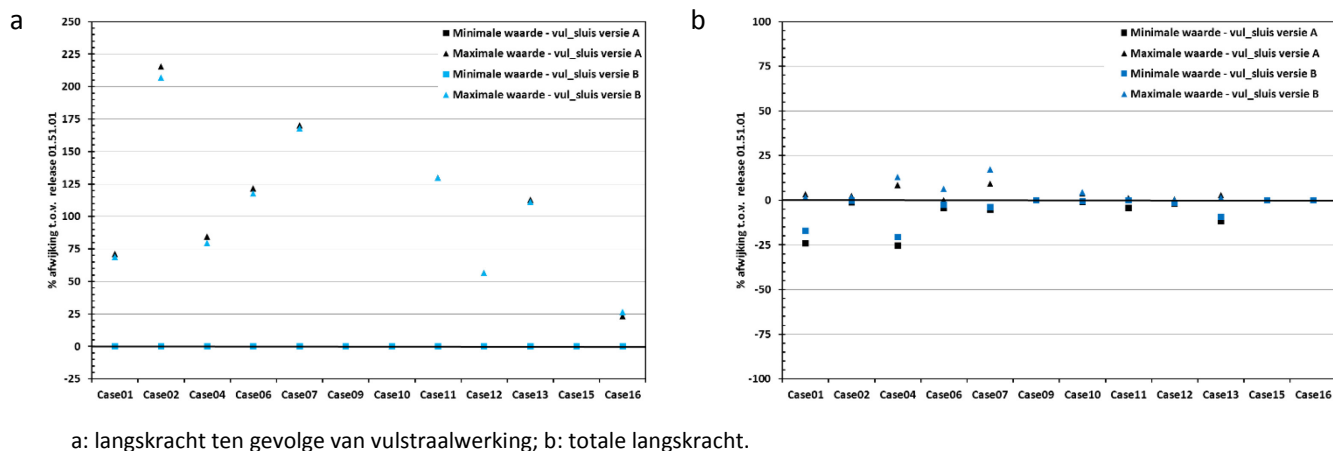
Figuur 40 geeft voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van de totale langskracht. In Figuur 41 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modA ten opzichte van deze berekend met vul_sluis release 01.51.00 grafisch voorgesteld. In Figuur 42, Figuur 43 en Figuur 44 is voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van de totale langskracht grafisch voorgesteld.

Figuur 40 – Minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01 en berekend met vul_sluis release 01.52.00 modA

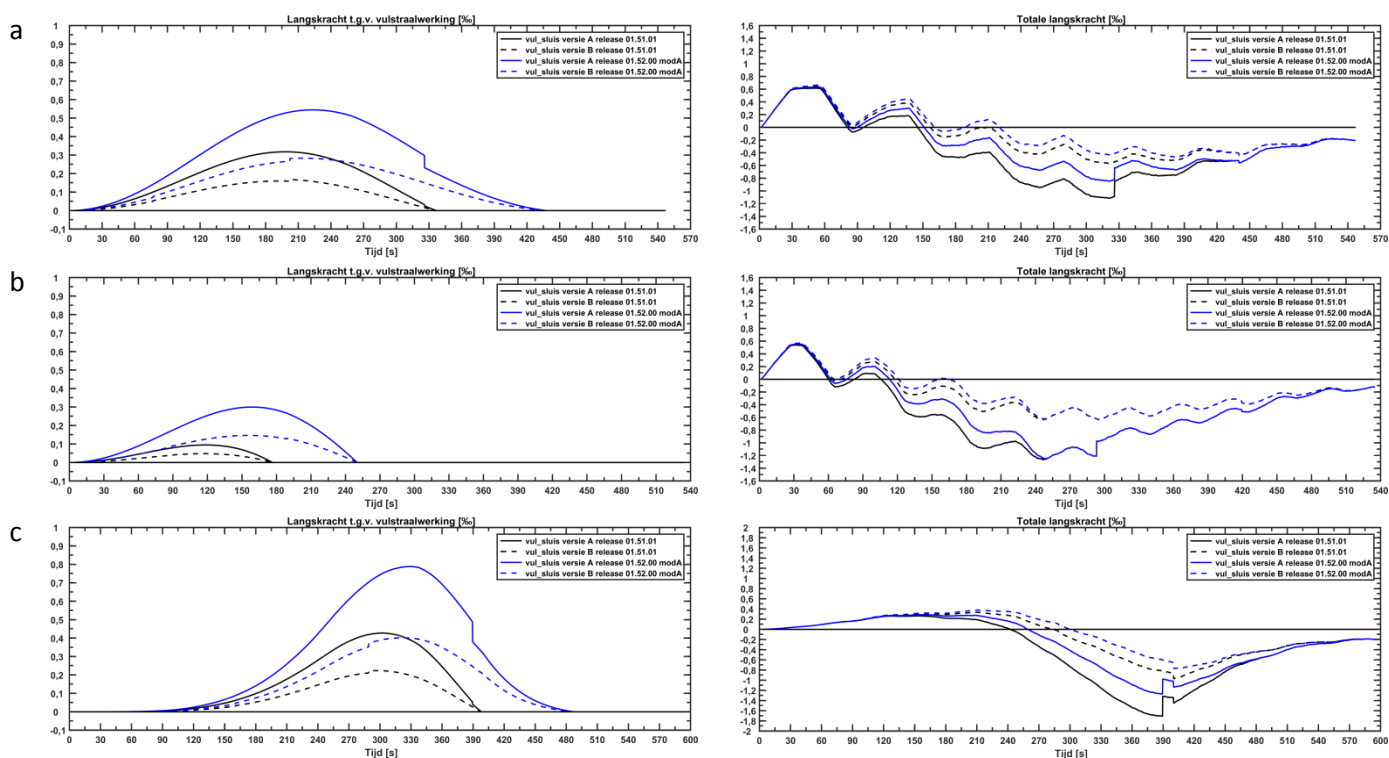


a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie A; b: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie B
c: totale langskracht vul_sluis versie A; d: totale langskracht vul_sluis versie B

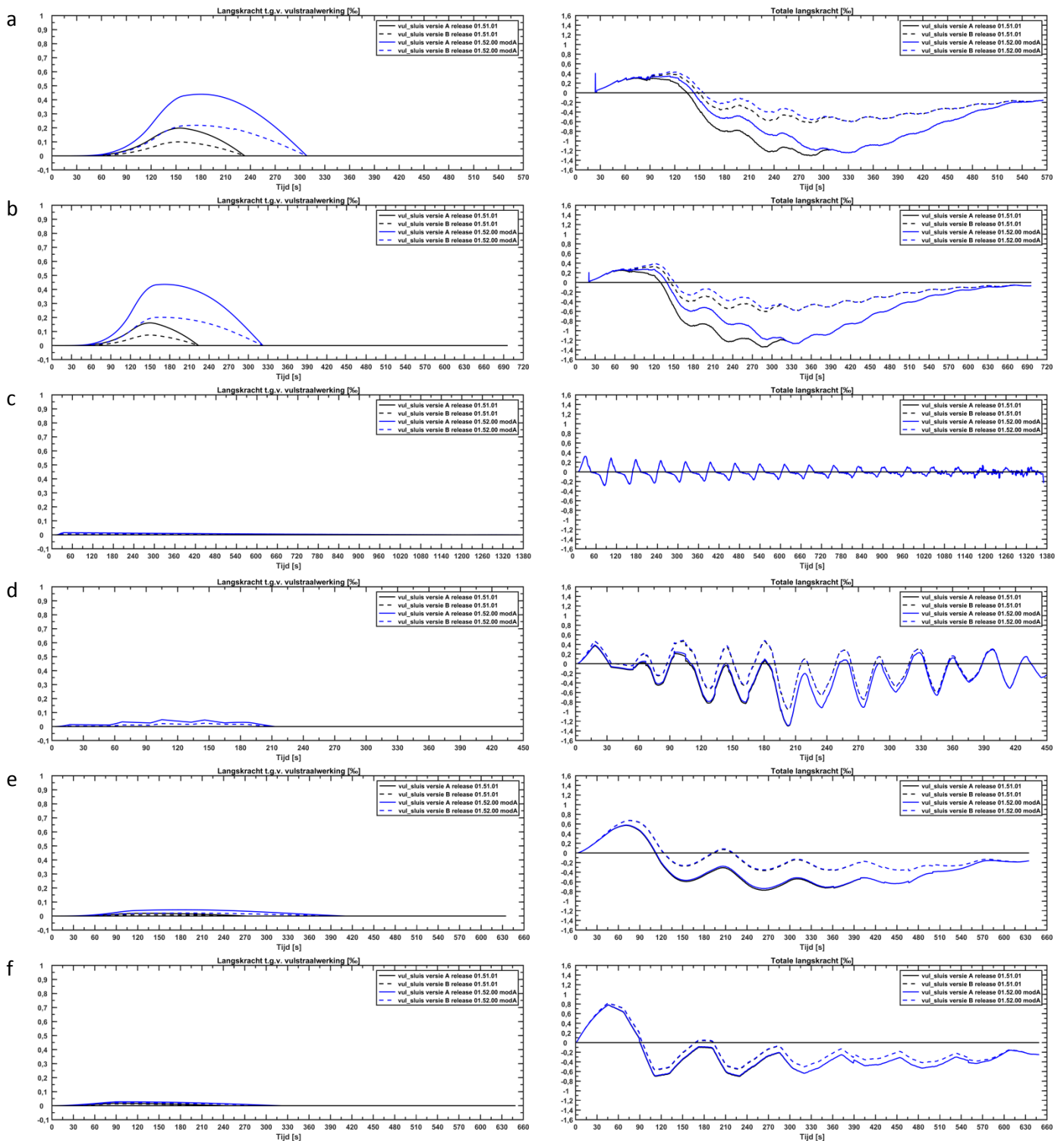
Figuur 41 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modA ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.



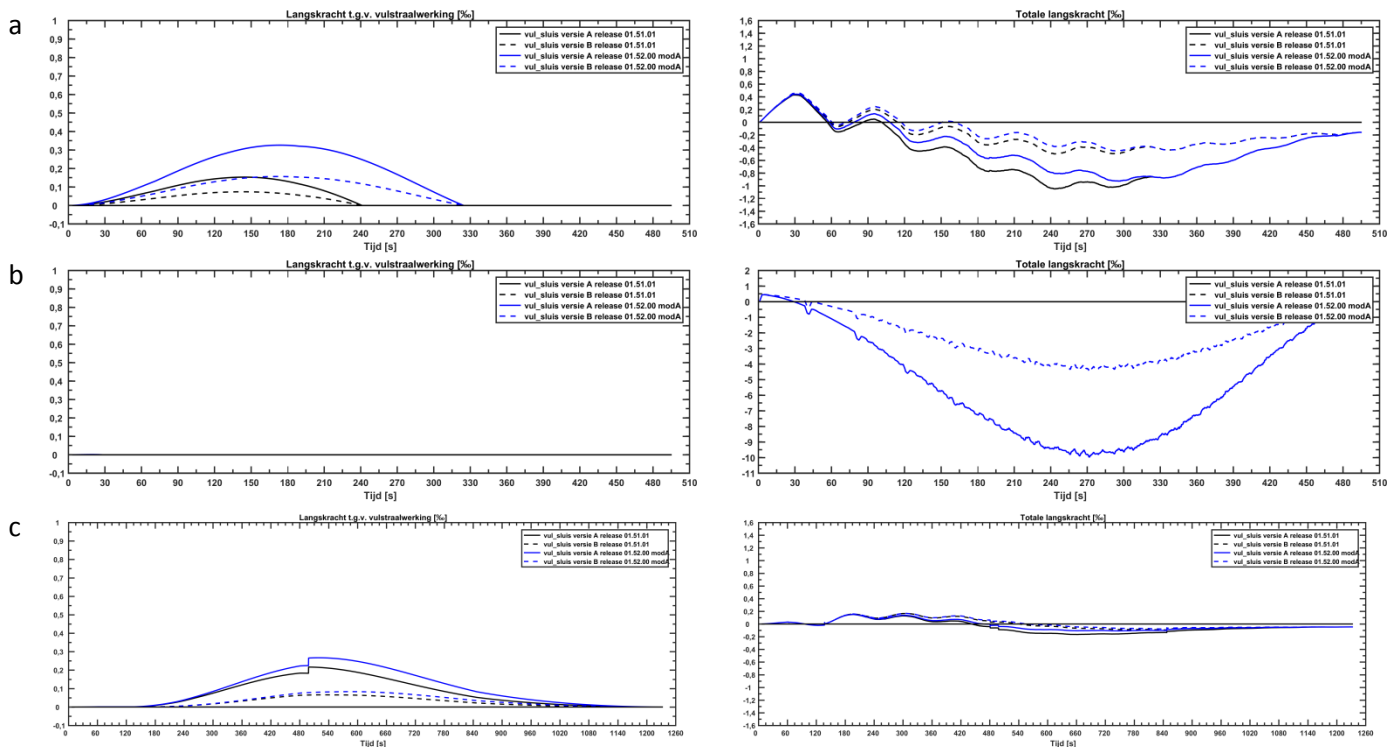
Figuur 42 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case01, Case02 en Case04 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modA.



Figuur 43 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case06, Case07 Case09, Case10; Case11 en Case12 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modA.



Figuur 44 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht voor Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modA.



a: Case13; b: Case15; c: Case16.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: totale langskracht

Uit Figuur 42, Figuur 43 en Figuur 44 volgt dat de wijziging van de hellingen $1/(2 \times 6)$ en $1/(2 \times 4)$ in $1/6$ en $1/4$ bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal ervoor zorgt dat de tijdsduur dat de vulstraal tegen de boeg botst langer is. Bij Case10 werd met vul_sluis release 01.51.01 geen langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend, aangezien de straal uit de openingen niet tegen de boeg van het schip botst. Met vul_sluis release 01.52.00 modA wordt voor Case10 wel een langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend. De langskracht is echter zeer beperkt en bedraagt maximaal 0,05 %. Voor Case15 wordt met de beide releases van vul_sluis geen langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend.

De grootte van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking is ook beduidend hoger na wijziging van de hellingen bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal. Uit Figuur 41 volgt een stijging van de langskracht tot 210 %. Deze stijging is ongeveer even groot bij vul_sluis versie A als bij vul_sluis versie B.

Voor bijna alle cases is de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking op de maximale waarde van de totale langskracht op het schip eerder beperkt. Deze maximale waarde betreft de eerste piek van de langskracht, waarbij de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven dominant is. Enkel voor Case04, Case06 en Case07 vertoont de maximale waarde van de langskracht een stijging tot 17 %. Voor de overige cases bedragen de verschillen tussen de maximale waarden van de langskrachten berekend met releases versies van vul_sluis maximaal 5 %. De invloed op het verder tijdsverloop van de langskracht en op de minimale waarde van de langskracht is groter. Voor Case01, Case04, Case06 en Case07 zorgt de aanpassing van de hellingen ervoor dat de minimale (negatieve) waarde van de totale langskracht op het schip (in absolute waarde) tot 25 % lager is dan bij vul_sluis release 01.51.01.

5.3 Resultaten simulaties met wijziging berekening omslagpunt

Deze paragraaf bevat de resultaten van de simulaties met een gewijzigde formulering voor de berekening van het omslagpunt tussen het eerste en het tweede gebied van de menglaag. Concreet worden in deze paragraaf de volgende wijzigingen beschouwd (zie paragraaf 3.5.2):

- Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,10 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt (vul_sluis release 01.52.00 modB).
- Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,01 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt (vul_sluis release 01.52.00 modC).
- Wijziging berekening locatie van het omslagpunt naar de formulering volgens Rajaratnam & Subramanya (1986) (vul_sluis release 01.52.00 modO).

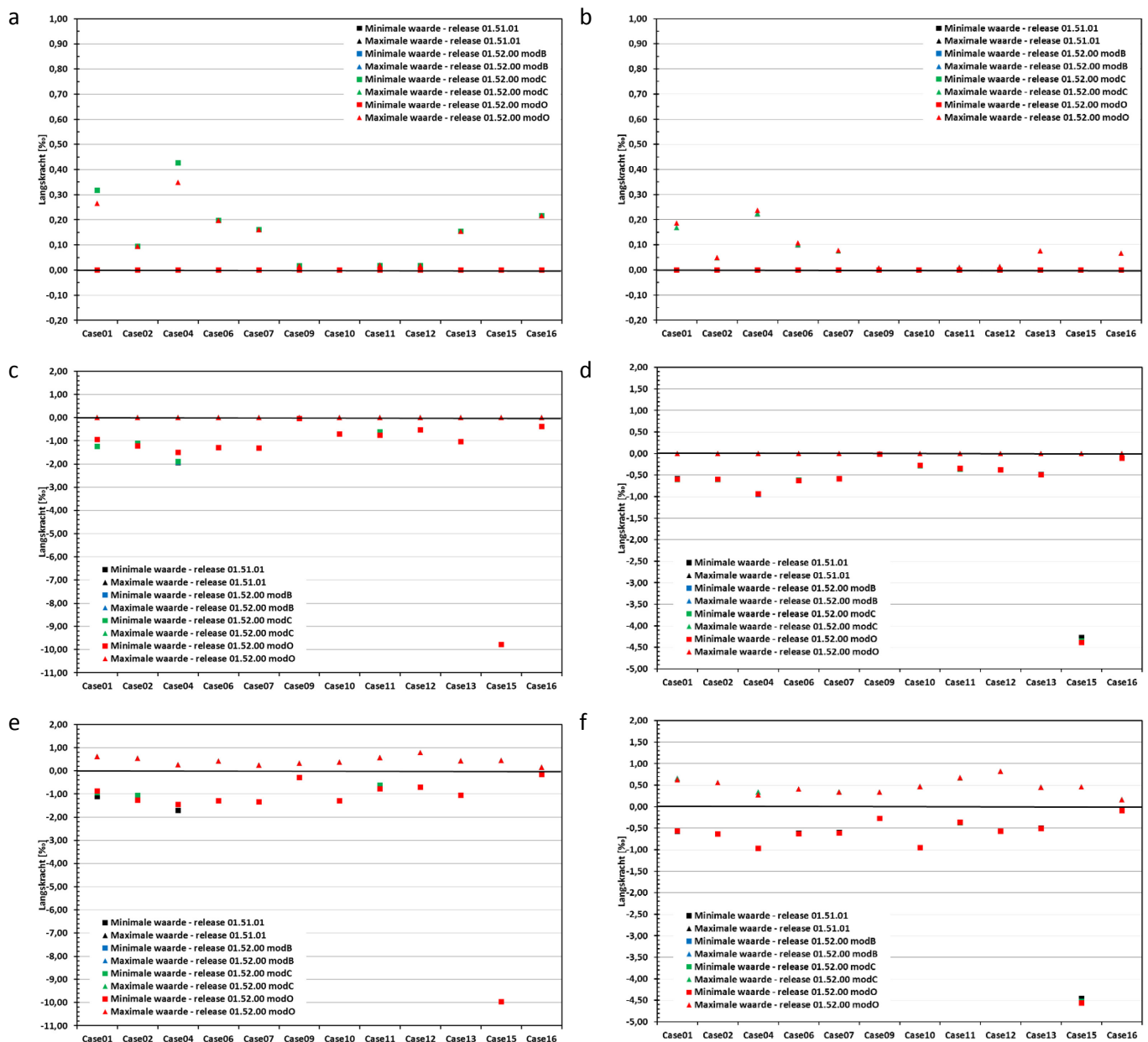
Deze wijzigingen worden doorgevoerd zowel in vul_sluis versie A als in vul_sluis versie B en hebben invloed op de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht op het schip.

In deze paragraaf worden voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale kracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.

Figuur 45 geeft voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht. In Figuur 46 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO ten opzichte van deze berekend met vul_sluis release 01.51.00 grafisch voorgesteld. Voor de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de totale kracht is eenzelfde grafische voorstelling gegeven in Figuur 47.

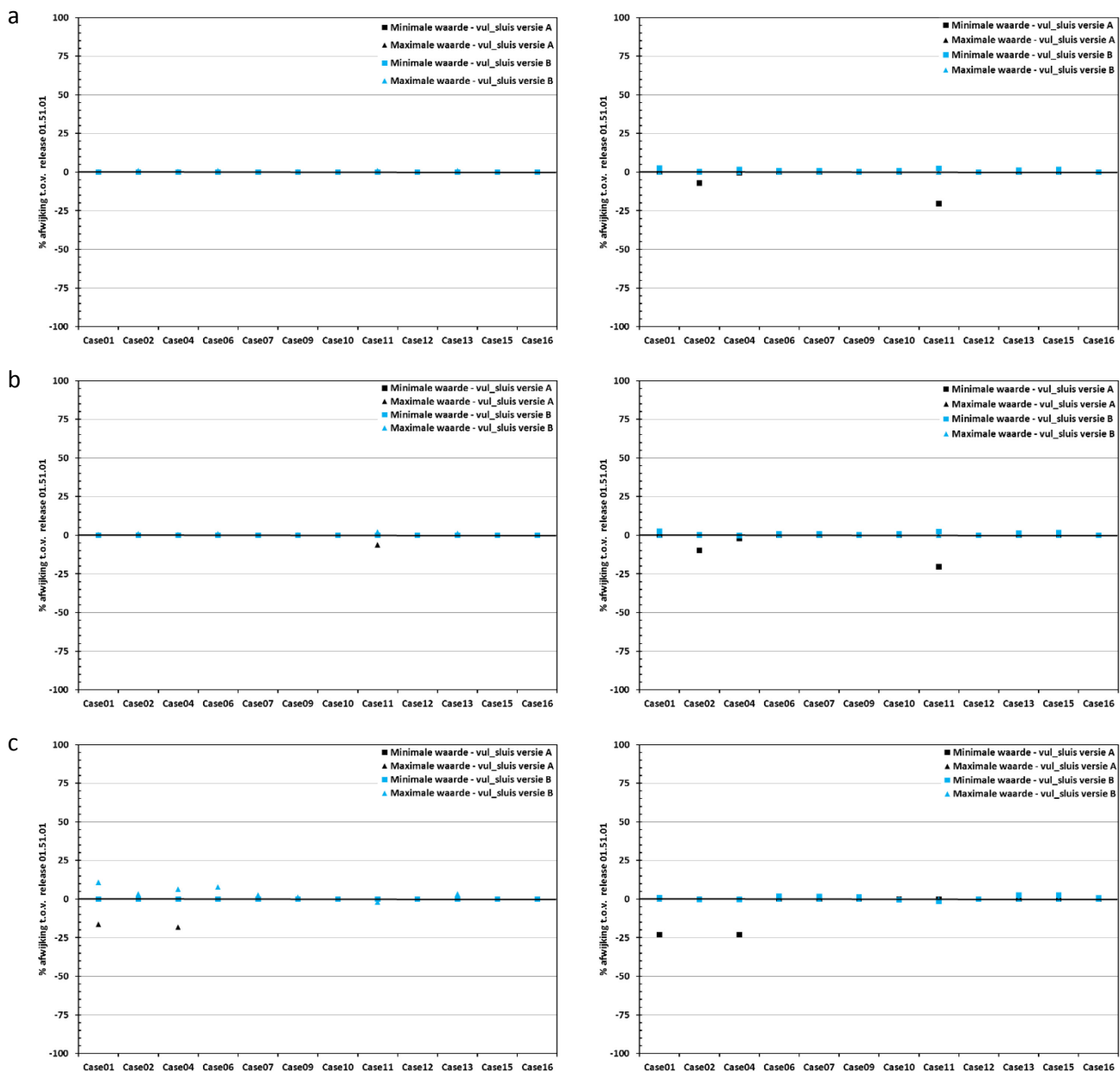
In Figuur 48 tot en met Figuur 51 is voor alle beschouwde cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht grafisch voorgesteld.

Figuur 45 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.



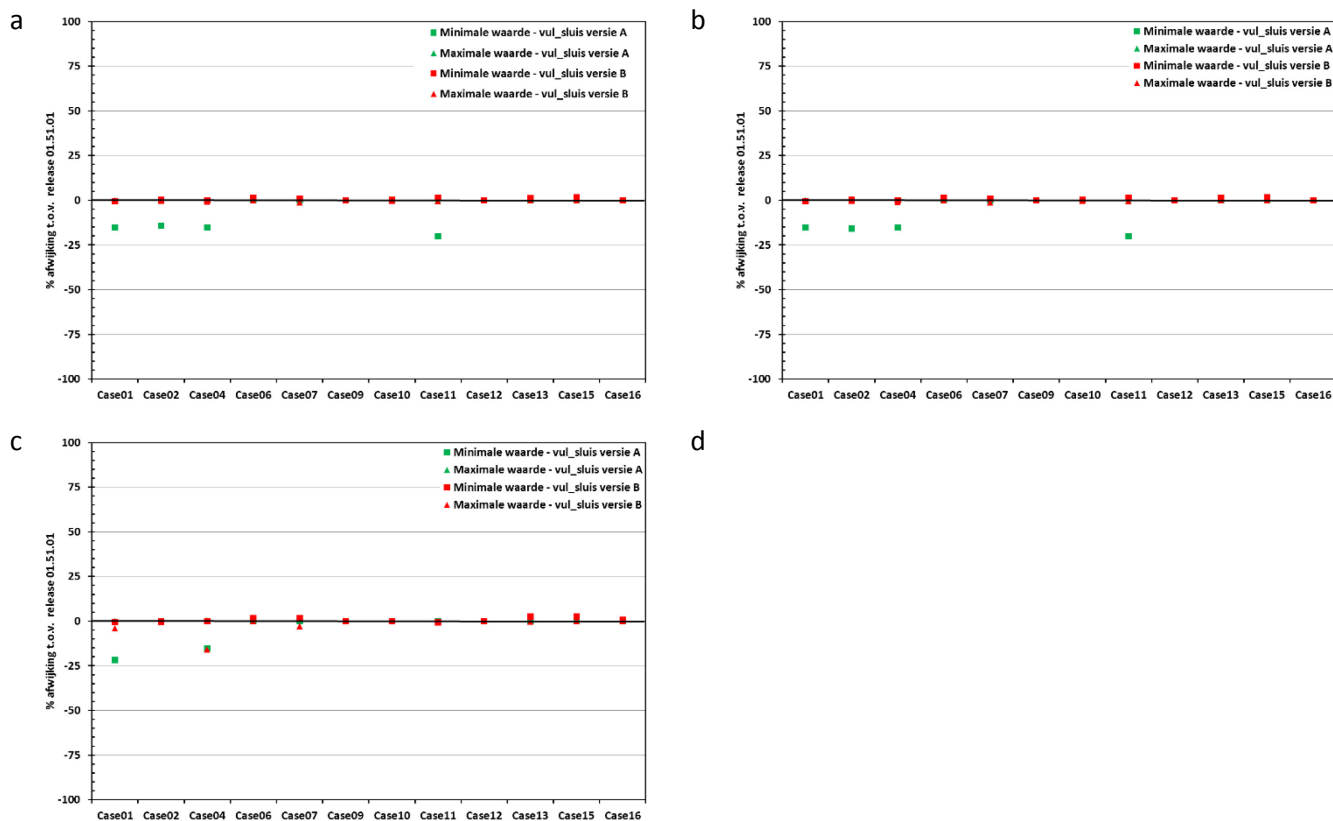
a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie A; b: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie B
c: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie A; d: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie B
e: totale langskracht vul_sluis versie A; f: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 46 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC, vul_sluis release 01.52.00 modO ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.



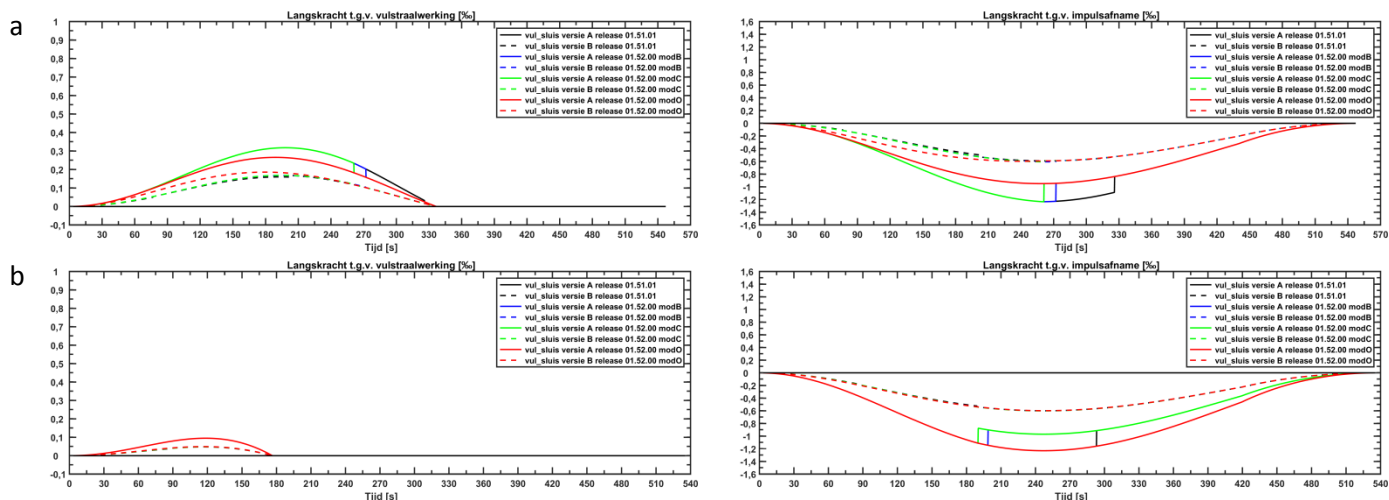
a: vul_sluis release 01.52.00 modB; b: vul_sluis release 01.52.00 modC; c: vul_sluis release 01.52.00 modO
links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking; rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

Figuur 47 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC, vul_sluis release 01.52.00 modO ten opzichte van vul_sluis release 01.51.00.



a: vul_sluis release 01.52.00 modB; b: vul_sluis release 01.52.00 modC; c: vul_sluis release 01.52.00 modO

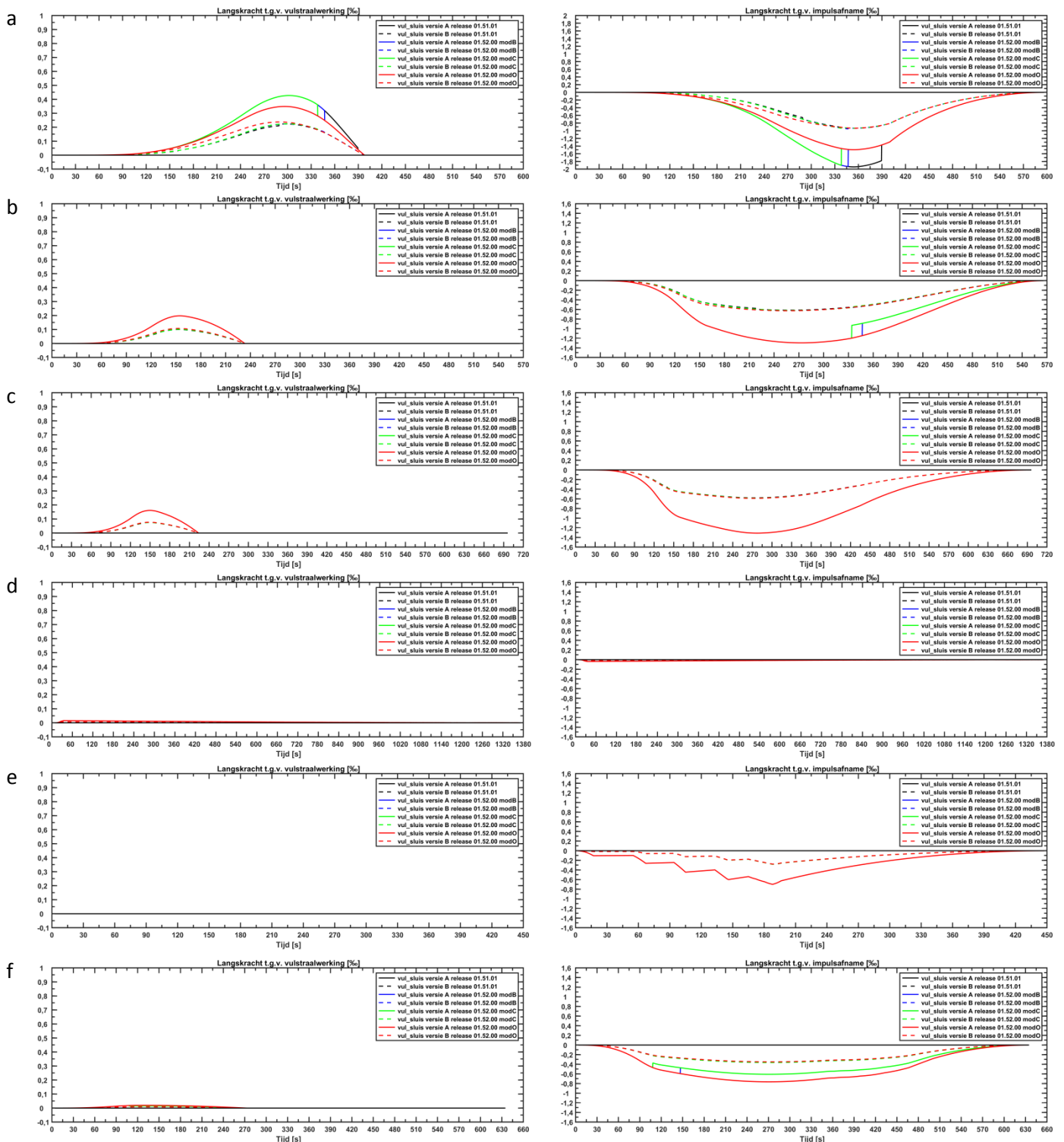
Figuur 48 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01 en Case02 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.



a: Case01; b: Case02;

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

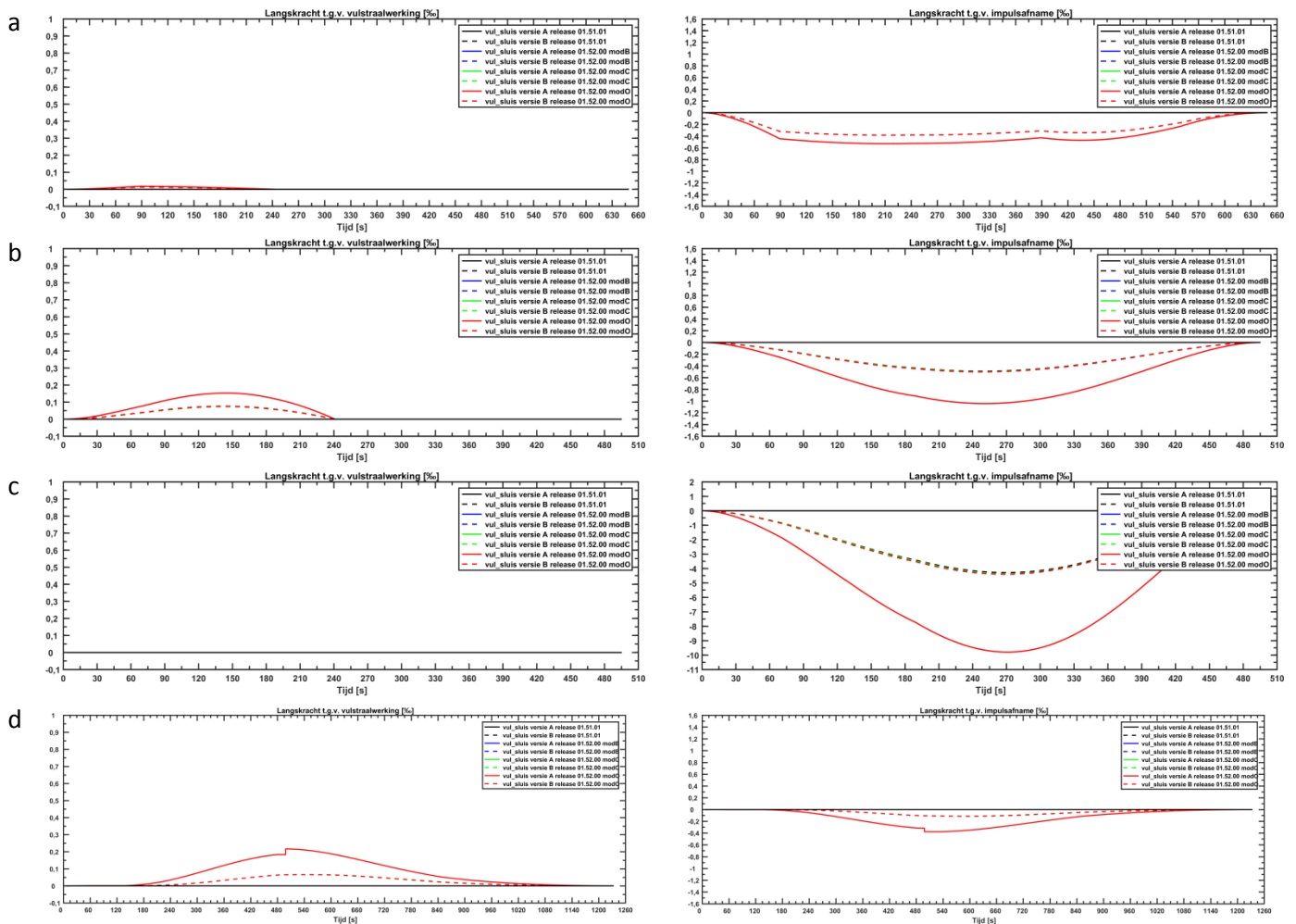
Figuur 49 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case04, Case06, Case07, Case09, Case10 en Case11 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.



a: Case04; b: Case06; c: Case07; d: Case09; e: Case10; f: Case11

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

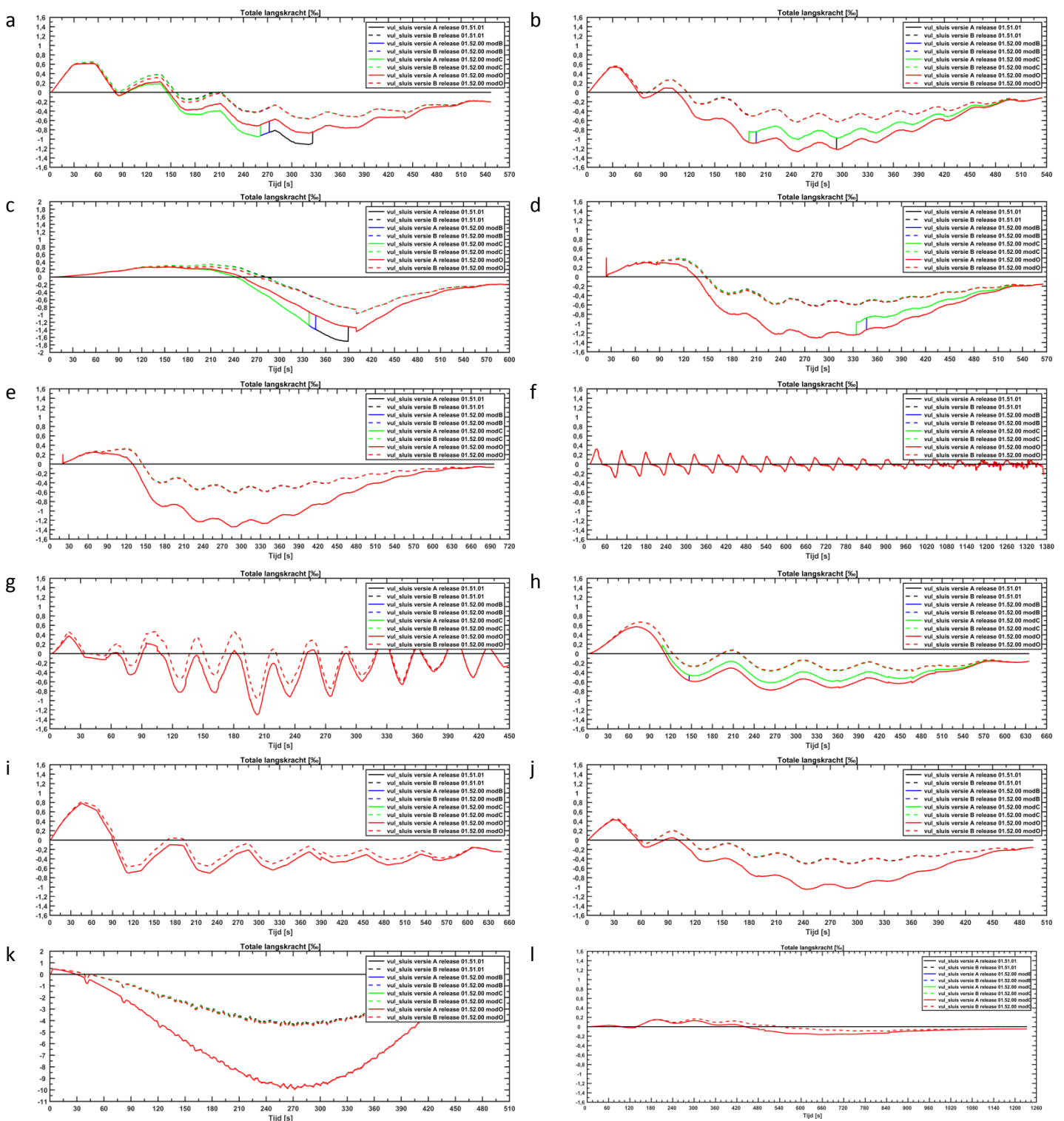
Figuur 50 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.



a: Case12; b: Case13; c: Case15; d: Case16.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

Figuur 51 – Variatie in de tijd van totale kracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modB, vul_sluis release 01.52.00 modC en vul_sluis release 01.52.00 modO.



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09; g: Case10; h: Case11; i: Case12; j: Case13; k: Case15; l: Case16.

In hoofdstuk 2 werden voor alle cases grafische voorstellingen getoond van de variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht. Voor bepaalde cases (Case01, Case02 en Case04) wordt hierbij een sprong vastgesteld in de langskracht ten gevolge van de vulstraalwerking of in de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met versie A van vul_sluis. Uit Figuur 48 tot en met Figuur 51 volgt dat de wijziging van de stapgrootte bij de berekening van het omslagpunt het tijdstip beïnvloedt waarop deze sprong zich voordoet. Bij een kleinere stapgrootte van 0,10 m of 0,01 m, doet deze sprong in de langskracht zich eerder voor in de tijd. Bij Case06 en Case11 was in de langskracht ten gevolge van impulsafname geen sprong aanwezig bij de simulatie met vul_sluis release 01.51.01. Na aanpassing van de stapgrootte in vul_sluis release 01.52.00 wordt voor deze case wel een sprong berekend. Bij Case01, Case02, Case04, Case06 en Case11 is een duidelijke sprong in de langskracht aanwezig bij een simulatie met vul_sluis versie A. De langskracht berekend met vul_sluis versie B vertoont voor deze cases een aantal (twee of drie) kleinere sprongen. De wijziging van de stapgrootte zorgt ervoor dat deze kleinere sprongen nog kleiner worden, zodat (visueel) een vloeiende variatie in de tijd van de berekende langskracht bekomen wordt.

Voor de cases waarbij de wijziging van de stapgrootte een invloed heeft op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname, wordt ook een invloed waargenomen van de aanpassing van de formulering voor de berekening van de locatie van het omslagpunt naar de formulering volgens Rajaratnam & Subramanya (1986). De berekening van de locatie van het omslagpunt volgens Rajaratnam & Subramanya (1986) zorgt ervoor dat de sprongen in de langskracht berekend met vul_sluis versie A niet meer aanwezig zijn. De berekende langskracht vertoont een vloeiende kromme. Bij Case01 en Case04 wordt met versie A van vul_sluis release 01.52.00 modO een lagere langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend en een hogere langskracht ten gevolge van impulsafname. Bij Case02, Case06 en Case11 wordt enkel een lagere langskracht ten gevolge van impulsafname berekend. Met versie B van vul_sluis wordt voor deze cases bij het begin van de nivellering (voor het tijdstip van maximum debiet) een zeer beperkte hogere waarde berekend voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname.

Voor de overige cases, waar er zich geen sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking of de langskracht ten gevolge van impulsafname voordoet, wordt geen verschil waargenomen in de berekening van de langskracht na aanpassing van de stapgrootte of na aanpassing van de formulering voor de berekeningen van het omslagpunt.

Met betrekking tot de berekening van het omslagpunt wordt ook verwezen naar paragraaf 6.5, waarin voor elke case ook de variatie in de tijd van het omslagpunt grafisch wordt voorgesteld. In deze paragraaf wordt ook een verklaring gegeven voor het al dan niet aanwezig zijn van sprongen in de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking.

Slechts voor enkele van de hierboven vermelde cases wordt echter een invloed van de aanpassing van de stapgrootte of de aanpassing van de formulering voor de berekeningen van het omslagpunt waargenomen op de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname. Dit is vooral het geval voor Case01, Case02, Case04 en Case11. Hierbij heeft een aanpassing van de stapgrootte voornamelijk invloed op de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis versie A, waarbij een verlaging tot 25 % wordt berekend. De wijziging van de formulering voor de berekening van het omslagpunt heeft invloed op zowel de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking als de langskracht ten gevolge van impulsafname. Hierbij wordt een verlaging tot 25 % vastgesteld van de minimale waarde berekend met vul_sluis versie A. Bij vul_sluis versie B wordt een verhoging tot 10 % van de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend.

De verklaring voor de kleinere invloed op de minimale en maximale waarde is dat de invloed op de langskracht van de aanpassing van de stapgrootte of de aanpassing van de formulering voor de berekeningen van het omslagpunt bij vul_sluis versie A voornamelijk het tijdstip betreft dat de sprong in de langskracht zich voordoet. Bij vul_sluis versie B wordt voornamelijk een invloed op de langskracht waargenomen bij het begin van de nivellering (voor het tijdstip van maximaal debiet). Afhankelijk van het

tijdstip waarop deze sprong zich voordoet of van het tijdstip van maximaal debiet beïnvloedt deze aanpassing de berekende minimale of maximale waarde van de langskracht.

Wat de minimale en maximale waarde van de berekende totale langskracht op het schip betreft wordt enkel voor Case01, Case02, Case04 en Case11 een invloed van de aanpassing van de stapgrootte of de aanpassing van de formulering voor de berekeningen van het omslagpunt vastgesteld. Voor deze cases vertoont de minimale waarde van de totale langskracht berekend met vul_sluis versie A een daling tot 25 %. Enkel bij aanpassing van de formulering voor de berekening van het omslagpunt en bij Case04 wordt een daling van de maximale waarde van 15 % berekend met vul_sluis versie B.

5.4 Resultaten simulaties met gewijzigde formulering bij de berekening van σ bij definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg

Deze paragraaf bevat de resultaten van de simulaties met een gewijzigde formulering voor de berekening van de standaarddeviatie σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg. Concreet worden in deze paragraaf de volgende wijzigingen beschouwd (zie paragraaf 3.5.3):

- $\sigma = \frac{\delta_1}{\sqrt{2 \ln(2)}}$ (vul_sluis release 01.52.00 modD).
- $\sigma = \frac{\delta_1 - \mu}{\sqrt{2 \ln(2)}}$ (vul_sluis release 01.52.00 modE).

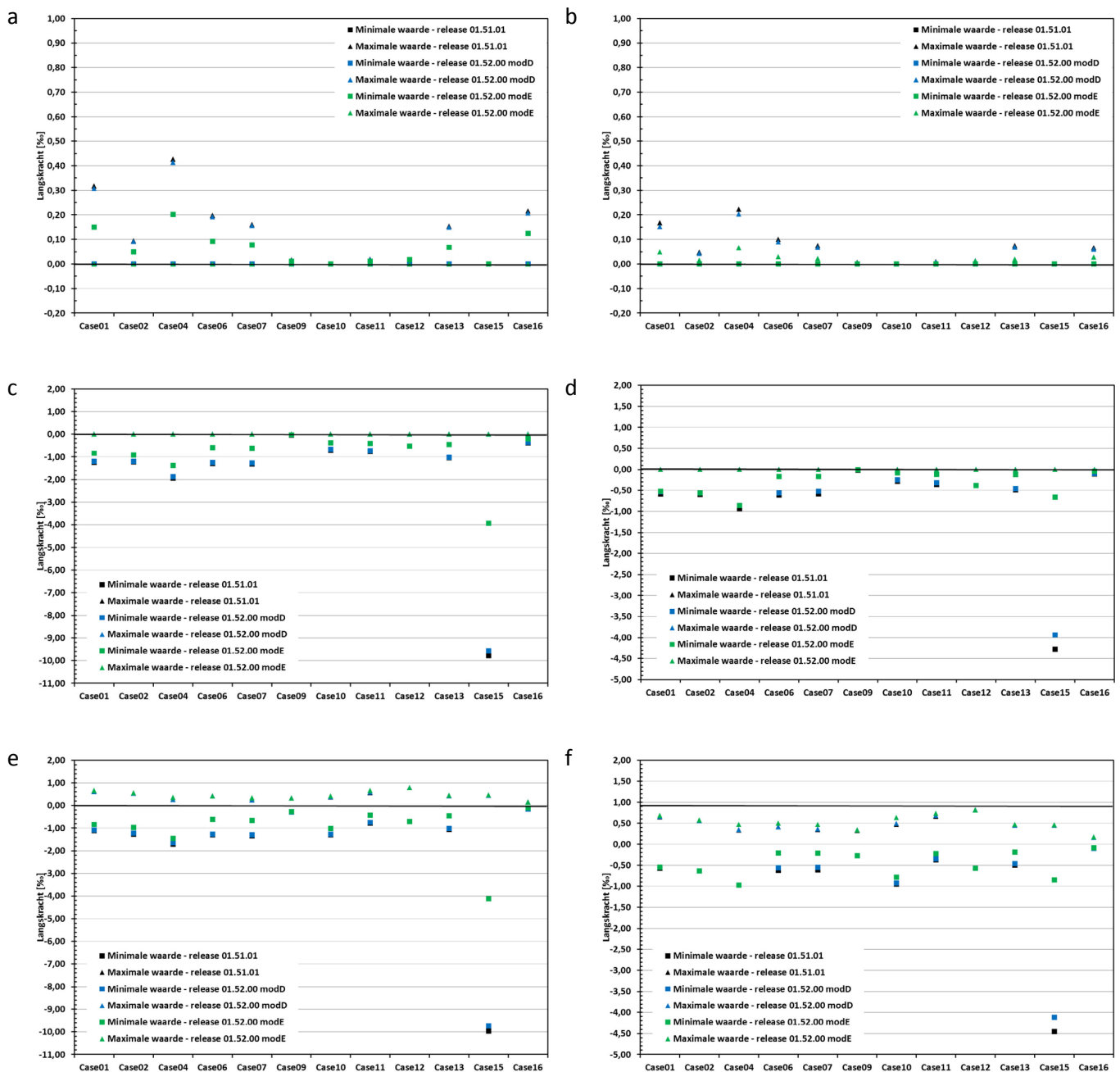
Deze wijzigingen zijn doorgevoerd zowel in versie A als in versie B van vul_sluis en hebben invloed op de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht op het schip.

In deze paragraaf worden voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale kracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.

Figuur 52 geeft voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht. In Figuur 53 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE ten opzichte van deze berekend met vul_sluis release 01.51.00 grafisch voorgesteld.

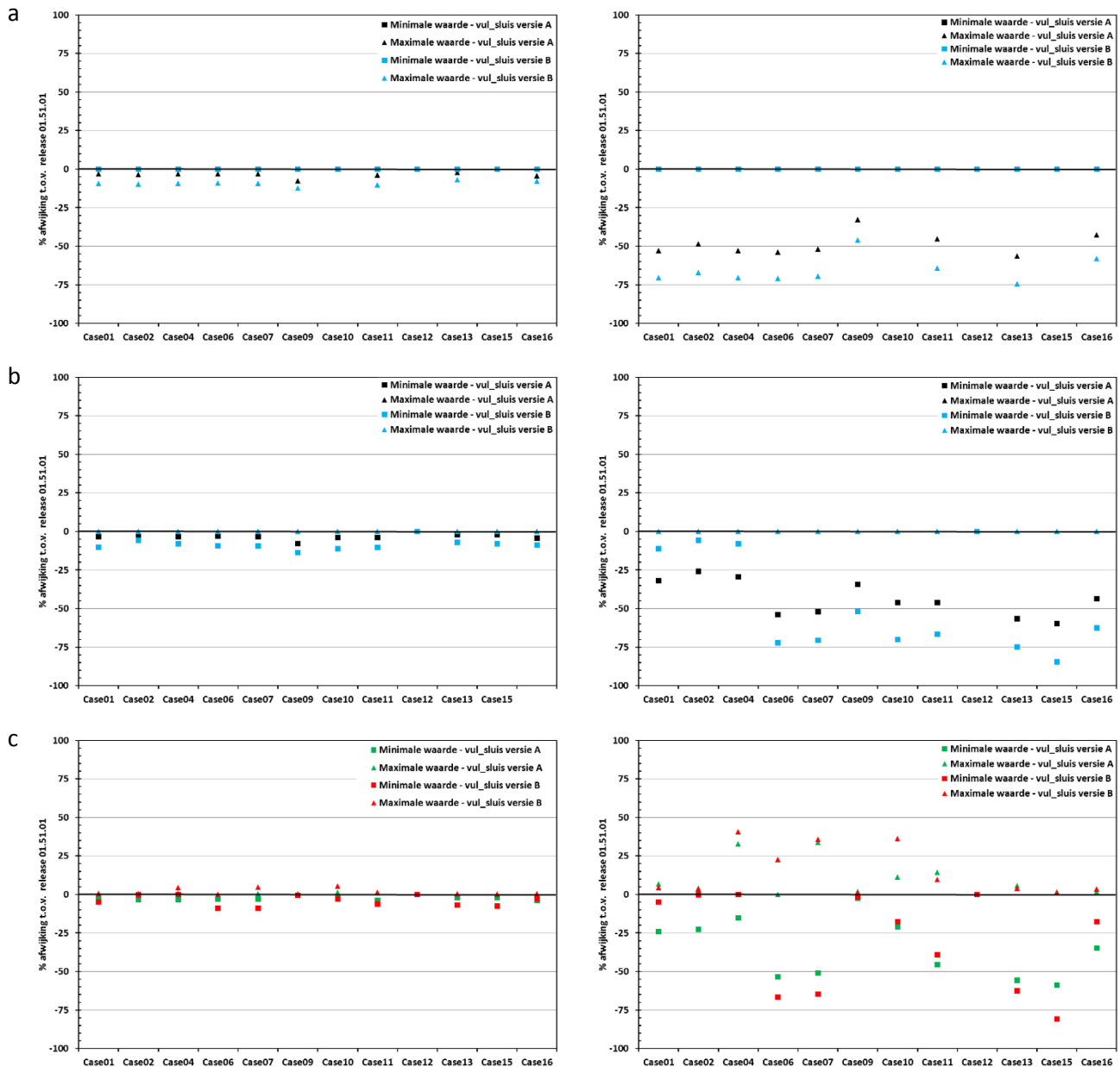
In Figuur 54, Figuur 55 en Figuur 56 is voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht grafisch voorgesteld.

Figuur 52 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.



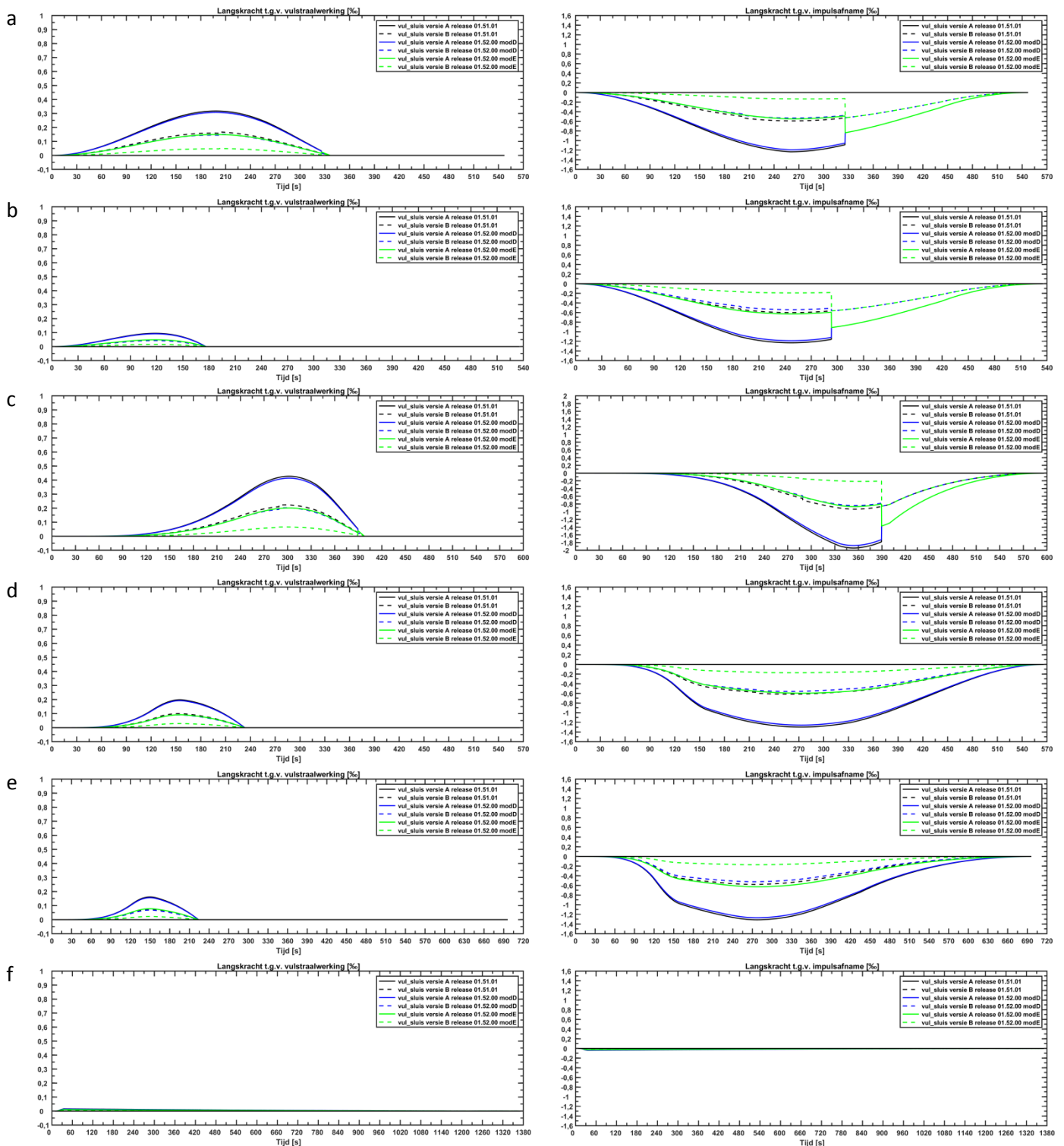
a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie A; b: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie B
 c: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie A; d: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie B
 e: totale langskracht vul_sluis versie A; f: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 53 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.



a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking; b: langskracht ten gevolge van impulsafname; c: totale langskracht
links: vul_sluis release 01.52.00 modD; rechts: vul_sluis release 01.52.00 modE.

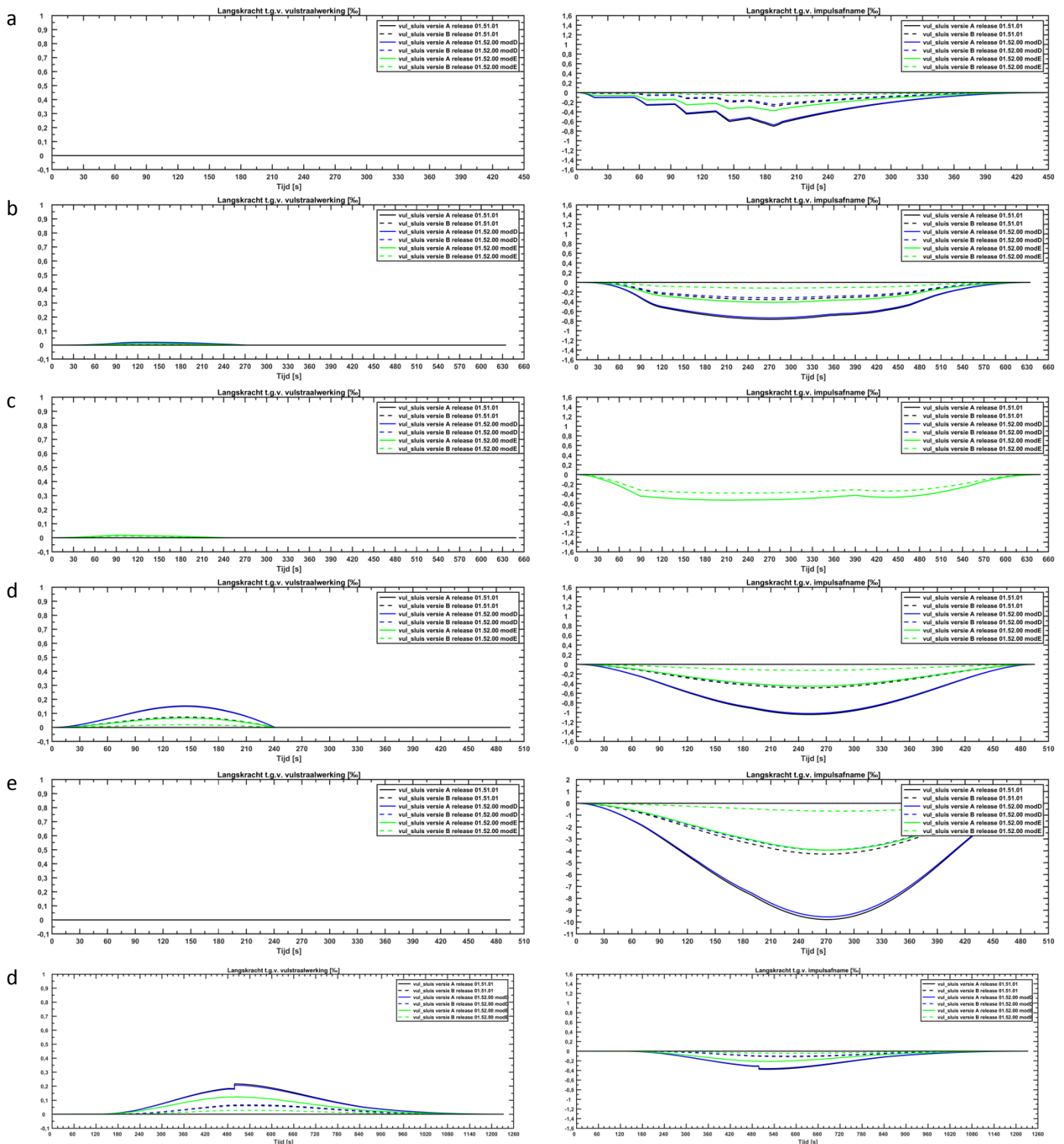
Figuur 54 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

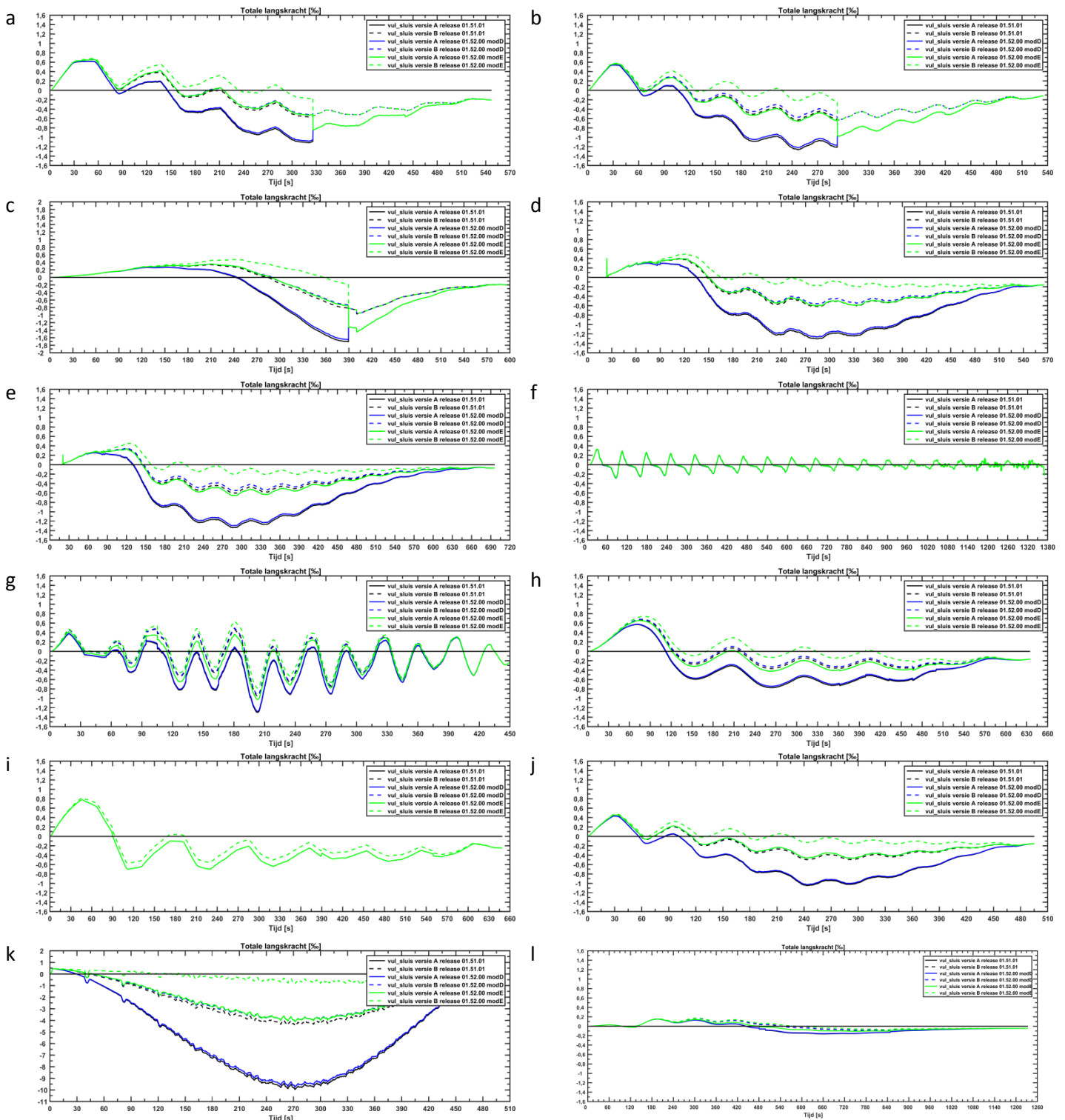
Figuur 55 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE



a:Case10; b: Case11; c: Case12; d: Case13; e: Case15; d: Case16.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

Figuur 56 – Variatie in de tijd van totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case 16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modD en vul_sluis release 01.52.00 modE.



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09; g: Case10; h: Case11; i: Case12; j: Case13; k: Case15; l: Case16.

Uit Figuur 54, Figuur 55 en Figuur 56 volgt dat het toepassen van de wijziging uit vul_sluis release 01.52.00 modD (vervangen van $2\ln(1/0,605)$ door het juiste $2\ln(2)$) een beperkte invloed heeft op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname. Uit Figuur 53 volgt een afname van de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking tot 10 % en bijna even grote afname van de minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname. De procentuele afname is wel bijna dubbel zo groot bij vul_sluis versie A als bij vul_sluis versie B.

Het (correcte) toevoegen van het gemiddelde bij de berekening van de standaarddeviatie heeft voor alle cases een beduidende invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname. Uit Figuur 53 volgen na deze wijziging maximale waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking die berekend met vul_sluis versie A tussen 33 % en 56 % lager zijn en die berekend met vul_sluis versie B 46 % tot 74 % lager zijn. Met vul_sluis versie A worden tot 60 % lagere minimale waarden van de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend, met vul_sluis versie B tot 75 % lagere minimale waarden van de langskracht.

De invloed van het toevoegen van het gemiddelde bij de berekening van de standaarddeviatie op de totale langskracht op het schip varieert sterk voor elke case. Met vul_sluis versie A worden tot 59 % lagere minimale waarden en tot 34 % hogere maximale waarden van de totale langskracht berekend. Bij toepassen van vul_sluis versie B worden tot 81 % lagere minimale waarden en tot 36 % hogere maximale waarden berekend. Hierbij wordt opgemerkt dat voor een bepaalde case niet noodzakelijk zowel een verlaging van de minimale waarde van de langskracht als een verhoging van de maximale waarde wordt berekend.

5.5 Resultaten simulaties met aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel bij de boeg

Deze paragraaf bevat de resultaten van de simulaties waarbij de integratiegrenzen bij integratie van het snelheidsprofiel bij de boeg gewijzigd worden (vul_sluis release 01.52.00 modF; zie paragraaf 3.5.4). Deze wijziging is enkel doorgevoerd vul_sluis versie B en heeft invloed op de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht op het schip.

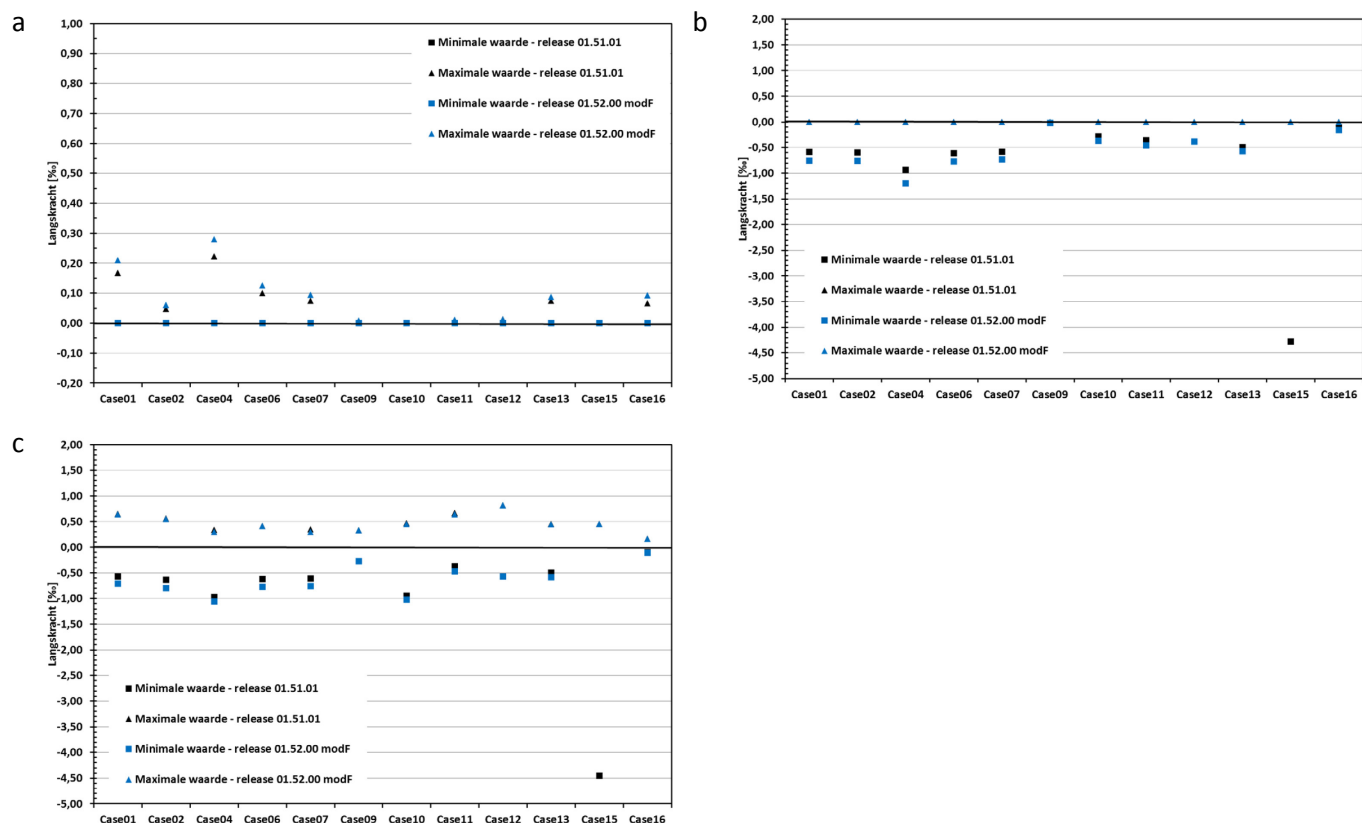
In deze paragraaf worden voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale kracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modF.

Figuur 57 geeft voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht. In Figuur 58 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modF ten opzichte van deze berekend met vul_sluis release 01.51.00 grafisch voorgesteld.

In Figuur 59 en Figuur 60 is voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht grafisch voorgesteld.

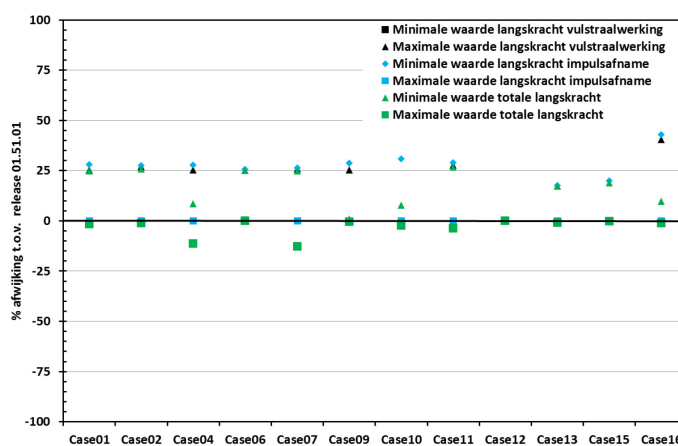
Aangezien de integratiegrenzen bij integratie van het snelheidsprofiel bij de boeg enkel gewijzigd zijn in versie B van vul_sluis wordt in de figuren in deze paragraaf enkel de langskracht op het schip en de componenten ervan voorgesteld, dewelke berekend zijn met versie B van vul_sluis.

Figuur 57 – Minimale en maximale waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modF.



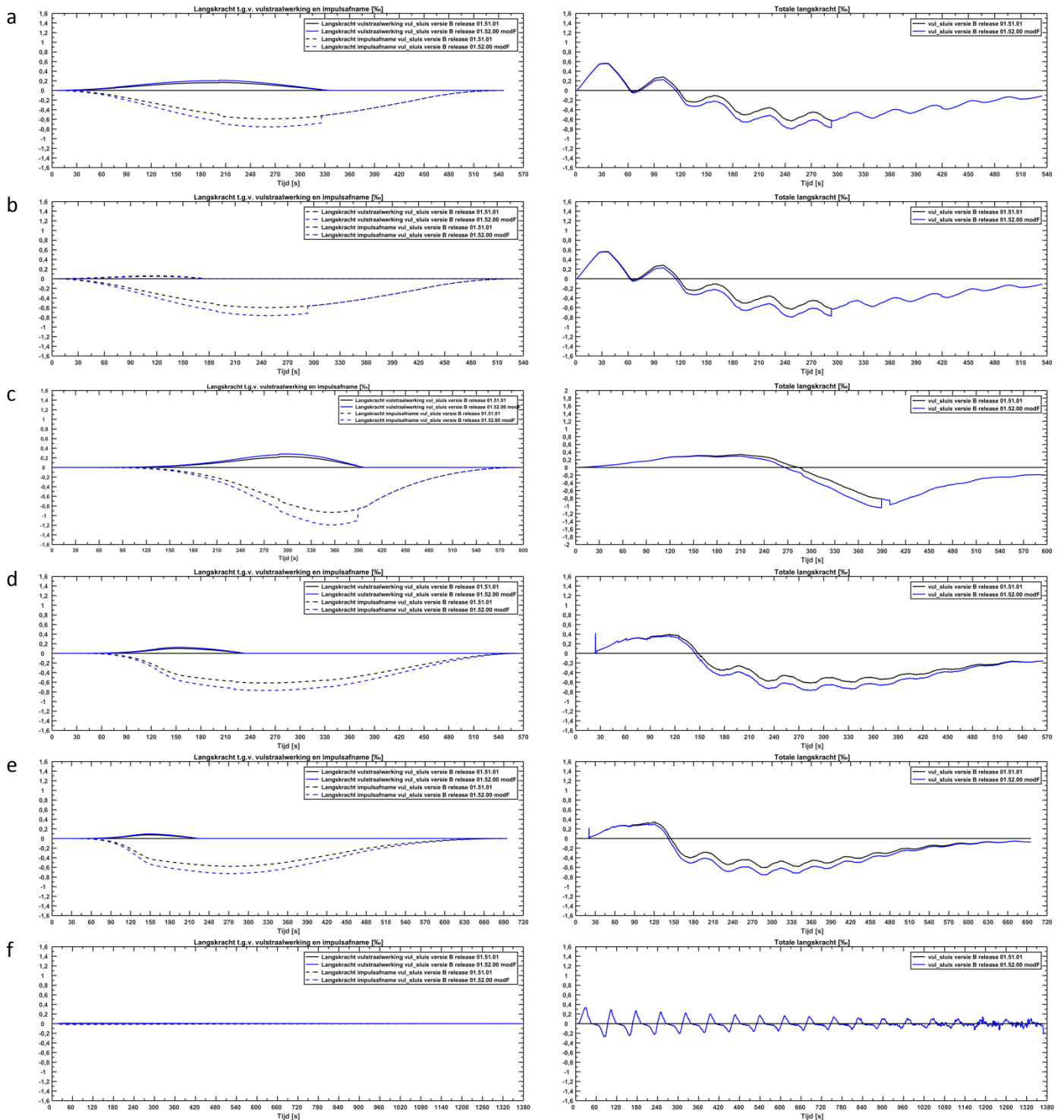
a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie B; b: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie B
c: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 58 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modF ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.



Langskracht berekend met vul_sluis versie B

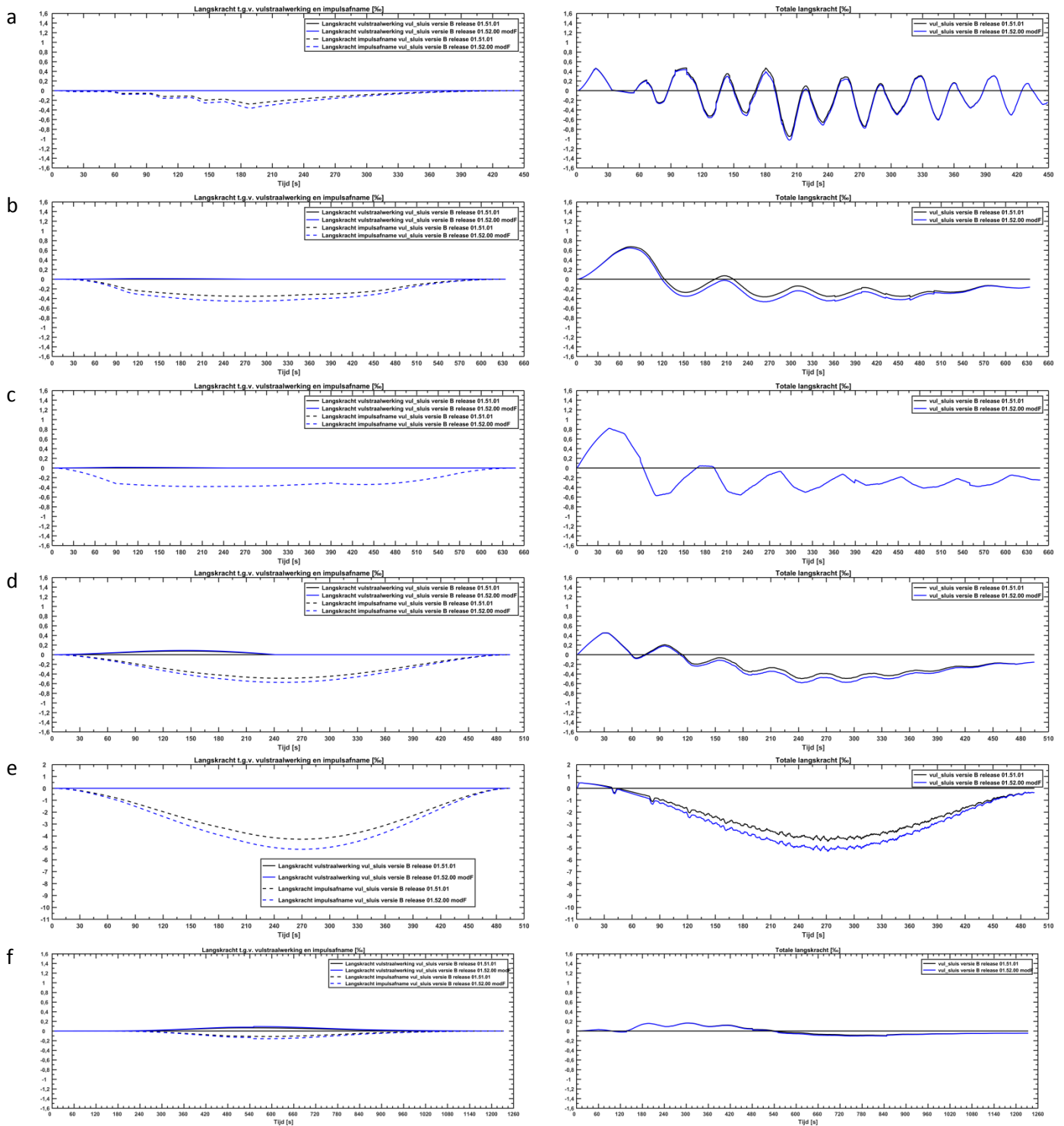
Figuur 59 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, impulsafname en totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modF.



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname – rechts: totale langskracht

Figuur 60 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, impulsafname en de totale langskracht voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.52.00 modf.



a: Case10; b: Case11; c: Case12; d: Case13; e: Case15; f: Case16
links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname – rechts: totale langskracht

Uit Figuur 59 en Figuur 60 volgt dat bij Case01, Case02 en Case04 door het aanpassen van de integratiegrenzen een sprong wordt geïntroduceerd in de langskracht ten gevolge van impulsafname. Het tijdstip waarop deze sprong zich voordoet is hetzelfde als het tijdstip van de sprong in de langskracht berekend met vul_sluis versie A. De oorzaak van het ontstaan van deze sprong wordt in meer detail onderzocht in paragraaf 6.5. Voorafgaand aan de sprong, worden hogere waarden van de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend. Voor deze cases wordt ook een hogere waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend. Voor de overige cases worden iets hogere waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname berekend.

Uit Figuur 58 volgt dat voor de meeste cases de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking toeneemt met 17 à 28 % ten gevolge van de aanpassing van de integratiegrenzen. Enkel bij Case10, Case12 en Case15 wordt geen invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking waargenomen en bij Case 16 wordt een stijging met 40 % waargenomen. De minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname neemt voor de meeste cases toe met 18 à 31 %. Dit met uitzondering van Case12, waarbij geen invloed op de berekende waarde van de langskracht wordt waargenomen, en van Case16, waarbij een stijging met 43 % wordt waargenomen.

De aanpassing van de integratiegrenzen zorgt voor bijna alle cases voor een toename van de minimale waarde van de totale langskracht tot 27%. Enkel bij Case09 en Case12 wordt geen invloed op de minimale waarde waargenomen. De invloed op de maximale waarde van de totale langskracht is beperkt. Enkel bij Case04, Case07, Case10 en Case11 wordt een beperkte afname van de maximale waarde van de totale langskracht berekend tot 11 % ten gevolge van de aanpassing van de integratiegrenzen.

5.6 Resultaten simulaties met wijziging factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname

Deze paragraaf bevat de resultaten van de simulaties waarbij de aanwezigheid van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname gewijzigd wordt. Concreet worden in deze paragraaf de volgende wijzigingen beschouwd:

- Weglaten $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie A van vul_sluis (vul_sluis release 01.52.00 modG).
- Foutief weglaten van $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie B van vul_sluis (vul_sluis release 01.52.00 modH).
- Weglaten $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie A van vul_sluis (vul_sluis release 01.52.00 modI).
- Foutief weglaten van $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie B van vul_sluis (vul_sluis release 01.52.00 modJ).

Deze wijzigingen hebben invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht op het schip.

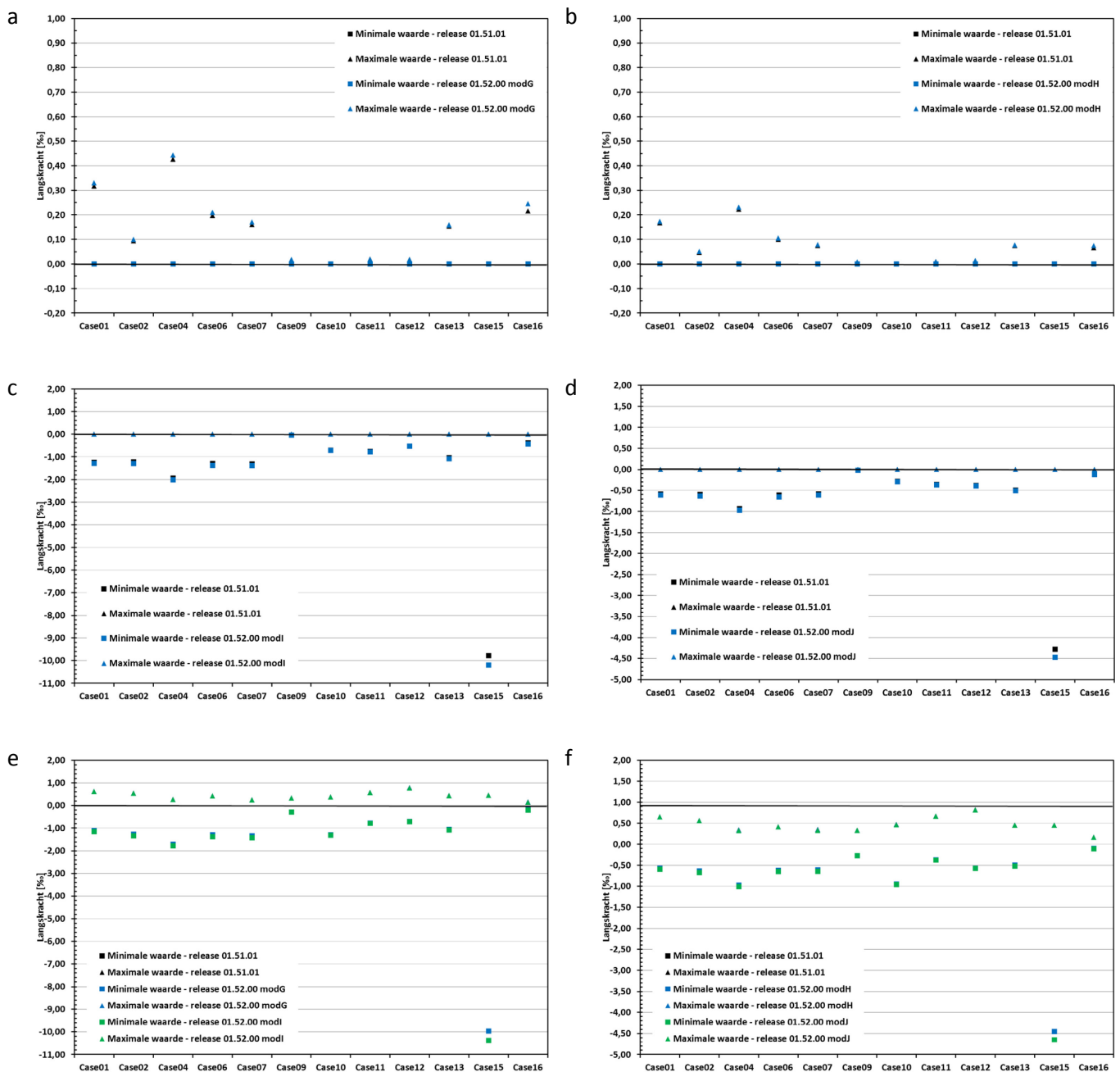
In deze paragraaf worden voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale kracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.

Figuur 61 geeft voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht. In Figuur 62 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ ten opzichte van deze berekend met vul_sluis release 01.51.00 grafisch voorgesteld.

In Figuur 63, Figuur 64 en Figuur 65 is voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht grafisch voorgesteld.

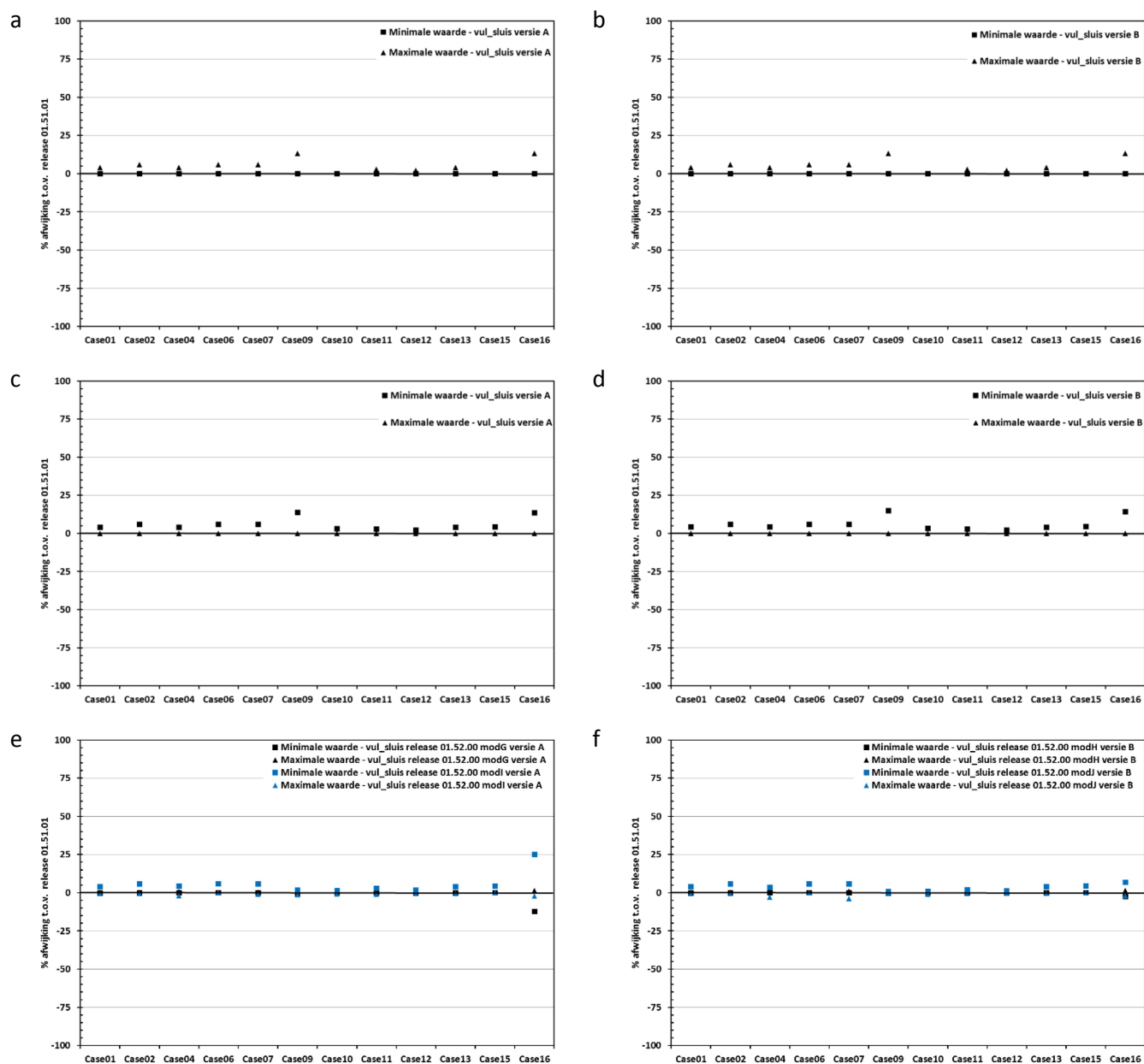
Bij al deze grafische voorstellingen wordt opgemerkt dat elk van de vier wijzigingen die in deze paragraaf besproken worden ofwel betrekking hebben op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking ofwel op de langskracht ten gevolge van impulsafname ofwel op vul_sluis versie A ofwel op vul_sluis versie B. In de grafische voorstellingen zijn dan ook de wijzigingen die geen invloed hebben op de betreffende grootheden of de betreffende versie van vul_sluis in de figuur niet voorgesteld om de leesbaarheid van de figuur te verhogen. Bijvoorbeeld: in een figuur met een voorstelling van de langskracht ten gevolge van impulsafname is enkel de wijziging uit vul_sluis release 01.52.00 modI en uit vul_sluis release 01.52.00 modJ voorgesteld, aangezien de andere twee wijzigingen geen invloed hebben op deze component van de langskracht.

Figuur 61 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modi en vul_sluis release 01.52.00 modJ.



a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie A; b: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie B
 c: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie A; d: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie B
 e: totale langskracht vul_sluis versie A; f: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 62 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ ten opzichte van vul_sluis release 01.51.01.



a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend met vul_sluis release 01.52.00 modG.

b: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend met vul_sluis release 01.52.00 modH.

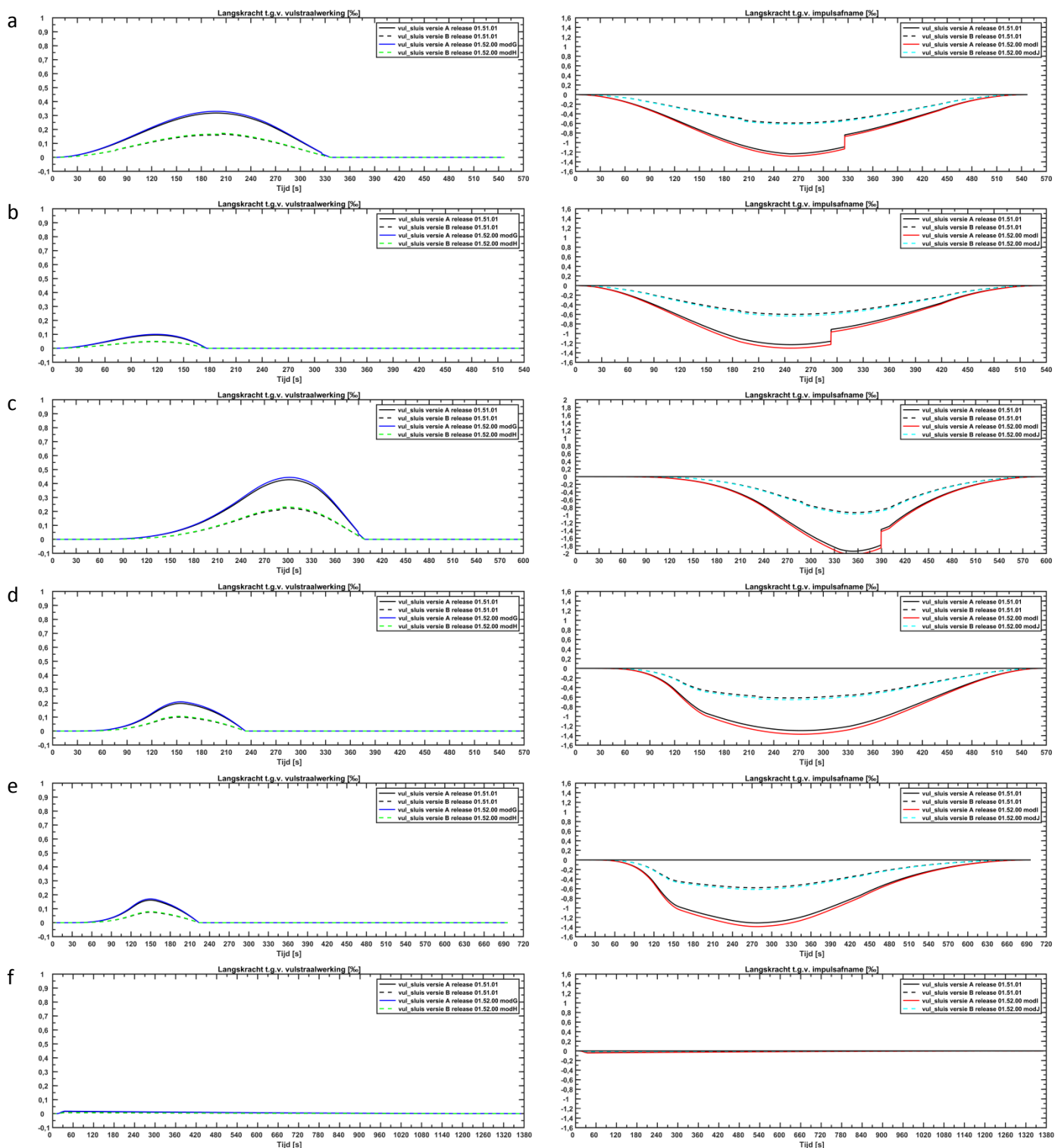
c: langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis release 01.52.00 modI.

d: langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis release 01.52.00 modJ.

e: totale langskracht vul_sluis versie A.

f: totale langskracht vul_sluis versie B.

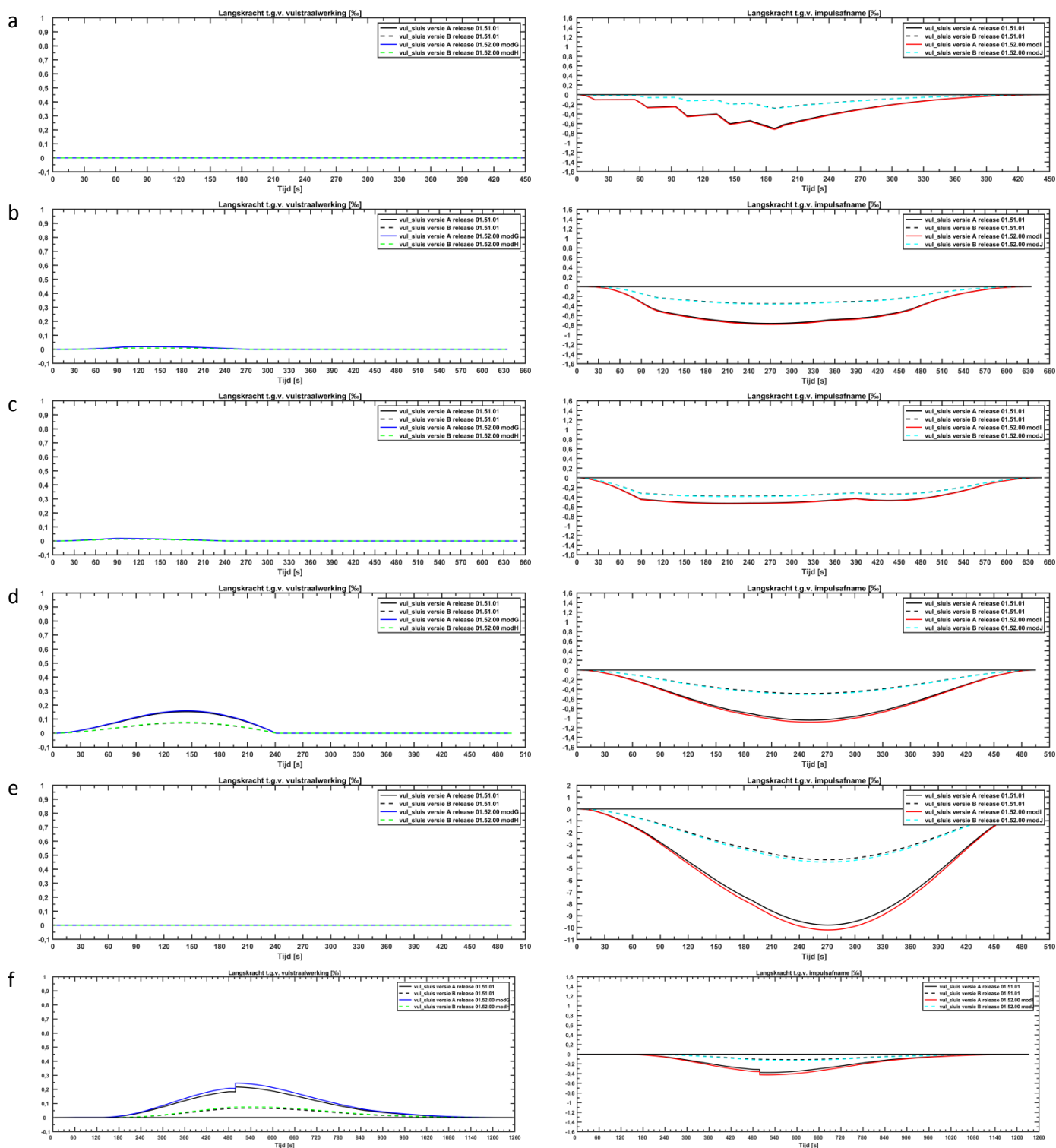
Figuur 63 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.



a:Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

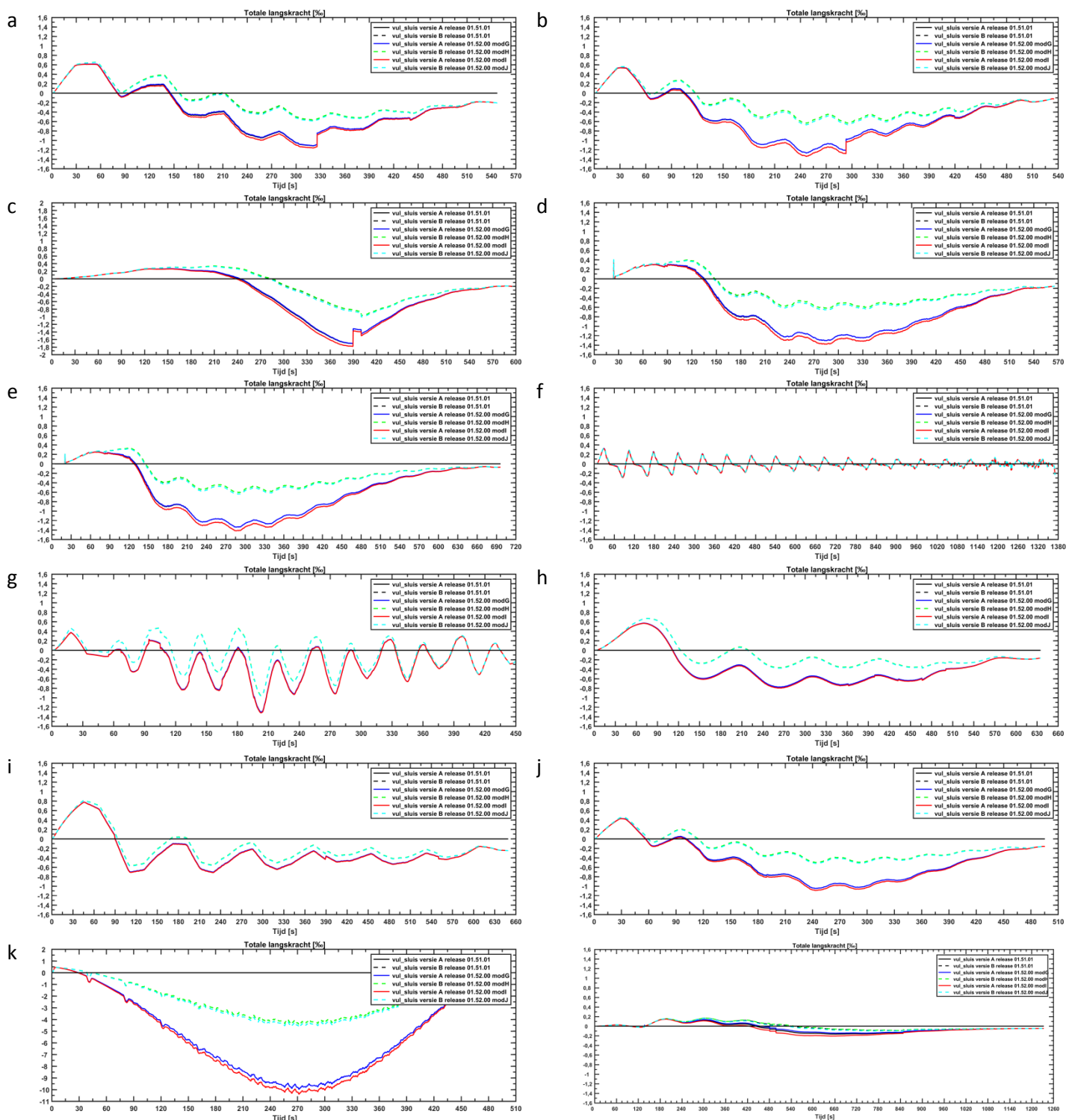
Figuur 64 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ.



a: Case10; b: Case11; c: Case12; d: Case13; e: Case15; f: Case16.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

Figuur 65 – Variatie in de tijd van de totale langskracht voor Case01, Case02; Case04, Case06, Case07, Case09; Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09; g: Case10; h: Case11; i: Case12; j: Case13; k: Case15; l: Case16

Uit Figuur 63, Figuur 64 en Figuur 65 volgt dat het weglaten van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname een eerder beperkte invloed heeft op de berekende langskrachten. Dit volgt ook uit Figuur 62. De wijzigingen van vul_sluis release 01.52.00 modG, vul_sluis release 01.52.00 modH, vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ zorgen voor bijna alle cases voor een toename met 2 à 6 % van de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname. Enkel bij Case09 en Case16 wordt een toename van 13 à 15 % berekend. Bij Case10 en Case15 is de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking gelijk aan 0, aangezien de straal onder het schip onder door gaat. Hierdoor wordt ook geen invloed op deze langskrachtcomponent berekend.

Deze invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname kan eenvoudig verklaard worden door de waarde van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ te berekenen voor de verschillende cases. Het resultaat van deze berekening is gegeven in Tabel 9. Het verschil tussen de waarde van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ en 1,0 is ongeveer gelijk aan hierboven vermelde resultaten.

Tabel 9 – Waarde van factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ voor de verschillende cases

	l_K	X_{boeg}	$(l_K - X_{boeg})/l_K$
Case01	200,0	7,5	0,96
Case02	182,5	10,0	0,95
Case03	182,5	10,0	0,95
Case04	200,0	7,5	0,96
Case05	200,0	7,5	0,96
Case06	182,5	10,0	0,95
Case07	182,5	10,0	0,95
Case08	182,5	10,0	0,95
Case09	473,0	55,0	0,88
Case10	256,6	7,5	0,97
Case11	258,1	7,0	0,97
Case12	259,0	5,1	0,98
Case13	130,0	5,0	0,96
Case14	130,0	5,0	0,96
Case15	130,0	5,0	0,96
Case16	427,0	50,0	0,88

Het weglaten van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking (vul_sluis release 01.52.00 modG en vul_sluis release 01.52.00 modH) heeft een verwaarloosbare invloed op de minimale en maximale waarden van de totale langskracht. Uit Figuur 62 volgen, met uitzondering van Case16, procentuele afwijkingen van maximaal 1 %. Voor Case 16 wordt een procentuele afwijking van 12 % berekend bij toepassen van vul_sluis release 01.52.00 modG. Bij weglaten van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname (vul_sluis release 01.52.00 modI en vul_sluis release 01.52.00 modJ) worden, met uitzondering van Case16, tot 4 % lagere maximale waarden van de totale langskracht op het schip en tot 7 % hogere minimale waarden berekend. Voor Case 16 wordt een procentuele afwijking van 25 % berekend bij toepassen van vul_sluis release 01.52.00 modI.

5.7 Resultaten simulaties met wijziging constante C_1 bij berekening maximale stroomsnelheid

Deze paragraaf bevat de resultaten van de simulaties waarbij de constante C_1 bij de berekening van de maximale stroomsnelheid (in het snelheidsprofiel) ter plaatse van de boeg gewijzigd wordt. Concreet worden in deze paragraaf de volgende wijzigingen beschouwd:

- Wijziging constante C_1 van de constante waarde 3,5 naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie A (vul_sluis release 01.52.00 modK).
- Wijziging constante C_1 van een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 naar een constante waarde van 3,5 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie B (vul_sluis release 01.52.00 modL).

Deze wijzigingen hebben invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht op het schip.

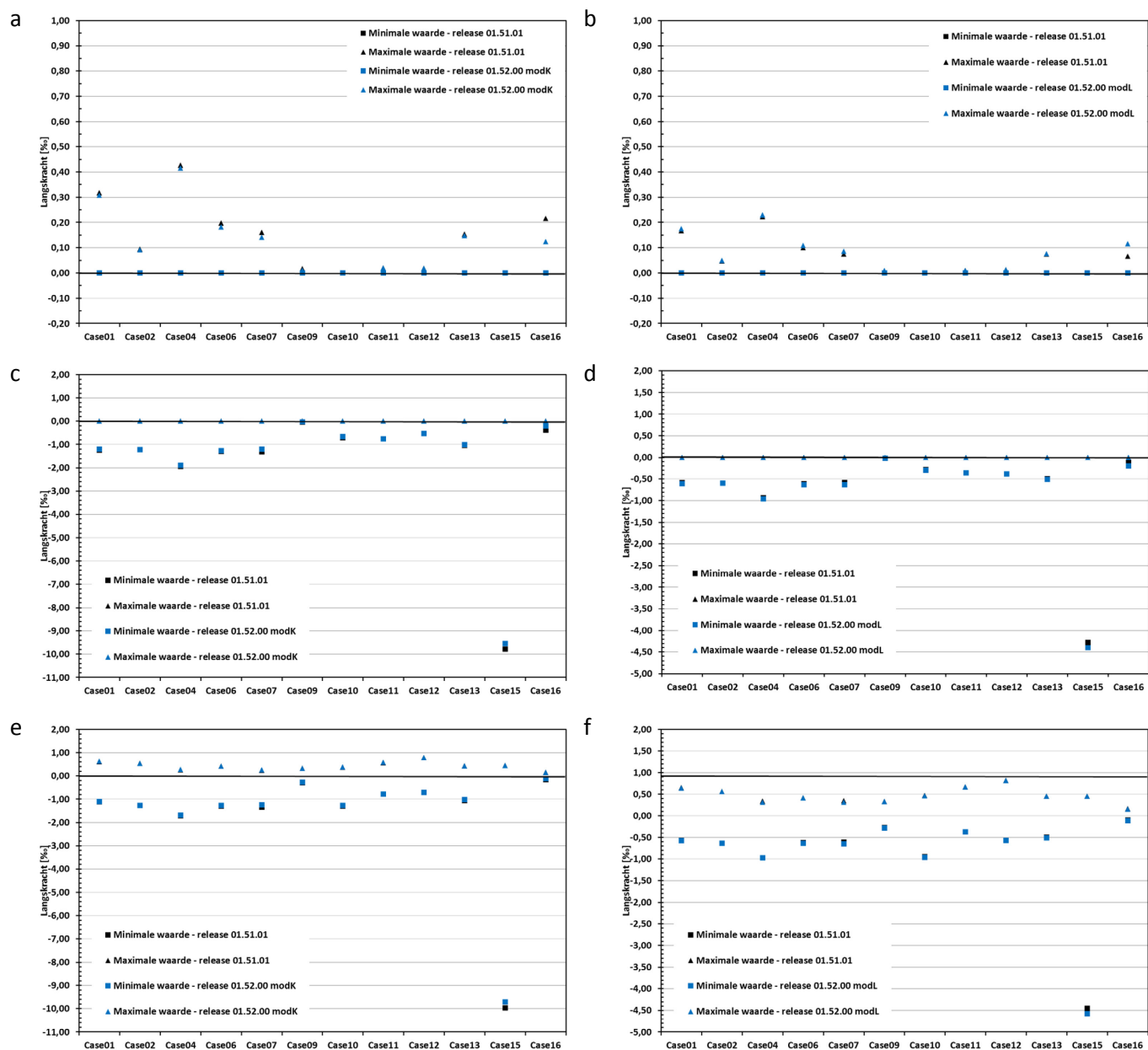
In deze paragraaf worden voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale kracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modK en vul_sluis release 01.52.00 modL.

Figuur 66 geeft voor alle beschouwde cases een grafische voorstelling van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht. In Figuur 67 is voor deze cases de procentuele afwijking van de minimale en de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modF ten opzichte van deze berekend met vul_sluis release 01.51.00 grafisch voorgesteld.

In Figuur 68, Figuur 69 en Figuur 70 is voor alle cases de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de totale langskracht grafisch voorgesteld.

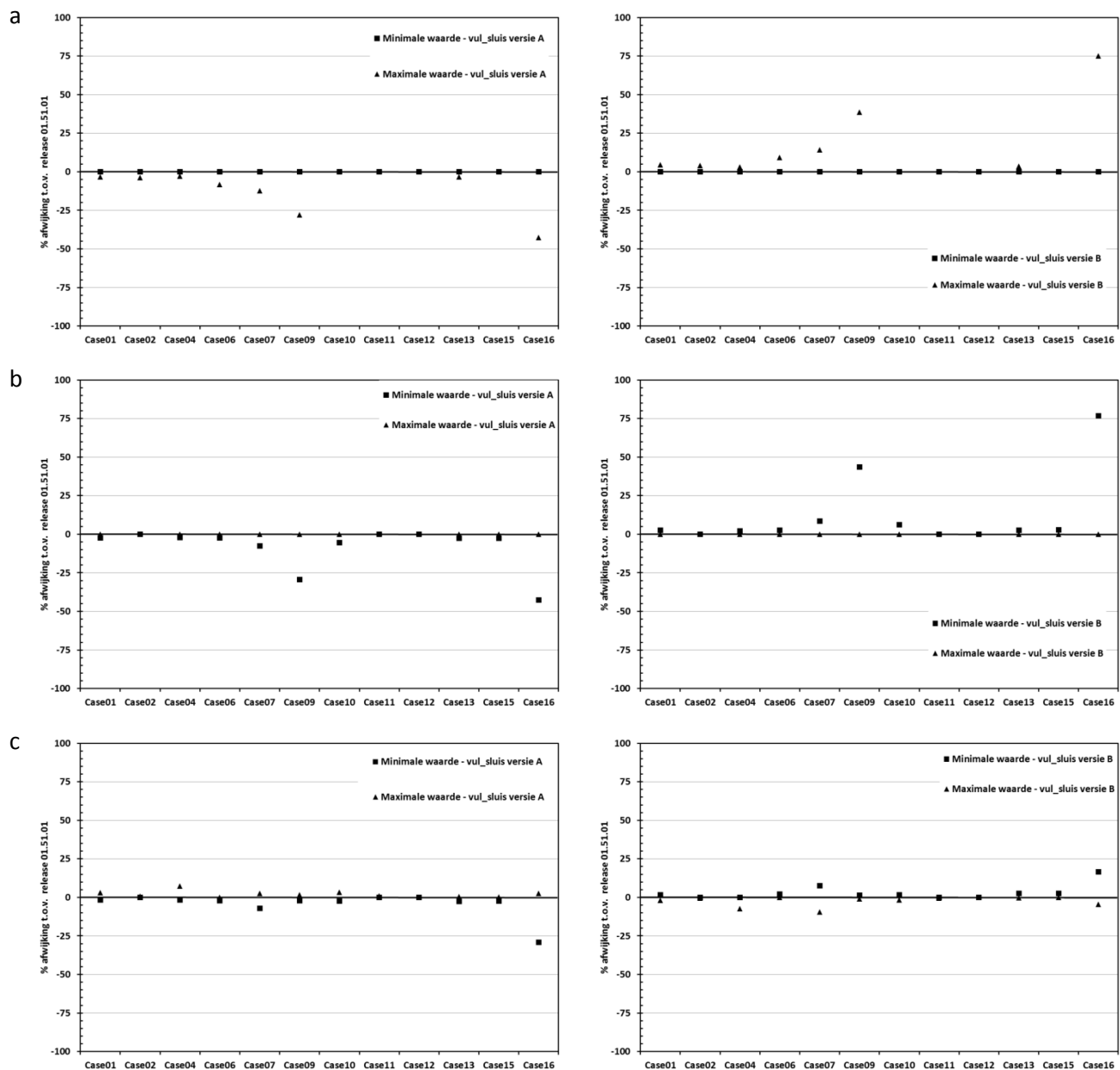
Bij al deze grafische voorstelling wordt opgemerkt dat elk van de twee wijzigingen die in deze paragraaf besproken worden ofwel betrekking hebben op vul_sluis versie A ofwel op vul_sluis versie B. In de grafische voorstellingen zijn dan ook de wijzigingen die geen invloed hebben op de betreffende versie van vul_sluis in de figuur niet voorgesteld om de leesbaarheid van de figuur te verhogen. Bijvoorbeeld: in een figuur met een voorstelling van de langskracht berekend met vul_sluis versie A is enkel vul_sluis release 01.52.00 modK voorgesteld, aangezien de andere wijziging geen invloed heeft op deze versie van vul_sluis.

Figuur 66 – Minimale en maximale van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 en vul_sluis release 01.52.00 modL.



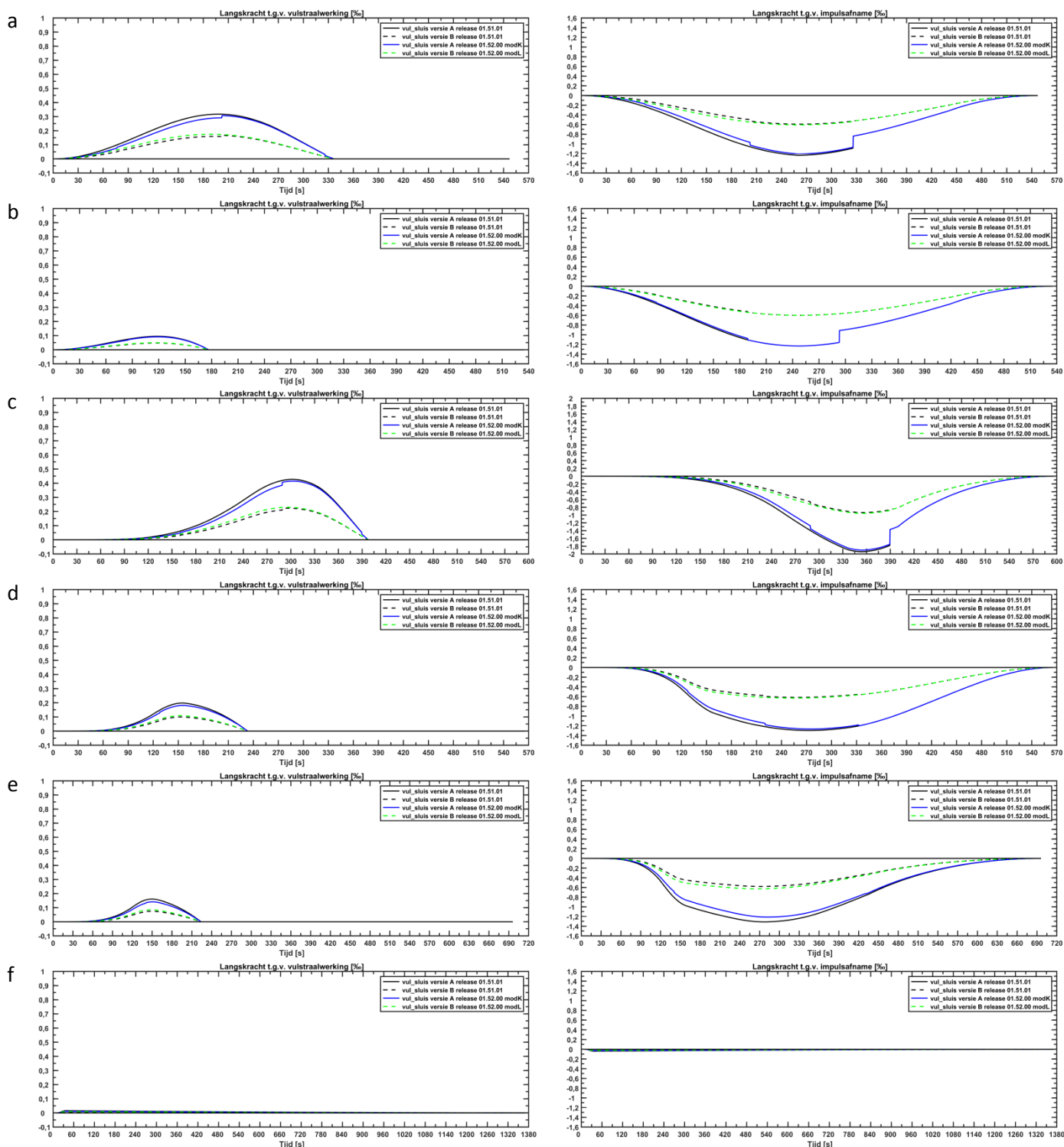
a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie A; b: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking vul_sluis versie B
 c: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie A; d: langskracht ten gevolge van impulsafname vul_sluis versie B
 e: totale langskracht vul_sluis versie A; f: totale langskracht vul_sluis versie B

Figuur 67 – Procentuele afwijking van de minimale en maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.52.00 modK en vul_sluis release 01.51.01.



a: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking; b: langskracht ten gevolge van impulsafname; c: totale langskracht.
links: vul_sluis release 01.52.00 modK; rechts: vul_sluis release 01.52.00 modL

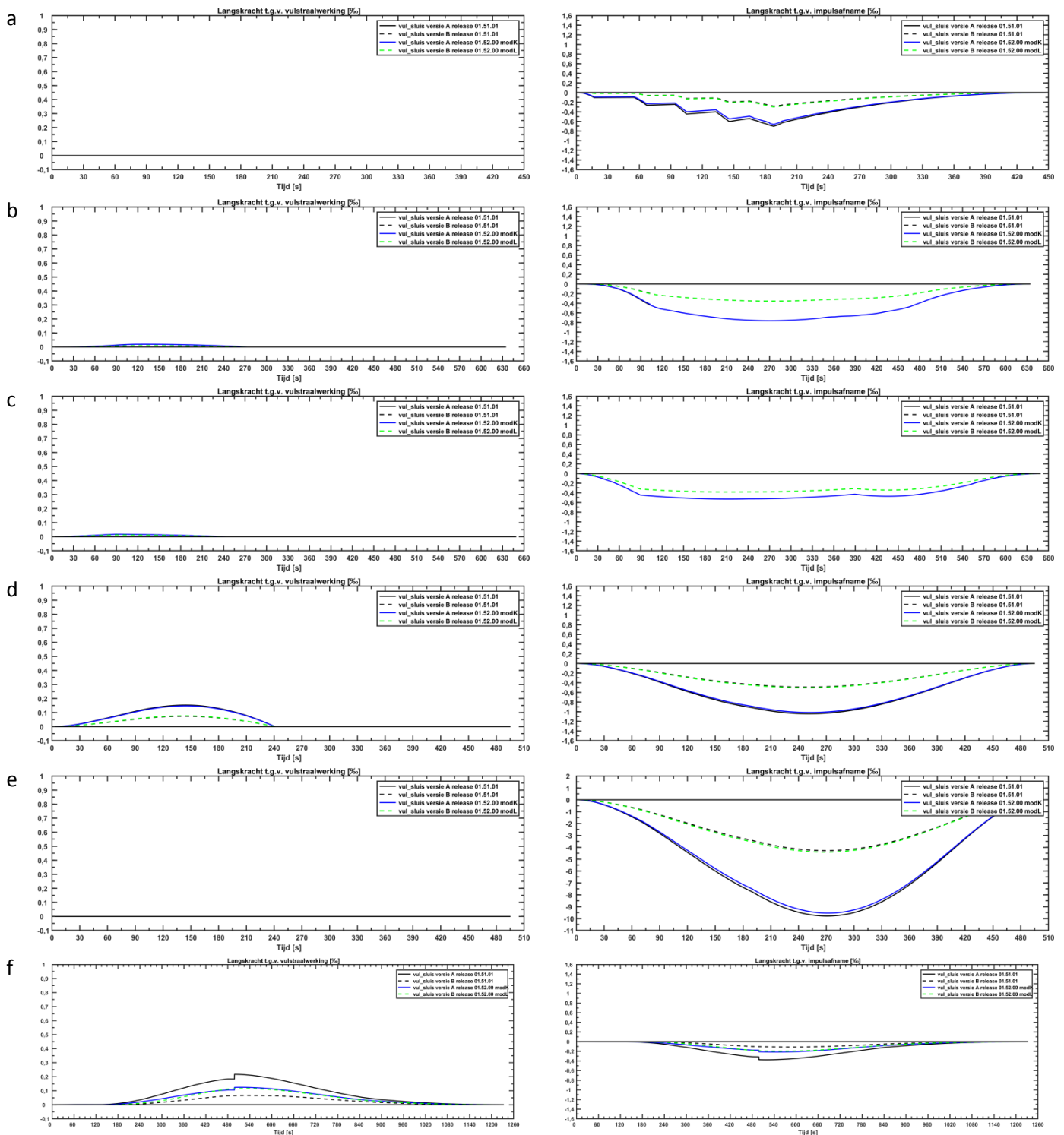
Figuur 68 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modK, en vul_sluis release 01.52.00 modL.



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

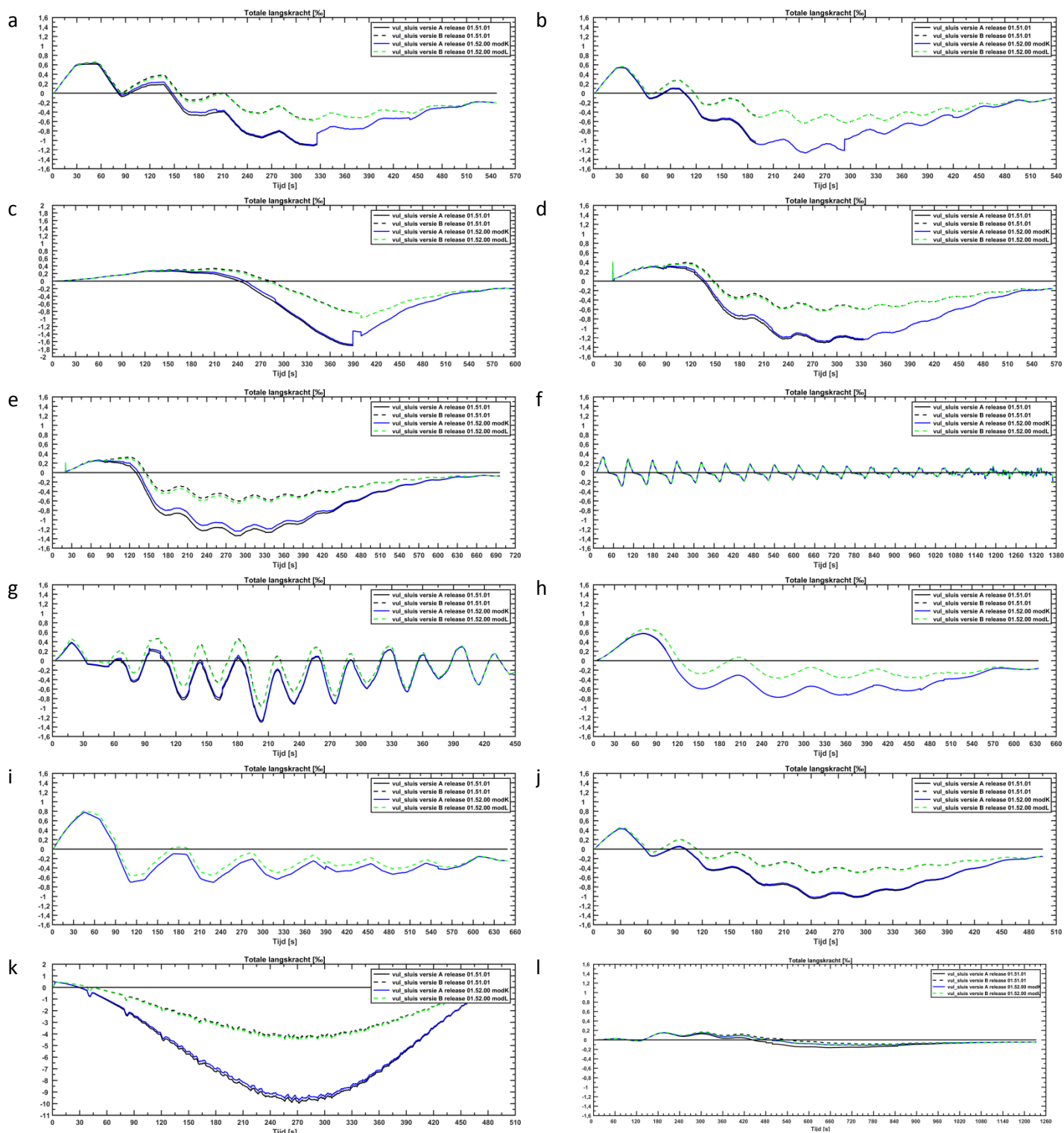
Figuur 69 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname voor Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modK, en vul_sluis release 01.52.00 modL.



a: Case10; b: Case11; c: Case12; d: Case13; e: Case15; f: Case16.

links: langskracht ten gevolge van vulstraalwerking – rechts: langskracht ten gevolge van impulsafname

Figuur 70 – Variatie in de tijd van de totale langskracht voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13 en Case15 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modK en vul_sluis release 01.52.00 modL.



a: Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09; g: Case10; h: Case11; i: Case12; j: Case13; k: Case15; l: Case16

Uit Figuur 68 tot en met Figuur 70 volgt dat wijzigingen van de constante $C_1 = 3,5$ naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A aanleiding geeft tot het ontstaan van een bijkomende sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking bij Case01, Case04 en Case06 en een bijkomende sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname bij Case01, Case02, Case04, Case06 en Case07. Omgekeerd worden voor dezelfde cases ook geen bijkomende sprongen meer berekend in de langskrachten berekend met vul_sluis versie B bij wijziging van C_1 geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie B naar een constante waarde $C_1 = 3,5$. Voor de oorzaak van het ontstaan / verdwijnen van deze sprongen wordt verwezen naar paragraaf 6.5, waar de variatie in de tijd van het omslagpunt en de invloed ervan op de interpolatie van de constante C_1 meer in detail besproken wordt. Voor alle cases worden lagere waarden berekend voor de beide componenten van de langskracht bij wijzigen van de constante $C_1 = 3,5$ naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A en hogere waarden bij wijziging van C_1 geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie B naar een constante waarde $C_1 = 3,5$.

Uit Figuur 67 volgt voor de meeste cases een daling van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname met 2 à 8 % bij wijzigingen van de constante $C_1 = 3,5$ naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A (vul_sluis release 01.52.00 modK). Enkel bij Case09, respectievelijk Case16, wordt een hogere procentuele afwijking van 29 %, respectievelijk 43 % berekend. Voor Case09 worden met vul_sluis release 01.51.01 en met vul_sluis release 01.52.00 modK worden zeer kleine langskrachten (zowel vulstraalwerking als impulsafname) berekend van 0,02 ‰. Kleine afwijkingen van deze zeer kleine langskrachten geven dan ook aanleiding tot hoge procentuele afwijkingen. De minimale waarde van de totale langskracht daalt hierdoor, met uitzondering van Case16, met 2 à 7 % en de maximale waarde stijgt met 3 à 7 %. Voor Case16 wordt een daling van de minimale waarde van de totale langskracht met 29 % berekend bij toepassen van vul_sluis release 01.52.00 modK.

Analoog geeft de wijziging van C_1 geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie B naar een constante waarde $C_1 = 3,5$ (vul_sluis release 01.52.00 modL) aanleiding tot een stijging van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname met 3 à 14 %. Dit met uitzondering van Case09 en Case16, waarvoor afwijkingen tot 43 % en 75 % worden vastgesteld. Hierdoor stijgt de minimale waarde van de totale langskracht met 2 à 8 % (met uitzondering van 16 % voor Case16) en daalt de maximale waarde met 1 à 9 %.

5.8 Resultaten simulaties met wijziging formulering voor $\partial q/\partial t$

Deze paragraaf bevat de resultaten van de simulaties waarbij de berekeningswijze van de helling van de debietscurve na n tijdstappen wordt gewijzigd. Concreet worden volgende wijzigingen beschouwd (zie paragraaf 3.5.7):

- Toepassen van een tweede orde achterwaartse differentieschema (vul_sluis release 01.52.00 modM)
- Toepassen van een derde orde achterwaartse differentieschema (vul_sluis release 01.52.00 modN)

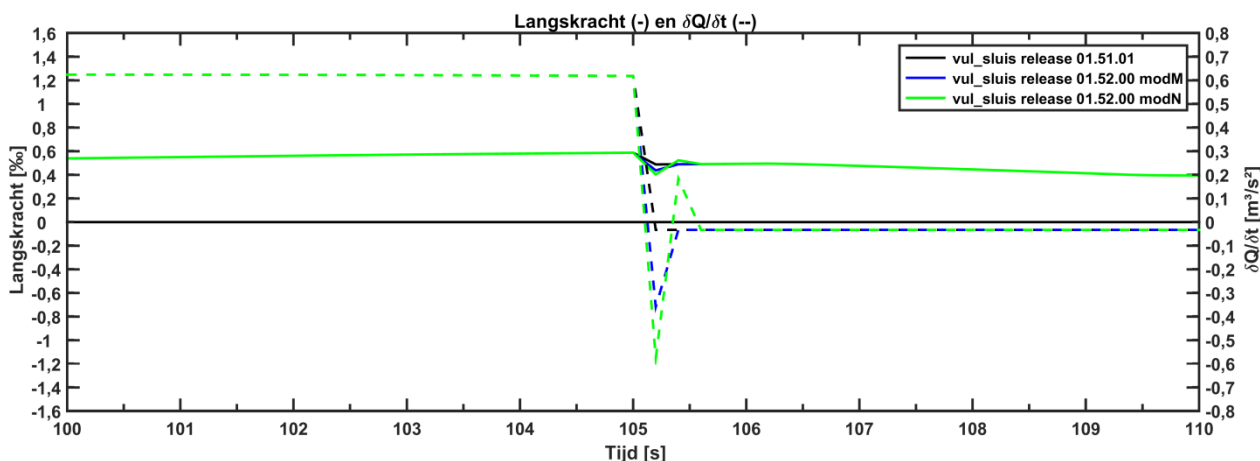
Deze wijziging hebben betrekking op de damping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven, en bijgevolg ook op de berekende totale langskracht. In tegenstelling tot de vorige paragrafen zijn deze wijzigingen zowel van toepassing op vullen als op ledigen van een sluiscolk. Bijgevolg worden in deze paragraaf alle cases uit hoofdstuk 2 beschouwd.

In deze paragraaf wordt voor alle cases de langskracht ten gevolge van translatiegolven berekend met vul_sluis release 01.51.01 (de basissimulatie) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN.

Figuur 72 en Figuur 73 geeft voor alle beschouwde cases en voor alle uitgevoerde simulaties een grafische voorstelling van de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven (na uitvoeren van smoothing en damping) en de variatie in de tijd van de helling van de debietscurve. Uit deze figuren volgt dat het toepassen van een tweede orde of een derde orde achterwaartse differentie voor de berekening van de helling van de debietscurve de langskracht ten gevolge van translatiegolven niet beïnvloedt. Om de reden is de invloed van deze wijzigingen op de berekende totale langskracht op het schip niet grafisch voorgesteld.

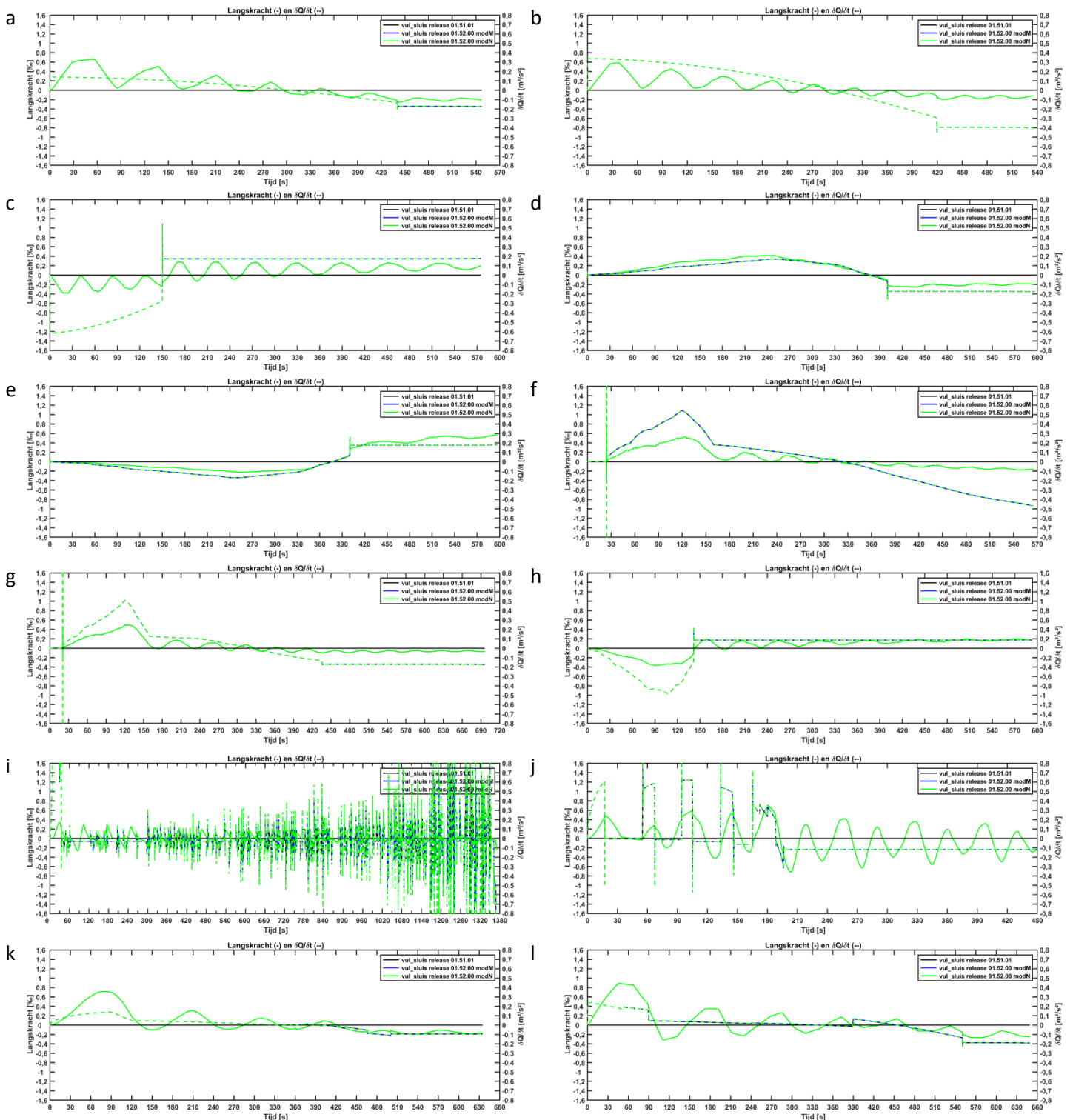
In Figuur 71 is een detail van de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van de translatiegolven en de variatie in de tijd van de helling van de debietskromme voorgesteld ter plaatse van een sprong in de langskracht ten gevolge van de translatiegolven. Uit deze figuur volgt dat de helling van de debietskromme ter plaatse van deze sprong een discontinuïteit vertoont. De helling neemt instantaan af van $0,6 \text{ m}^3/\text{s}^2$ naar $0,0 \text{ m}^3/\text{s}^2$. Het toepassen van tweede orde en derde orde achterwaartse differenties voor de berekening van de helling van de debietskromme zorgt voor een lagere helling voor de discontinuïteit en bij derde orde daarna voor een tussenliggende helling. Hierdoor ontstaat in plaats van een sprong in de langskracht ten gevolge van translatiegolven eerder een golvende overgang.

Figuur 71 – Detail van variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en variatie in de tijd van $\partial Q/\partial t$ voor Case10 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN.



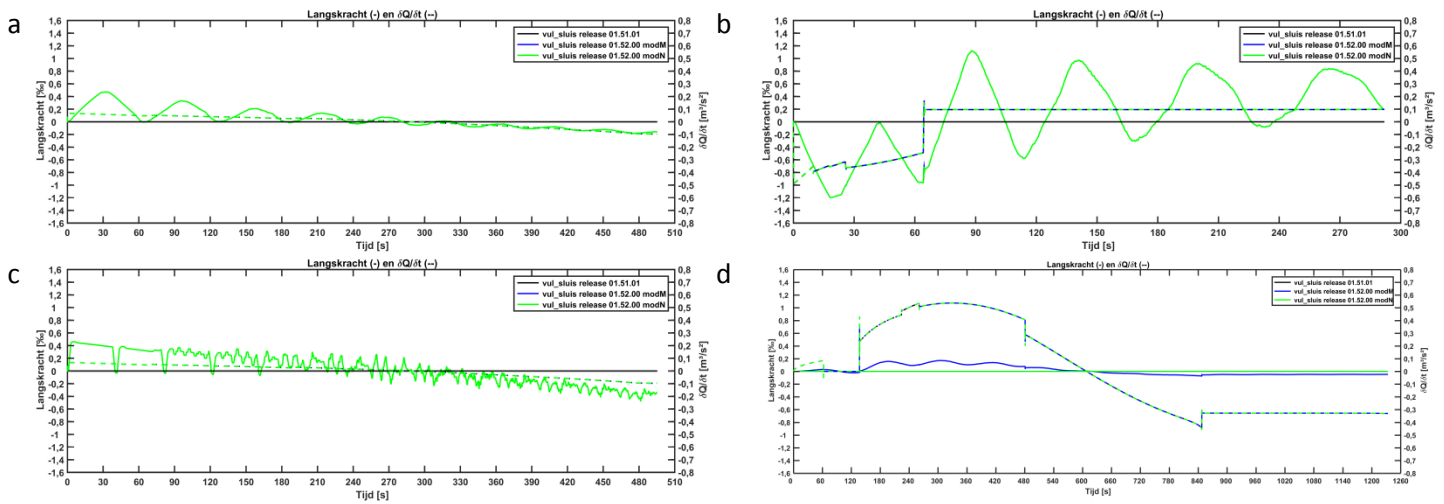
Volle lijn: langskracht op het schip; Streeplijn: $\delta Q/\delta t$.

Figuur 72 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en variatie in de tijd van $\partial q / \partial t$ voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05; Case06, Case07, Case08, Case09, Case10, Case11 en Case 12 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN



a: Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04; e: Case05; f: Case06; g: Case07; h: Case08; i: Case09; j: Case10; k: Case11; l: Case12

Figuur 73 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en variatie in de tijd van $\partial q/\partial t$ voor Case13, Case14, Case 15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.52.00 modM en vul_sluis release 01.52.00 modN



a: Case13; b: Case14; c: Case15; d: Case16.

5.9 Samenvatting resultaten

In dit hoofdstuk werd de invloed onderzocht op de resultaten van 15 (beperkte) wijzingen aan de code van het programma vul_sluis. Deze wijzigingen betreffen enerzijds een aantal fouten in de code dewelke in Verelst *et al.* (2014), Verelst *et al.* (2016a) en Verelst *et al.* (2016b) tijdens de rapportering zijn opgemerkt. Anderzijds betreffen deze wijzigingen een aantal gewijzigde formuleringen, waarvan de invloed op de langskrachten op het schip wordt nagegaan.

Vooreerst zijn simulaties uitgevoerd voor de 16 cases uit hoofdstuk 2 met vul_sluis release 01.51.01. Deze simulaties worden gebruikt als basissimulatie voor de vergelijking met de resultaten van simulaties met de gewijzigde formuleringen. Daarna is telkens één gewijzigde formulering actief gemaakt in de code van vul_sluis release 01.52.00 en zijn de simulaties voor de 16 cases opnieuw uitgevoerd met deze gewijzigde formulering.

Met betrekking tot deze wijzigingen werd het volgende besloten:

1. Aanpassing van de helling bij de berekening van de begrenzing van de vulstraat

De verdubbeling van de helling bij de berekening van de begrenzing van de vulstraat zorgt ervoor dat de tijdsduur dat de vulstraat tegen de boeg botst langer is. Hierbij wijzigt de grootte van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking ook beduidend. Een stijging van de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking tot 210 % wordt berekend, zowel met vul_sluis versie A als met vul_sluis versie B. De invloed op de totale langskracht is voor bijna alle cases eerder beperkt. Enkel voor Case01, Case04, Case06 en Case07 zorgt de verdubbeling van de hellingen dat de minimale (negatieve) waarde van de totale langskracht op het schip (in absolute waarde) tot 25 % lager is dan bij vul_sluis release 01.51.01. De maximale waarde voor Case04, Case06 en Case07 vertoont een stijging tot 17 %. Voor de overige cases bedragen de verschillen tussen de totale langskrachten berekend met beide releases van vul_sluis maximaal 5 %.

2. Wijziging van de berekening van het omslagpunt

Voor Case01, Case02, Case04 en Case11 beïnvloedt de wijziging van de stapgrootte bij de berekening van het omslagpunt het tijdstip waarop de sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking of de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis versie A zich voordoet. Bij een kleinere stapgrootte van 0,10 m of 0,01 m, doet deze sprong in de langskracht zich eerder voor in de tijd. De langskracht berekend met vul_sluis versie B vertoont voor deze cases een aantal (twee of drie) kleinere sprongen. De wijziging van de stapgrootte zorgt ervoor dat deze kleinere sprongen nog kleiner worden, zodat (visueel) een vloeiende variatie in de tijd van de berekende langskracht bekomen wordt. Voor deze cases zorgt de berekening van de locatie van omslagpunt volgens Rajaratnam & Subramanya (1986) ervoor dat de sprongen in de langskracht berekend met vul_sluis versie A niet meer aanwezig zijn. De berekende langskracht vertoont een vloeiende kromme.

Na aanpassen van de stapgrootte worden met vul_sluis versie A voor deze cases langskrachten ten gevolge van impulsafname berekend, die tot 25 % lager kunnen zijn dan in de basissimulatie. Het aanpassen van de formulering voor de berekening van het omslagpunt geeft aanleiding tot 25% lagere waarden van de maximale waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking en van de minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname.

Voor deze cases vertoont de minimale waarde van de totale langskracht berekend met vul_sluis versie A een daling tot 25 %. Enkel bij aanpassing van de formulering voor de berekening van het omslagpunt en bij Case04 wordt een daling van de maximale waarde van 15 % berekend met vul_sluis versie B.

Voor de overige cases, waar er zich geen sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking of de langskracht ten gevolge van impulsafname voordoet, wordt geen verschil waargenomen in de berekening van de langskracht na aanpassing van de stapgrootte of na aanpassing van de formulering voor de berekeningen van het omslagpunt.

3. Wijziging in de berekening van σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg

De wijziging van $2\ln(1/0,605)$ in het correcte $2\ln(2)$ heeft een beperkte invloed heeft op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname, i.e. een afname met 10 % van de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en van de minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname. De procentuele afname is wel bijna dubbel zo groot bij vul_sluis versie A als bij vul_sluis versie B.

Het (correcte) toevoegen van het gemiddelde bij de berekening van de standaarddeviatie heeft voor alle cases een beduidende invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname. Met vul_sluis versie A worden maximale waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en minimale waarden van de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend die tot 60 % lager zijn dan bij de basissimulatie en met vul_sluis versie B tot 75 % lagere waarden.

De invloed op de totale langskracht varieert sterk van case tot case. Zo kunnen tot 81% lagere minimale waarden en tot 35 % hogere maximale waarden van de totale langskracht berekend worden, waarbij een verlaging van de minimale waarde en een verhoging van de maximale waarden zich niet noodzakelijk bij dezelfde case voordoet.

4. Aanpassing integratiegrenzen bij de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg

De aanpassing van de integratiegrenzen is enkel doorgevoerd in vul_sluis versie B en beïnvloedt bijgevolg enkel de langskracht berekend met vul_sluis versie B.

Bij Case01, Case02 en Case04 wordt door het aanpassen van de integratiegrenzen een sprong geïntroduceerd in de langskracht ten gevolge van impulsafname. Het tijdstip waarop deze sprong zich voordoet is hetzelfde als het tijdstip van de sprong in de langskracht berekend met vul_sluis versie A. Voor de overige cases worden iets hogere waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname berekend. Door deze aanpassing neemt voor de meeste cases de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname toe met 17 à 31 %. Enkel bij Case16 wordt een stijging tot 43 % waargenomen. Wat betreft de berekende totale langskracht wordt voor bijna alle cases een toename tot 27 % berekend.

5. Wijziging factor met wijziging factor $(I_K - X_{boeg})/I_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname

Het weglaten van de factor $(I_K - X_{boeg})/I_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname heeft een eerder beperkte invloed heeft op de berekende langskrachten. Voor bijna alle cases wordt een toename met 2 à 6 % van de maximale waarde van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de minimale waarde van de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend, met uitzondering van enkele uitschieters tot 13 à 15 %.

Op de totale langskracht heet het weglaten van de factor $(I_K - X_{boeg})/I_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking voor alle cases, met uitzondering van Case16, een verwaarloosbare invloed (de procentuele afwijking is maximaal 1%). Voor Case 16 wordt een procentuele afwijking van 12 % berekend bij toepassen van vul_sluis release 01.52.00 modG. Bij het weglaten van deze factor in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname worden voor alle cases, met uitzondering van Case16, tot 4 % lagere maximale waarden van de totale langskracht op het schip en tot 6% hogere minimale waarden berekend. Voor Case 16 wordt een procentuele afwijking van 25 % berekend bij toepassen van vul_sluis release 01.52.00 modI.

6. Wijziging constante C1 bij de berekening van de maximale stroomsnelheid ter plaatse van de boeg

Het wijzigingen van de constante $C_1 = 3,5$ naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A geeft aanleiding tot het ontstaan van een bijkomende sprong in de langskracht ten gevolge van

vulstraalwerking bij Case01, Case04 en Case06 en een bijkomende sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname bij Case01, Case02, Case04, Case06 en Case07. Omgekeerd worden voor dezelfde cases met vul_sluis versie B geen bijkomende sprongen meer berekend in de langskrachten bij wijziging van C_1 geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 naar een constante waarde $C_1 = 3,5$.

Ten gevolge van het wijzigingen van de constante $C_1 = 3,5$ naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A worden voor bijna alle cases 2 à 8 % lagere waarden voor de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend. Dit met uitzondering van Case09 en Case16, waarvoor 29 % en 43 % lagere waarden worden berekend. De minimale waarde van de totale langskracht daalt hierdoor met 2 à 7 %, met uitzondering van Case16, en de maximale waarde stijgt voor alle cases met 3 à 7 %. Voor Case16 wordt een daling van de minimale waarde van de totale langskracht met 29 % berekend bij toepassen van vul_sluis release 01.52.00 modK.

Het wijzigen van C_1 geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie B naar een constante waarde $C_1 = 3,5$ heeft voor alle cases, met uitzondering van Case09 en Case16, een ongeveer even grote maar omgekeerde invloed (de berekende langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en impulsafname nemen toe en de minimale, respectievelijk de maximale waarde van de totale langskracht stijgen, respectievelijk dalen). Voor Case09 en Case16 worden een iets grotere procentuele afwijkingen tot 43 % en 75 % berekend.

7. Wijziging formulering voor berekening van de helling van de debietscurve

Het toepassen van een tweede orde of een derde orde achterwaartse differentie voor de berekening van de helling van de debietscurve in plaats van een eerste orde achterwaartse differentie heeft voor alle cases geen invloed op de berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven.

Op basis van bovenstaande resultaten wordt besloten om in een volgende release van vul_sluis volgende aanpassingen aan de code uit te voeren:

- Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal (release 01.52.00 wijziging modA).
- De meest nauwkeurige berekening van de ligging van het omslagpunt (stapgrootte 0.01 m release 01.52.00 wijziging modC).
- De correcte formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 wijziging modE).
- De aanpassing van de integratiegrenzen bij de integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 wijziging modF).
- De theoretisch correcte aanwezigheid van de factor $(l_K - X_{\text{boeg}})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname (release 01.52.00 wijziging modI) en vulstraalwerking (release 01.52.00 wijziging modG).

Met betrekking tot de overige wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00 wordt het volgende opgemerkt:

- De wijziging van de waarde van de constante C_1 bij de berekening van de maximale stroomsnelheid ter plaatse van de boeg van het schip (release 01.52.00 modK en release 01.52.00 modL) is enkel uitgevoerd om de invloed van het wijzigen van deze constante C_1 op de berekende langskrachten na te gaan. Dit was geen foutieve formulering. Om die reden wordt deze wijziging niet weerhouden bij de definitie van een nieuwe release van vul_sluis.
- Uit paragraaf 5.8 volgt dat de berekeningswijze van $\delta q / \delta t$ bij de demping van translatiegolven geen invloed heeft op de aanwezigheid van de sprongen in de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Om die reden wordt deze wijziging niet weerhouden voor een nieuwe release van vul_sluis.

Aan de hand van deze aanpassingen (en op basis van resultaten van de analyses in hoofdstuk 6) is vul_sluis release 01.53.00 gedefinieerd. De invloed van de aanpassingen aan vul_sluis op de berekende totale langskracht op het schip en de componenten ervan wordt onderzocht in hoofdstuk 7.

6 Analyse waarde interne parameters

6.1 Algemeen

Dit hoofdstuk betreft de analyse van de variatie in de tijd van een aantal parameters, dewelke intern in de code van het programma vul_sluis gebruikt worden. Hiervoor werden in vul_sluis release 01.51.s.00 de waarden van deze interne parameters weggeschreven naar de .mat-file als output van het programma. Meer bepaald worden in deze release volgende interne variabelen weggeschreven naar de outputfile (zie ook paragraaf 3.3):

1. Interne variabelen met betrekking tot de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven: CE_1 , CE_2 , $\frac{b_S \cdot d_S}{b_K \cdot h_K^n}$, CE , T_K^n en FP^n .
2. Interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van wrijving: R_{Kr1}^n en C_{Kr1}^n
3. Interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking: $Z_{VS,boegmax}^n$, $Z_{VS,boegmax1}^n$, $Z_{VS,boegmax2}^n$, $A_{VS,boeg}^n$, $A_{VSSchip,boeg}^n$ en ψ_2
4. Interne variabelen met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraal: $h_{VS,m}^n$, h_{VS}^n , $h_{VS,XA}^n$, $h_{VS,XB}^n$, $h_{VS,XC}^n$, $h_{VS,XD}^n$, $X_{VS,B}^n$, $X_{VS,G}^n$, $X_{VS,L}^n$, $X_{VS,R}^n$, $X_{VS,omslaggpunt}^n$, $X_{VS,omslaggpunt2}^n$, δ_1 , μ , σ , zone, $q_{VS,X}^n$, $U_{VS,X}^n$, $i_{VS,X}^n$, $U_{VS,Xmax}^n$, L_{neer} en $A_{VS,boeg}^n$.

De 16 geselecteerde cases uit hoofdstuk 2 zijn voor de analyses in dit hoofdstuk gesimuleerd met deze release van vul_sluis.

Voor de 4 hierboven vermelde types van interne variabelen wordt een analyse van de variatie in de tijd van de betreffende interne variabelen beschreven in paragraaf 6.2 (variabelen met betrekking tot demping van langskracht ten gevolge van translatiegolven), paragraaf 6.3 (variabelen met betrekking tot langskracht ten gevolge van wrijving), paragraaf 6.4 (variabelen met betrekking tot langskracht ten gevolge van vulstraalwerking) en paragraaf 6.5 (variabelen met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal). Bij deze analyse wordt voornamelijk getracht om het ontstaan van plotse sprongen in de tijdsvariatie van bepaalde variabelen te verklaren.

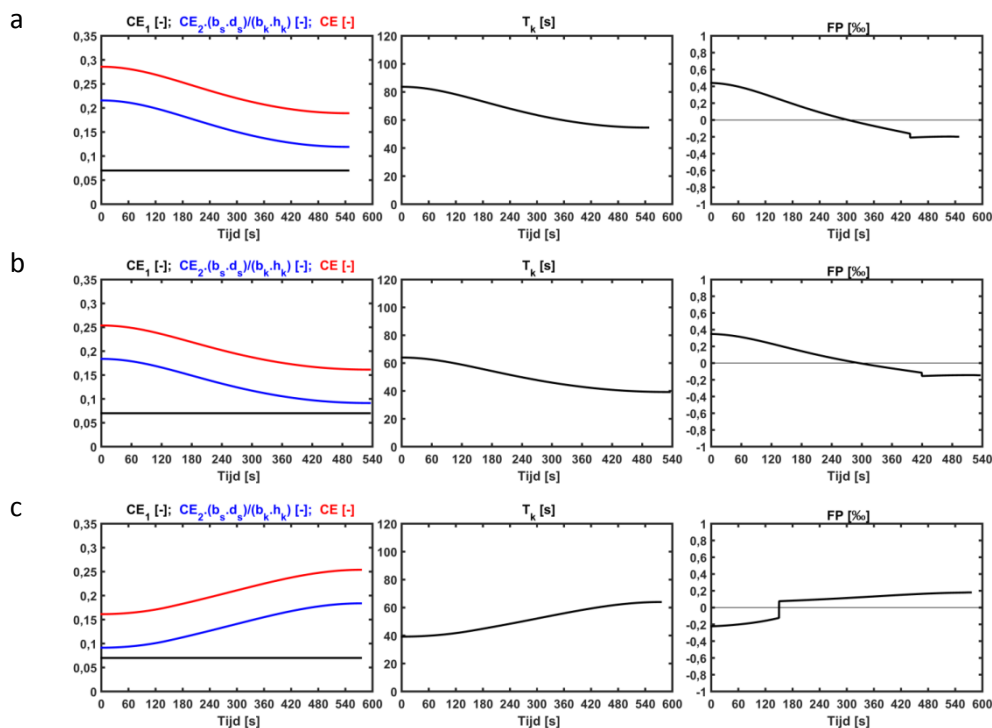
6.2 Analyse interne variabelen met betrekking tot de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven

Voor de 16 geselecteerde cases is in Figuur 74 tot en met Figuur 76 de variatie in de tijd van de variabelen CE_1 , $CE_2 \frac{b_S \cdot d_S}{b_K \cdot h_K^n}$, CE , T_K^n en FP^n grafisch voorgesteld. Voor de definitie van deze interne variabelen wordt verwezen naar paragraaf 3.2. Deze interne variabelen zijn identiek in versie A en versie B van vul_sluis.

De coëfficiënten CE_1 en CE_2 zijn constanten in het programma vul_sluis, die vanaf release 01.50.00 in de inputfile worden opgegeven. Bijgevolg vertoont de variatie in de tijd van CE_1 voor alle cases een constant verloop en is de variatie in de tijd van $CE_2 \frac{b_S \cdot d_S}{b_K \cdot h_K^n}$ voor alle cases omgekeerd evenredig met de variatie in de tijd van de waterdiepte in de sluiskolk. Ook CE en T_K^n vertonen een variatie in de tijd die omgekeerd evenredig is met de waterdiepte in de sluiskolk.

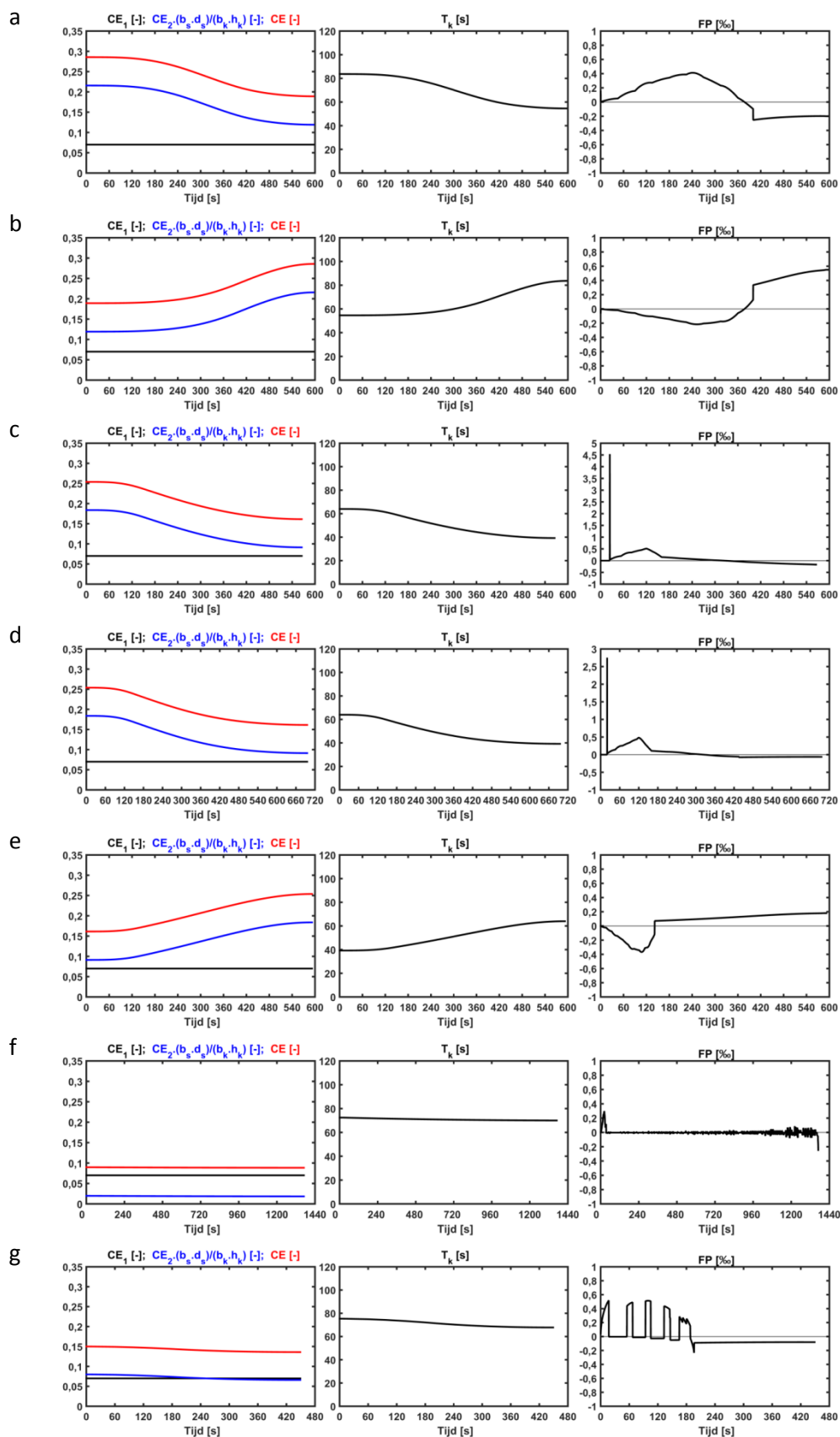
Uit deze figuren volgt ook dat enkel de variatie in de tijd van FP^n voor sommige cases een aantal (kleinere of grotere) abrupte sprongen vertoont. De variatie in de tijd van de overige parameters vertonen deze sprongen niet. Dit wordt verklaard doordat de abrupte sprongen in de variatie in de tijd van FP^n veroorzaakt worden door een sprongsgewijze variatie in de tijd van de helling van de debietscurve na n tijdstappen (zie ook paragraaf 5.8). Uit paragraaf 5.8 volgt ook dat de plotse stijging van FP^n aan het begin van de nivellering bij Case06 en Case07 kan verklaard worden door de plotse stijging van de helling van de debietscurve op dit tijdstip.

Figuur 74 – Variatie interne parameters m.b.t. demping langskracht translatiegolven voor Case01, Case02 en Case03



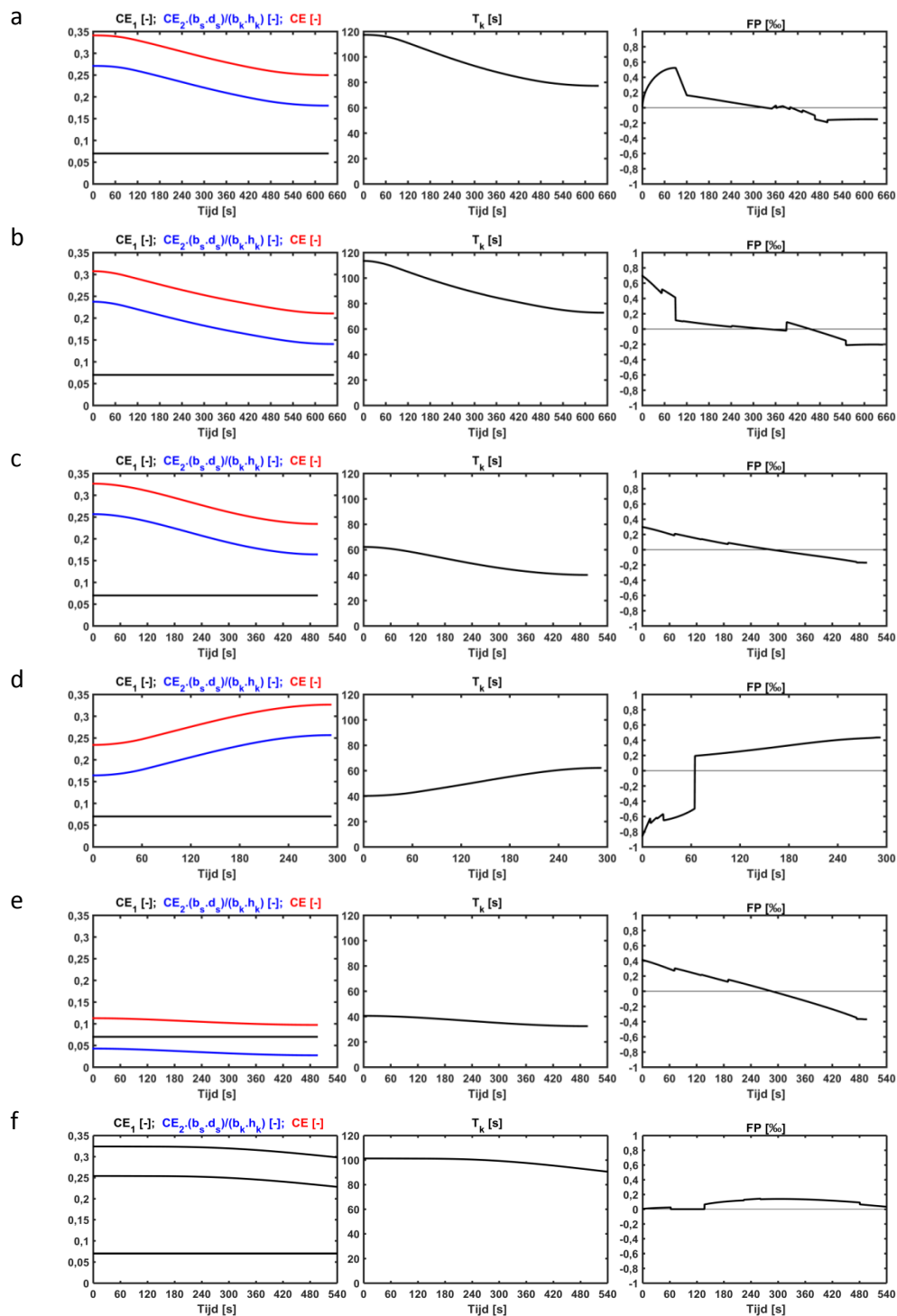
a: Case01; b: Case02; c: Case03.

Figuur 75 – Variatie interne parameters m.b.t. demping langskracht translatiegolven voor Case04, Case05, Case06, Case07, Case08, Case09 en Case10



a: Case04; b: Case05; c: Case06; d: Case07; e: Case08; f: Case09; g: Case10

Figuur 76 – Variatie interne parameters m.b.t. demping langkracht translatiegolven voor Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16

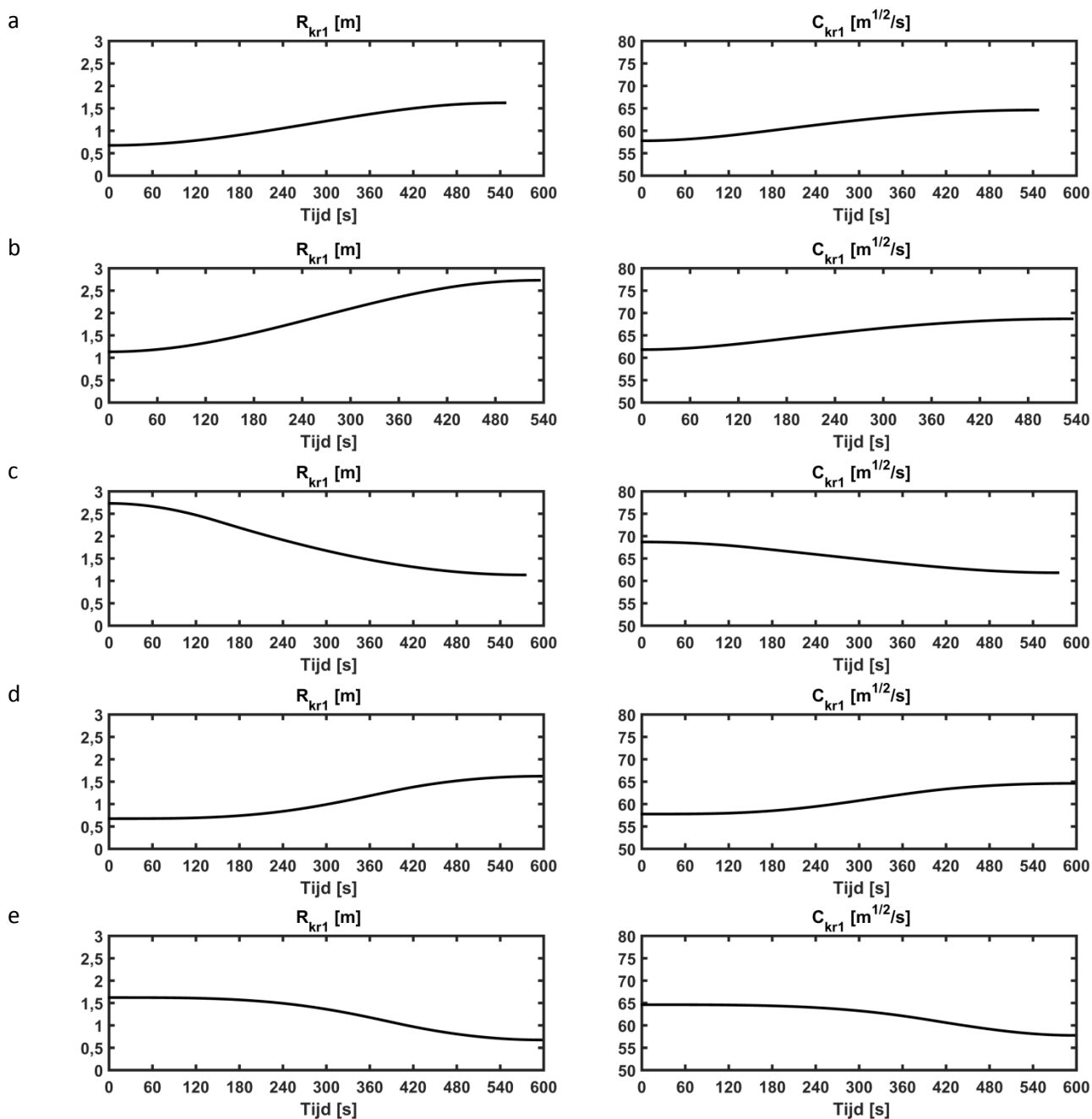


a: Case11; b: Case12; c: Case13; d: Case14; e: Case15; f: Case16

6.3 Analyse interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van wrijving

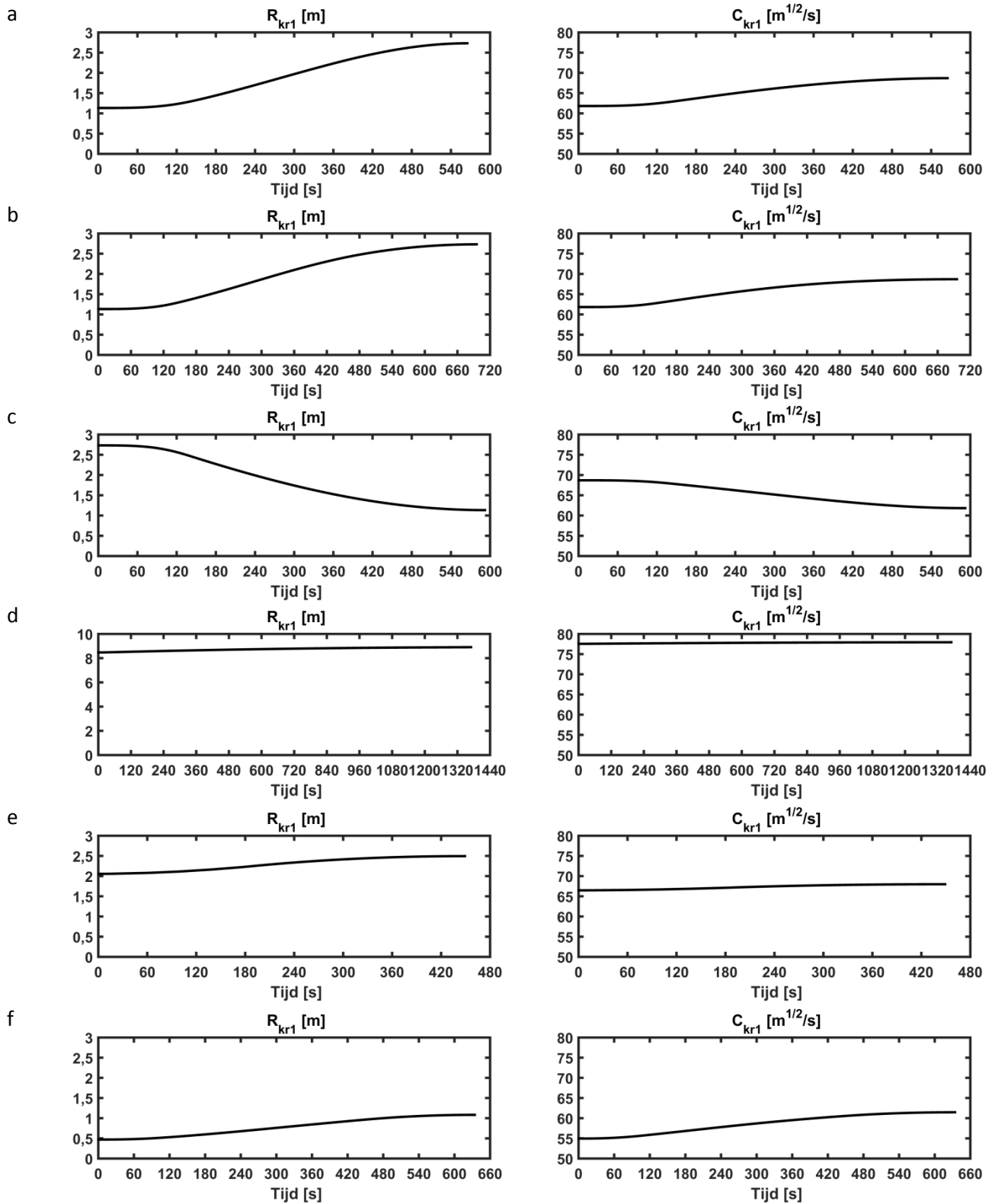
Voor de 16 geselecteerde cases is in Figuur 77, Figuur 78 en Figuur 79 de variatie in de tijd voorgesteld van de hydraulische straal R_{kr1} en de Chézy-coëfficiënt C_{kr1} van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden. Deze beide interne variabelen zijn identiek in versie A en versie B van vul_sluis.

Figuur 77 – Variatie hydraulische straal en Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie beïnvloed door de wrijving met de kolkwanden voor Case01, Case02, Case03, Case04 en Case05.



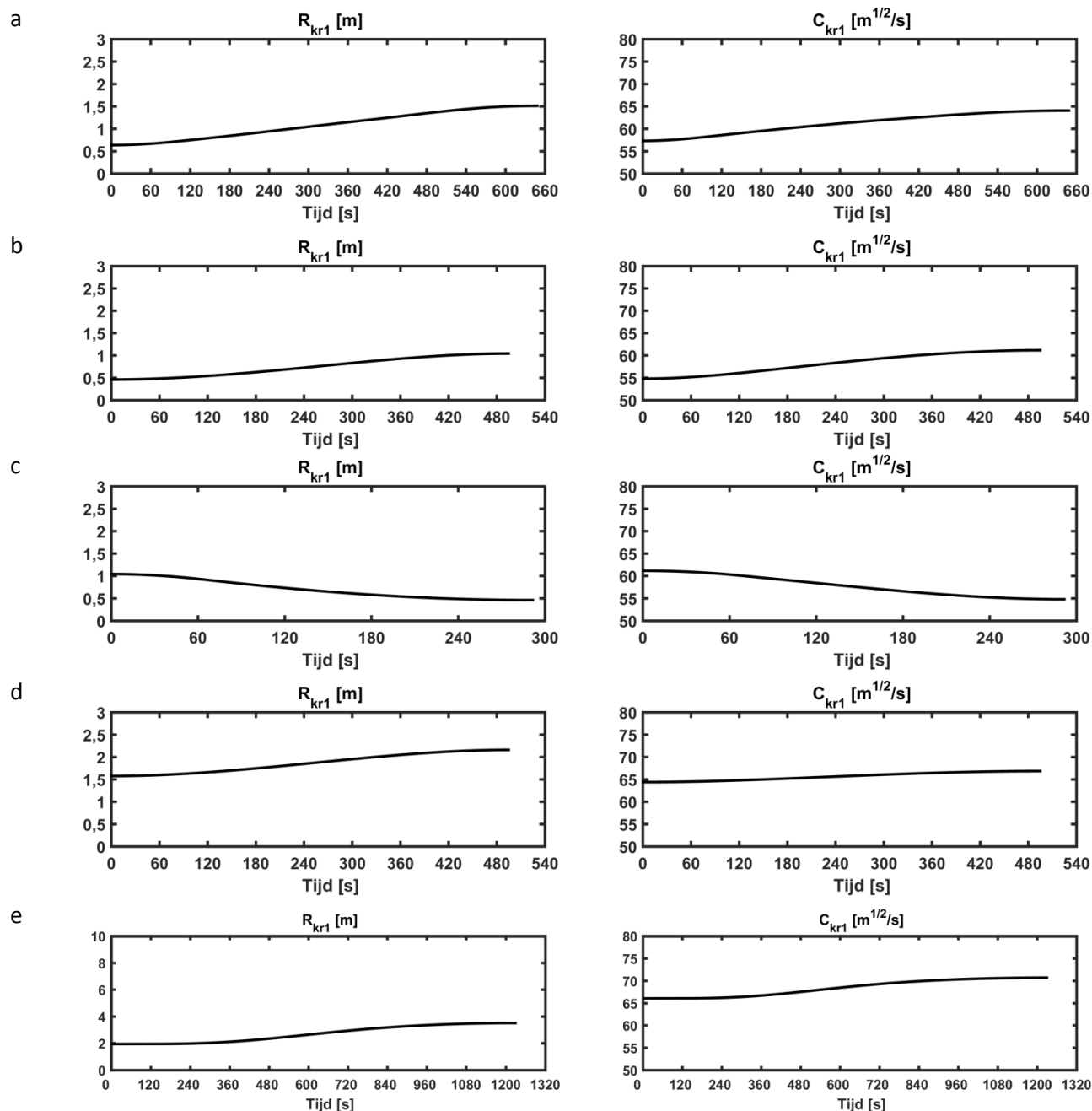
a: Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04; e: Case05

Figuur 78 – Variatie hydraulische straal en Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie beïnvloed door de wrijving met de kolkwanden voor Case06, Case07, Case08, Case09, Case10 en Case11.



a: Case06; b: Case07; c: Case08; d: Case09; e: Case10; f: Case11

Figuur 79 – Variatie hydraulische straal en Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie beïnvloed door de wrijving met de kolkwanden voor Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16



a: Case12; b: Case13; c: Case14; d: Case15; e: Case16

Uit deze figuren volgt dat voor alle cases, met uitzondering van Case09, de hydraulische straal en bijgevolg ook de Chézy-coëfficiënt een variatie in de tijd kent die gelijkaardig is aan de variatie in de tijd van de waterdiepte in de sluiskolk. Uit Verelst *et al.* (2014) volgen volgende formuleringen voor de hydraulische straal R_{Kr1} en de Chézy-coëfficiënt C_{Kr1} van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden:

$$C_{Kr1}^n = 18 \log_{10} \left(12 \frac{R_{Kr1}^n}{k_{kolk}} \right)$$

$$R_{Kr1}^n = \frac{b_k h_k^n - b_s d_s}{\left((b_k + 2 h_k^n) + (b_s + 2 d_s) \sqrt[4]{\frac{k_{schip}}{k_{kolk}}} \right)}$$

Met:

- C_{Kr1}^n Chézy-coëfficiënt (na n tijdstappen) van het gedeelte van de natte sectie, $[m^{1/2}/s]$ waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden.
- R_{Kr1}^n Hydraulische straal (na n tijdstappen) van het gedeelte van de natte sectie, $[m]$ waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden.
- b_k Breedte kolk $[m]$
- h_k^n Waterhoogte in kolk na tijdstappen $[m]$
- b_s Breedte schip $[m]$
- d_s Diepgang schip $[m]$
- k_{schip} Ruwheidslengte van de romp van het schip $[m]$
- k_{kolk} Ruwheidslengte van de kolkwanden $[m]$

Bij Case09 is een schip aanwezig met een natte sectie $49,3 \text{ m}^2$, wat relatief klein is in vergelijking met de natte sectie van de sluis (999,2 m^2). Dit maakt dat de hydraulische straal weinig variatie vertoont bij een stijgend waterpeil en dat bijgevolg de Chézy-coëfficiënt constant is. De waterhoogte in de teller en deze in de noemer van de uitdrukking van de hydraulische straal hebben een even grote invloed op het eindresultaat, waardoor de variatie in de tijd van de hydraulische straal en de Chézy-coëfficiënt min of meer constant is. Voor de overige cases oefent de waterhoogte in de kolk in de teller van de uitdrukking voor de hydraulische straal meer invloed uit op het eindresultaat dan deze in de noemer. Hierdoor vertoont de variatie in de tijd van de hydraulische straal en de Chézy-coëfficiënt een verloop dat gelijkaardig is aan de variatie in de tijd van het kolkpeil.

Tabel 10 geeft voor elke case een overzicht van de minimale en maximale waarden van de berekende hydraulische straal en de Chézy-coëfficiënt. Uit deze tabel volgt dat de Chézy-coëfficiënt voor alle cases, met uitzondering van Case09, varieert tussen 55 en $71 \text{ m}^{1/2}/s$. Voor Case09 bedraagt de Chézy-coëfficiënt $78 \text{ m}^{1/2}/s$.

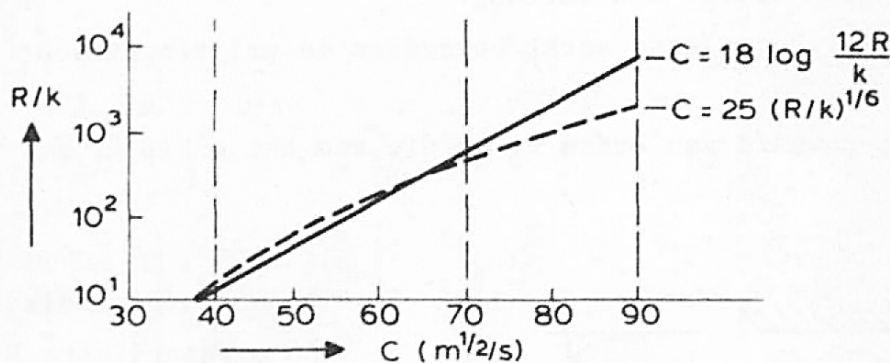
Tabel 10 – Minimale en maximale waarden van de hydraulische straal en de Chézy-coëfficiënt

	Hydraulische straal [m]		Chézy-coëfficiënt [$\text{m}^{1/2}/s$]	
	min	max	min	max
Case01	0,68	1,62	58	65
Case02	1,13	2,73	62	69
Case03	1,13	2,73	62	69
Case04	0,68	1,62	58	65
Case05	0,68	1,62	58	65
Case06	1,13	2,73	62	69
Case07	1,13	2,73	62	69
Case08	1,13	2,73	62	69
Case09	8,47	8,91	78	78
Case10	2,06	2,49	66	68
Case11	0,47	1,08	55	61
Case12	0,64	1,51	57	64
Case13	0,46	1,04	55	61
Case14	0,46	1,04	55	61
Case15	1,58	2,16	64	67
Case16	1,94	3,51	66	71

Bij de afleiding van de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van wrijving in Bijlage 2 van Verelst *et al.* (2014) werd volgende opmerking geformuleerd:

Vrijburcht (1988) vermeldt dat voor een Chézy-coëfficiënt tussen $40 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en $70 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en aanname van een hydraulisch ruwe wand, de benadering van de Chézy-coëfficiënt door de formule van Strickler met k als wandruwheid een weinig afwijkt van de waarde berekend met de formule van White-Colebrook (zie Figuur 80). Dit verklaart waarom hierboven de benadering van de Chézy-coëfficiënt door de formule volgens Strickler toegepast wordt en waarom op deze plaats de formule volgens White-Colebrook wordt toegepast, alhoewel dit eerder inconsistent lijkt.

Figuur 80 – Vergelijking Chézy-coëfficiënt berekend met de benadering door de formule van Strickler met deze berekend met de formule van White-Colebrook.



Bron: Vrijburcht (1988)

Het feit dat de waarde van de Chézy-coëfficiënt bij Case09 gelijk is aan $78 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ betekent dat deze conditie zich bevindt buiten het gebied waarin de benadering van de Chézy-coëfficiënt aan de hand van de formule van Strickler en de formule van White-Colebrook weinig van elkaar afwijken. Dit betekent dat het toepassen van de benadering van de Chézy-coëfficiënt door de formule volgens Strickler op de ene plaats en het toepassen van de formule van White-Colebrook op een andere plaats bij de afleiding van de formulering van de langskracht ten gevolge van wrijving in dit geval eigenlijk niet toegestaan is.

Het toepassen van één formule voor de berekening van de Chézy-coëfficiënt in de afleiding van de langskracht ten gevolge van wrijving omvat echter het opnieuw afleiden van de impulsbalans op boeg, hek en romp van het schip. De bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale langskracht op het schip is echter over het algemeen zeer beperkt. Het opnieuw afleiden van de impulsbalans zou bijgevolg weinig invloed hebben op de berekende totale langskracht op het schip. Om die reden wordt dit niet aangepast in toekomstige releases van vul_sluis.

6.4 Analyse interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking

Deze paragraaf beschrijft de analyse van de interne variabelen met betrekking tot de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. De component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking is enkel van toepassing bij vullen van een sluiskolk. Om die reden wordt de analyse in deze paragraaf niet uitgevoerd voor Case03, Case05, Case08 en Case14, dewelke ledigen van een sluis betreffen.

Voor de 12 cases met betrekking tot het vullen van een sluis is in Figuur 81 tot en met Figuur 86 de variatie in de tijd voorgesteld van de parameters $Z_{VS,boegmax}^n$, $Z_{VS,boegmax1}^n$, $Z_{VS,boegmax2}^n$, $A_{VS,boeg}^n$, $A_{VSschip,boeg}^n$ en Ψ_2 . Voor de definitie van deze parameters wordt verwezen naar paragraaf 3.5.1. In de formulering voor de parameter $Z_{VS,boegmax2}^n$ is de hoogte h_{VS}^n van de vulstraal ter plaatse van de opwaartse deur na n tijdstappen aanwezig en in de formulering voor de parameter $A_{VS,boeg}^n$ is de hoogte $h_{VS,boeg}^n$ van de vulstraal ter plaatse van de boeg van het schip aanwezig. De berekeningswijze van deze beide parameters verschilt in versie A en versie B van het programma vul_sluis.

De hoogte h_{VS}^n van de vulstraal ter plaatse van de opwaartse deur na n tijdstappen wordt als volgt berekend (Verelst *et al.*, 2016a):

1. Indien in de inputfile breekb = 'J' is opgegeven:

- a. vul_sluis versie A:

$$h_{VS}^n = \begin{cases} \frac{A_{VO}^n}{b_k} & \text{als } A_{VS,BBmax} \leq A_{VO,max} \\ \frac{A_{VS,BBmax}}{b_k} & \text{als } A_{VS,BBmax} > A_{VO,max} \end{cases}$$

- b. vul_sluis versie B

$$h_{VS}^n = \frac{A_{VS,BBmax}}{b_k}$$

2. Indien in de inputfile breekb = 'N' is opgegeven (geen breekbalken aanwezig):

- a. vul_sluis versie A:

$$h_{VS}^n = \frac{A_{VO}^n}{b_k}$$

- b. vul_sluis versie B

$$h_{VS}^n = \frac{A_{VS,BBmax}}{b_k}$$

Met:

- h_{VS}^n	Hoogte vulstraal juist afwaarts van opwaartse deur na n tijdstappen	[m]
- A_{VO}^n	Oppervlakte vulopeningen na n tijdstappen	[m ²]
- $A_{VS,BBmax}$	Maximale totale oppervlakte van de vulstraal juist afwaarts van de breekbalken	[m ²]
- b_k	Breedte sluiskolk	[m]
- $A_{VO,max}$	Maximale totale oppervlakte van de vulopeningen in de sluisdeur	[m ²]

De hoogte van de vulstraal juist afwaarts van de opwaartse deur na n tijdstappen wordt daarna in de subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m* als input gebruikt om de hoogte van de vulstraal ter plaatse van de boeg van het schip te berekenen.

Omwille van de verschillende berekeningswijze van deze parameters wordt de analyse in dit hoofdstuk uitgevoerd voor beide versies van het programma vul_sluis. Om die reden is in Figuur 81 tot en met Figuur 86 telkens de variatie in de tijd van de betreffende interne variabele grafisch voorgesteld voor de beide versies van het programma vul_sluis.

Om voor elke case te kunnen nagaan welke formuleringen zijn toegepast bij de berekening van de hoogte van de vulstraal juist afwaarts van de opwaartse deur is in Tabel 11 voor elke case een overzicht gegeven van de waarde van de parameter BREEKB in de inputfile en de waarden van de parameters $A_{VO,max}$ en $A_{VS,BBmax}$. Bij Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case11 en Case12 zijn breekbalken aanwezig en is voor de parameter $A_{VS,BBmax}$ een grotere waarde opgegeven dan de maximale oppervlakte van de openingen in de deur. Bij Case09, Case13 en Case15 zijn geen breekbalken aanwezig. Bij Case09 wordt dit gesimuleerd met 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) in de inputfile. Bij Case13 en Case15 wordt de afwezigheid van geen breekbalken gesimuleerd met 'BREEKB=J' (wel breekbalken aanwezig), maar met een oppervlakte van de straal na breekbalken die juist gelijk is aan de maximale oppervlakte van de openingen. Uit de formuleringen, die hierboven vermeld zijn, volgt dat dit hetzelfde resultaat geeft als het toepassen van de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) in de inputfile. Bij Case10 zijn wel breekbalken aanwezig, maar deze cases worden gesimuleerd met een oppervlakte van de straal na breekbalken die juist gelijk is aan de maximale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur. Bij Case16 zijn ook breekbalken aanwezig en is voor $A_{VS,BBmax}$ een waarde ingegeven dewelke gelijk is aan de maximale oppervlakte van de openingen naar boven afgerond tot de tweede decimaal.

Tabel 11 – Waarde input BREEKB in inputfile en waarden van $A_{VO,max}$ en $A_{VS,BBmax}$ voor de verschillende Cases

	BREEKB [-]	$A_{VO,max}$ [m ²]	$A_{VS,BBmax}$ [m ²]
Case01	J	11,55	16,00
Case02	J	19,57	27,40
Case04	J	12,32	16,00
Case06	J	20,36	24,42
Case07	J	12,32	14,77
Case09	N	12,72	12,72
Case10	J	13,57	13,57
Case11	J	8,59	10,31
Case12	J	11,91	14,29
Case13	J	4,86	4,86
Case15	J	4,86	4,86
Case16	J	45,62	45,62

In Figuur 81 tot en met Figuur 86 wordt duidelijk voor bijna alle cases geen verschil waargenomen wordt tussen de waarden van de interne variabelen berekend met versie A en versie B van vul_sluis. Enkel bij Case10 wordt met vul_sluis versie A een toenemende waarde van de parameter $A_{VS,boeg}^n$ berekend, terwijl de waarde berekend met vul_sluis versie B constant blijft in de tijd. Bij Case10, Case13 en Case15, echter, wordt aan de hand van de hierboven vermelde formuleringen verwacht dat $Z_{VS,boegmax2}^n$ en $A_{VS,boeg}^n$ toenemen tijdens het openen van de schuiven. Dit is blijkbaar enkel bij Case10 het geval.

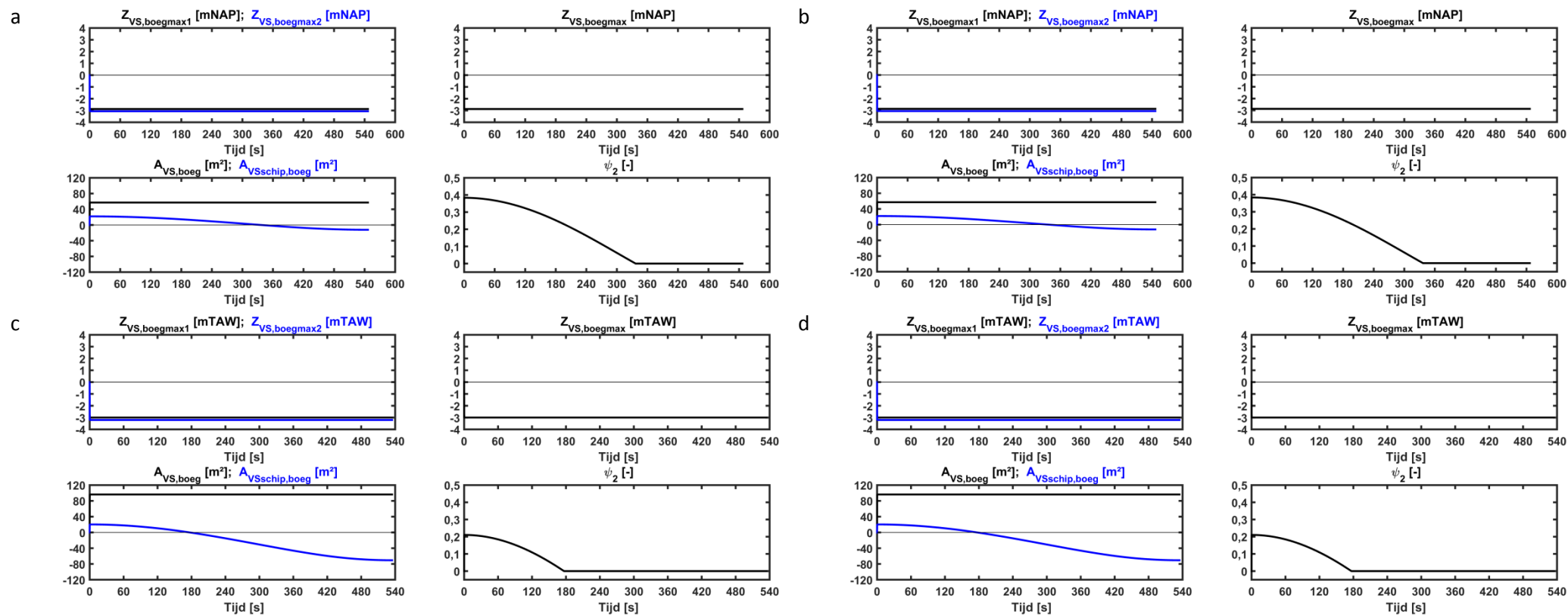
In vul_sluis wordt de waarde van $A_{VO,max}$ intern in het programma berekend aan de hand van de grootte van de openingen uit de inputfile, de waarde van $A_{VS,BBmax}$ wordt echter opgegeven in de inputfile. Controle van de waarden uit Tabel 11 in de outputfile van de simulaties voor Case10, Case13 en Case15 leert dat bij Case10 de berekende waarde voor $A_{VO,max}$ juist groter (0,001 m²) is dan de opgegeven waarde voor $A_{VS,BBmax}$. Bij Case13 en Case15 is de berekende waarde voor $A_{VO,max}$ (door afrondingsfouten) juist kleiner dan de opgegeven waarde voor $A_{VS,BBmax}$. Bij deze twee laatste simulaties is het verschil tussen de beide waarden grootteorde 10⁻¹⁵. Dit verklaart waarom enkel bij Case10 een variërende waarde voor $A_{VS,boeg}^n$ berekend wordt en niet bij Case13 en Case15. Het verdient de aanbeveling om in toekomstige releases van het programma de code aan te passen, zodat deze conditie op de juiste manier berekend worden of (als

praktische oplossing) om voor de waarde voor $A_{VS,BBmax}$ een waarde in de inputfile op te geven die zeer beperkt ($0,001 \text{ m}^2$) lager is dan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur.

Bij Case09 wordt opgemerkt dat uit Figuur 81 volgt dat geen waarden voor $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ berekend worden. Bij deze case is in de inputfile de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) toegepast. In dat geval wordt in de inputfile het niveau van de bovenzijde van de breekbalken (parameter Z_{BB}) niet ingelezen, maar wel het niveau van de onderzijde van de opening (parameter Z_{ov} , zie paragraaf 3.2). Hierbij wordt de parameter Z_{BB} vervangen door NaN, waardoor ook $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ gelijk worden aan NaN. Bij de definitie van vul_sluis release 01.51.00 is in het geval de optie 'BREEKB=N' beschouwd wordt, het peil van de bovenzijde van de opening niet meer berekend op basis van de ingelezen waarde van de onderzijde van de opening. Het verdient de aanbeveling om in toekomstige releases van het programma een correcte berekening te implementeren voor $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ in het geval de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) wordt toegepast. Hierbij wordt opgemerkt dat in releases van het programma vul_sluis voorafgaand aan vul_sluis release 01.51.00, bij toepassen van de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) de in de inputfile opgegeven onderzijde van de openingen (door het gebruiken van eenzelfde naamgeving) intern werd ingelezen als variabele Z_{BB} , dewelke later als bovenzijde van de breekbalken/opening werd beschouwd. Hierdoor werden $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ wel berekend, maar zijn deze echter foutief.

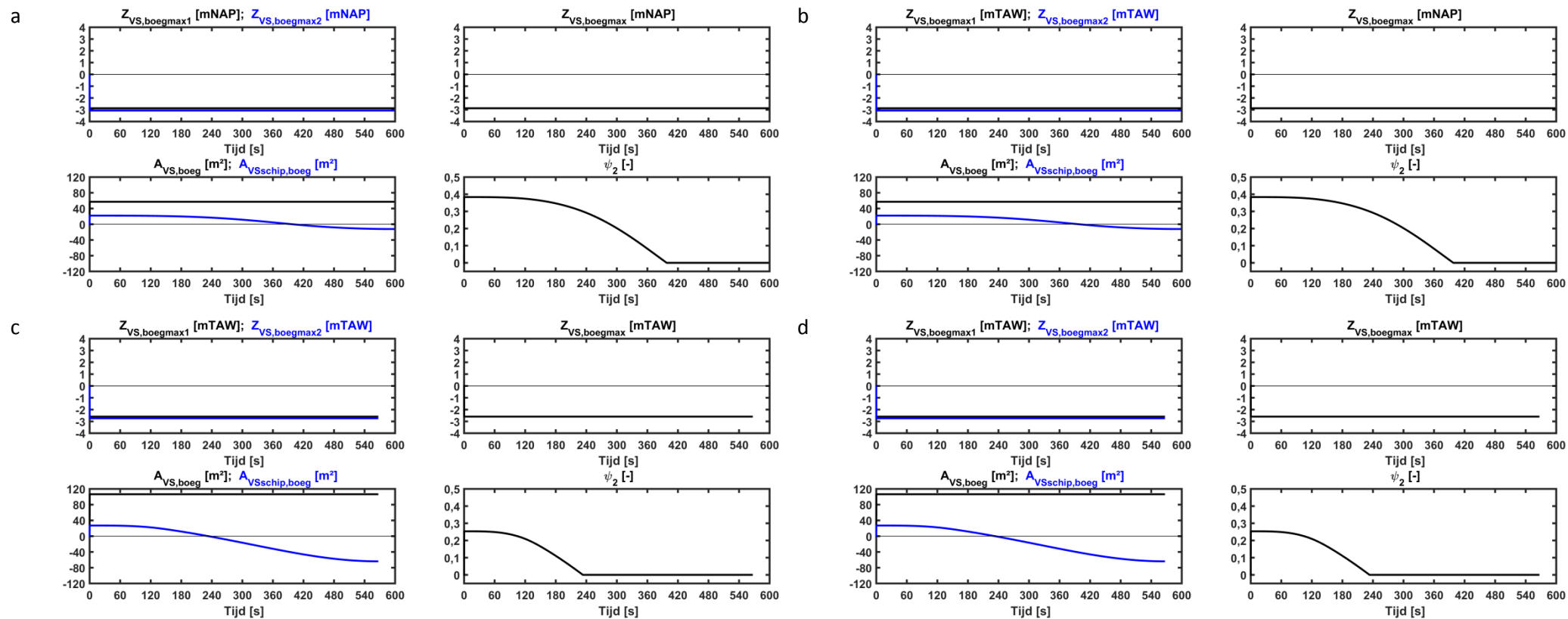
Uit Figuur 81 tot en met Figuur 86 volgt ook nog dat de waarde van parameter ψ_2 , dewelke het percentage van de oppervlakte van de vulstraal aangeeft dat tegen de boeg van het schip komt, gelijk wordt aan nul, indien de straal uit de openingen onder de boeg van het schip onder door gaat ($A_{VS,schipboeg} < 0$). Met uitzondering van enkele lagere waarden, is de waarde van de parameter ψ_2 bij het begin van de nivellering voor de meeste cases gelegen tussen 20 % en 40 %. Enkel bij Case16 is de waarde van de parameter ψ_2 bij het begin van de nivellering gelijk aan 60 %.

Figuur 81 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case01 en Case02



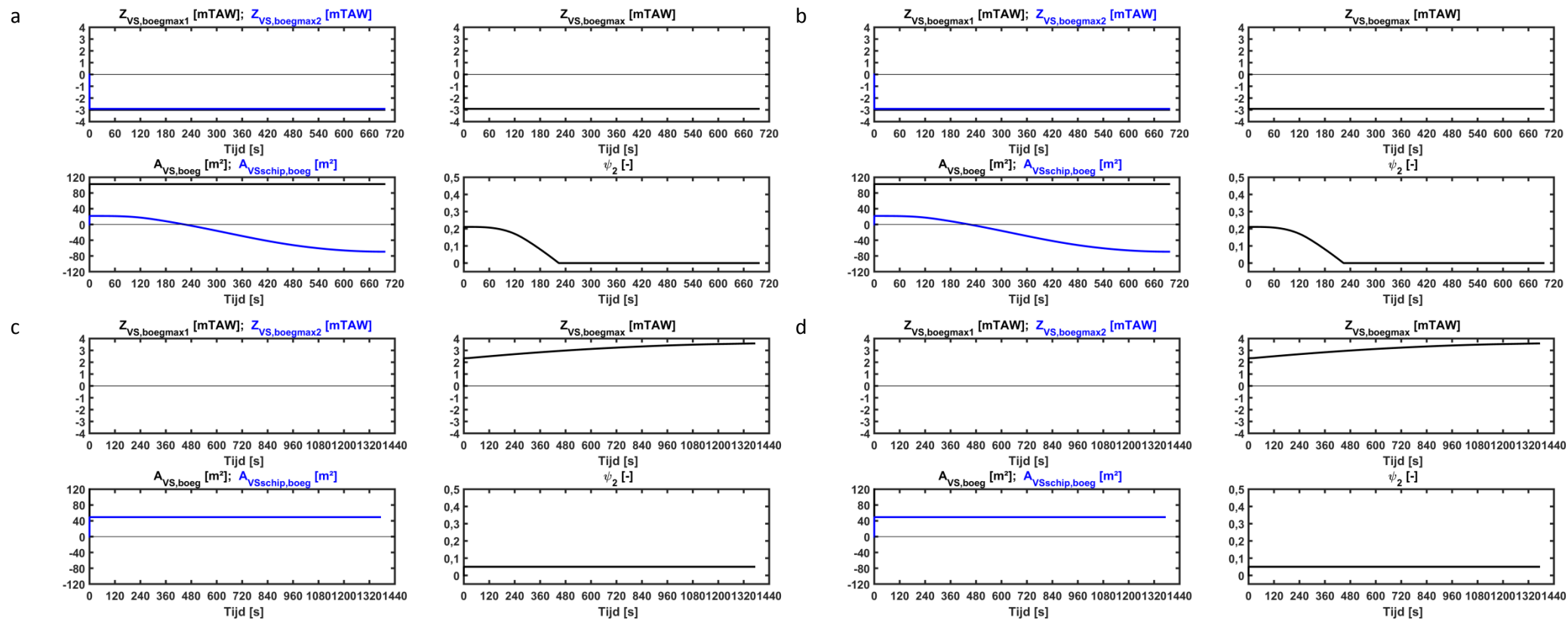
a: Case01 – vul_sluis versie A; b: Case01 – vul_sluis versie B; c: Case02 – vul_sluis versie A; d: Case02 – vul_sluis versie B

Figuur 82 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case04 en Case06



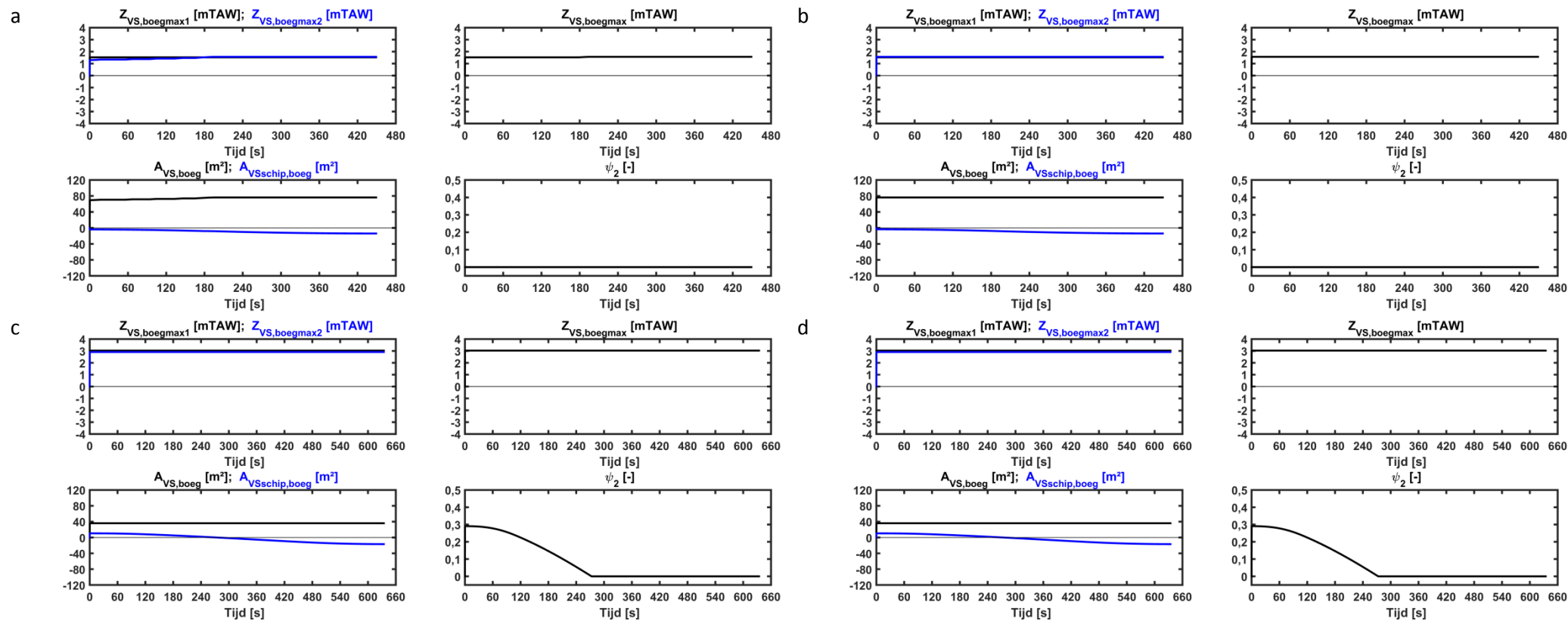
a: Case04 – vul_sluis versie A; b: Case04 – vul_sluis versie B; c: Case06 – vul_sluis versie A; d: Case06 – vul_sluis versie B

Figuur 83 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case07 en Case09



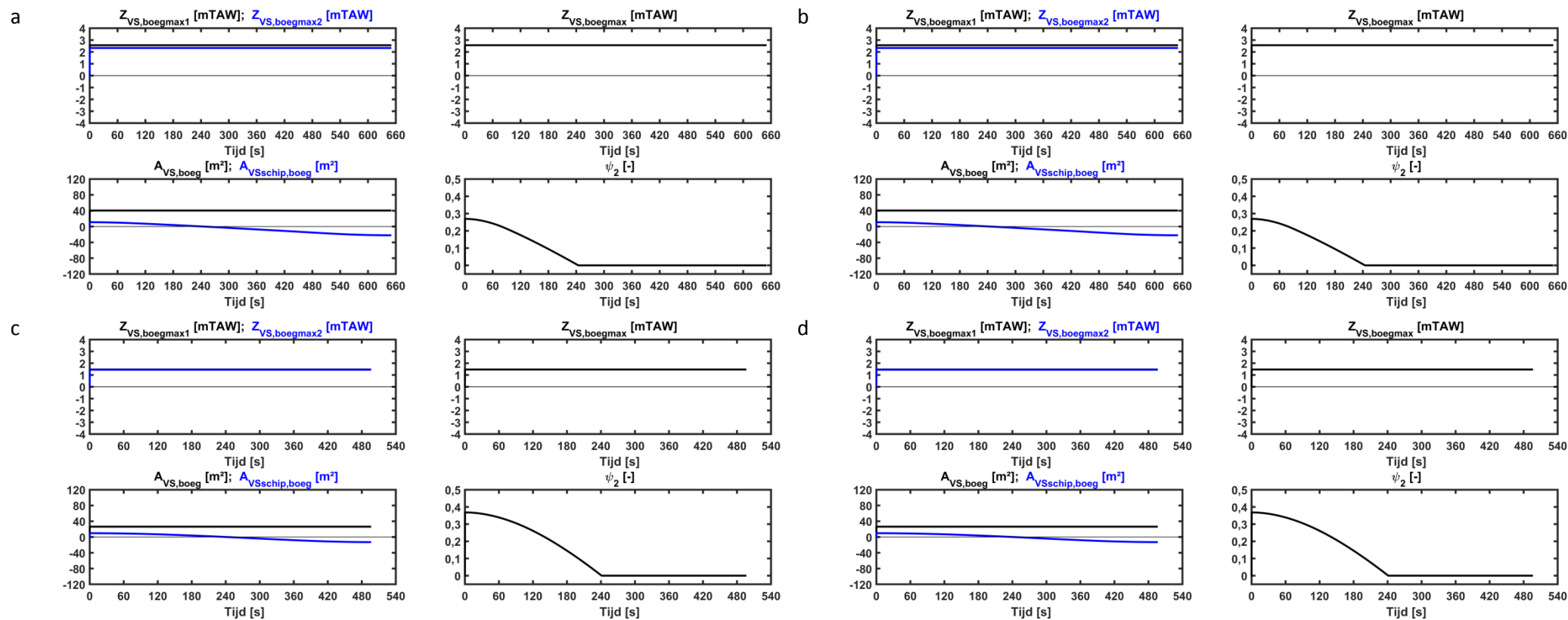
a: Case07 – vul_sluis versie A; b: Case07 – vul_sluis versie B; c: Case09 – vul_sluis versie A; d: Case09 – vul_sluis versie B

Figuur 84 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case10 en Case11



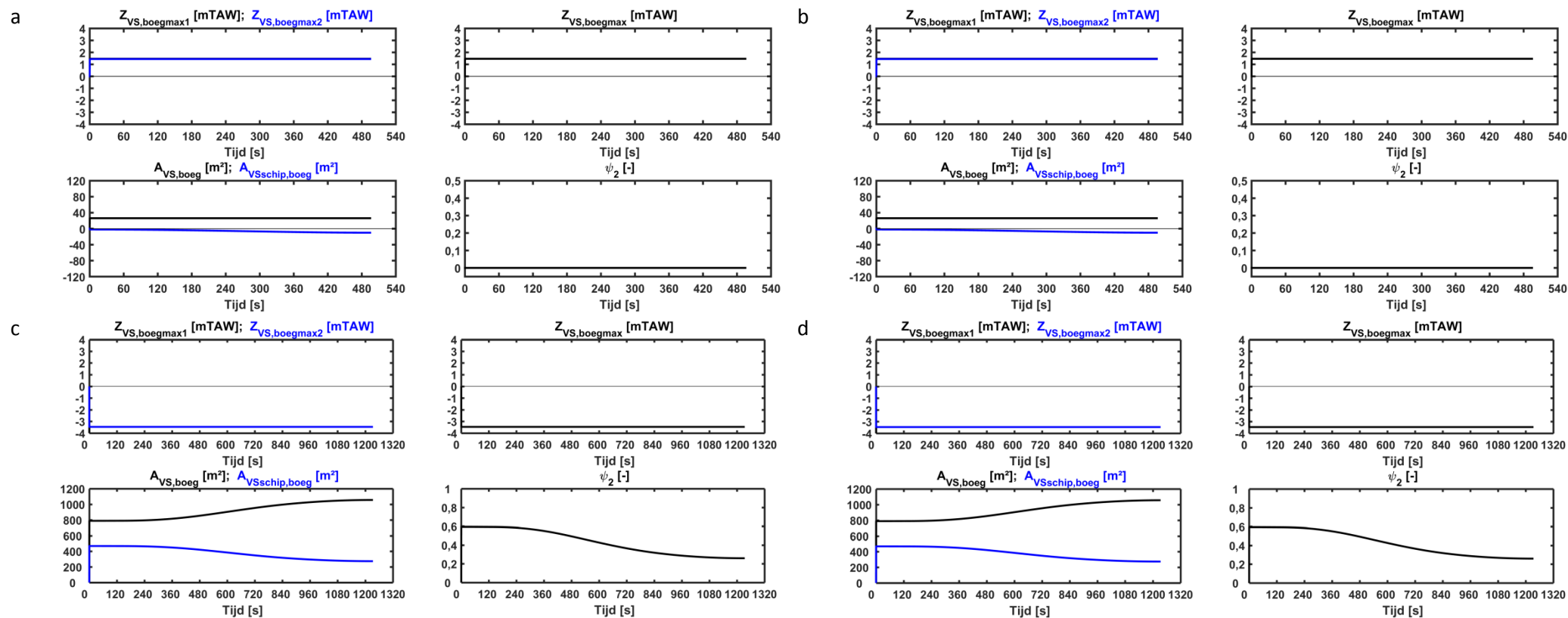
a: Case10 – vul_sluis versie A; b: Case10 – vul_sluis versie B; c: Case11 – vul_sluis versie A; d: Case11 – vul_sluis versie B

Figuur 85 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case12 en Case13



a: Case12 – vul_sluis versie A; b: Case12 – vul_sluis versie B; c: Case13 – vul_sluis versie A; d: Case13 – vul_sluis versie B

Figuur 86 – Variatie interne parameters m.b.t. langskracht vulstraalwerking voor Case15 en Case16



a: Case15 - vul_sluis versie A; b: Case15 - vul_sluis versie B; c: Case16 – vul_sluis versie A; d: Case16 – vul_sluis versie B

6.5 Analyse interne variabelen met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal

Deze paragraaf beschrijft de analyse van de interne variabelen met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraal ter plaatse van de boeg van het schip. De berekening van debiet en impuls in de vulstraal ter plaatse van de boeg van het schip wordt enkel uitgevoerd bij vullen van een sluis. Om die reden wordt de analyse in deze paragraaf niet uitgevoerd voor Case03, Case05, Case08 en Case14, dewelke ledigen van een sluis betreffen.

Voor de 12 cases met betrekking tot het vullen van een sluis is in Figuur 122 tot en met Figuur 132 in Bijlage B de variatie in de tijd voorgesteld van de parameters $h_{VS,m}^n$, h_{VS}^n , $h_{VS,XA}^n$, $h_{VS,XB}^n$, $h_{VS,XC}^n$, $h_{VS,XD}^n$, $X_{VS,B}^n$, $X_{VS,G}^n$, $X_{VS,L}^n$, $X_{VS,R}^n$, $X_{VS,omslagpunt}^n$, $X_{VS,omslagpunt2}^n$, δ_1 , μ , σ , zone, $q_{VS,X}^n$, $U_{VS,X}^n$, $i_{VS,X}^n$, $U_{VS,Xmax}^n$, L_{neer} en $A_{VS,boeg}^n$. De berekeningswijze van deze interne variabelen verschilt tussen versie A en versie B van vul_sluis. Om die reden is in de figuren in Bijlage B telkens de variatie in de tijd van deze interne variabelen grafisch voorgesteld voor beide versies van het programma vul_sluis.

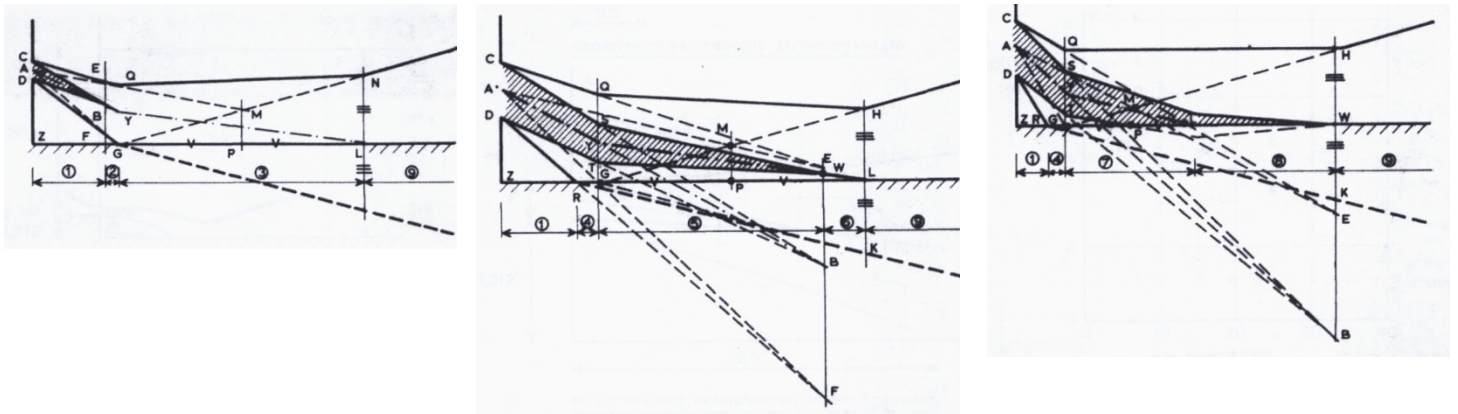
Uit Figuur 122 tot en met Figuur 132 in Bijlage B kunnen volgende algemene vaststellingen geformuleerd worden:

1. Met uitzondering van Case10, is voor alle overige cases zowel in versie A als in versie B van het programma vul_sluis de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal $h_{VS,m}^n$ en de hoogte van de vulstraal h_{VS}^n ter plaatse van de opwaartse deur constant in de tijd. Enkel bij Case10 variëren deze parameters gedurende de periode dat de schuiven geopend worden. In paragraaf 6.4 werd dit reeds opgemerkt en meer in detail beschreven. Voor de verklaring hiervoor wordt bijgevolg verwezen naar paragraaf 6.4.
2. In Verelst *et al.* (2014) worden 9 zones gedefinieerd voor de berekening van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg van het schip. Deze zones zijn nog eens voorgesteld in Figuur 87. In Bijlage 1 is geen grafische voorstelling gemaakt van de zone die gebruikt wordt voor de berekening van het snelheidsprofiel. Uit de resultaten van de simulaties volgt dat deze zone voor alle cases niet varieert in de tijd. Tabel 12 geeft voor alle case een overzicht van de zone, die gebruikt wordt voor de berekening van het snelheidsprofiel. Uit deze tabel volgt dat de meeste cases gebruik maken van de formuleringen voor zone 3. Enkel voor Case11, Case12, Case13 en Case15 worden de formuleringen voor zone 6, 5 en 2 toegepast.

Tabel 12 – Zone voor berekening snelheidsprofiel ter plaatse van boeg schip

	Vul_sluis versie A	Vul_sluis versie B
Case01	3	3
Case02	3	3
Case04	3	3
Case06	3	3
Case07	3	3
Case09	3	3
Case10	3	3
Case11	6	6
Case12	5	5
Case13	2	2
Case15	2	2
Case16	3	3

Figuur 87 – Ontwikkeling van een naar de bodem gerichte straal



Bron: (Vrijburcht *et al.*, 1988)

3. De hoogtes boven de bodem $h_{VS,XB}^n$ en $h_{VS,XC}^n$ zijn, met uitzondering van Case12, voor alle cases aan elkaar gelijk. Dit betekent dat voor al deze cases het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg bestaat uit een volledige Gauss-kromme. In Verelst *et al.* (2016a) wordt bij de definitie van vul_sluis versie A en vul_sluis versie B voor zone 3, zone 6 en zone 9 namelijk een volledige Gauss-kromme verondersteld. Ook in zone 2 vallen de beide hoogtes boven de bodem samen. Enkel bij Case12, waarbij de formuleringen uit zone 5 worden toegepast, wordt in beide versies van het programma vul_sluis een zeer klein verschil berekend tussen de beide hoogtes.
4. De hoogte boven de bodem $h_{VS,XD}^n$ is voor de meeste cases negatief, dit wil zeggen lager gelegen dan de bodem van de sluiscolk. Enkel bij Case13 en Case15 is deze hoogte boven de sluiscolkbodem gelegen.
5. Bij Case16 wordt vòòr $t = 550$ s geen waarde van het omslagpunt berekend. De reden hiervoor is dat voor $t = 550$ s de afstand tussen de boeg van het schip en de sluisdeur groter is dan de lengte van de neer. In die situatie is het debiet in de vulstraal gelijk aan het debiet door de openingen in de sluisdeur en wordt de waarde van het omslagpunt niet berekend.
6. Bij de berekening van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg van het schip wordt het gemiddelde μ (intern in het programma) altijd gelijk gesteld aan $h_{VS,XB}^n$. Dit volgt ook uit de figuren in Bijlage 1. De vraag stelt zich of deze benadering correct is voor Case12, waarbij een verschillende hoogte berekend wordt voor $h_{VS,XB}^n$ en C. De standaarddeviatie σ is voor alle cases bijna gelijk aan de lengteschaal δ_1 . De verklaring hiervoor is het feit dat de standaarddeviatie berekend wordt als

$$\sigma = \frac{\delta_1}{\sqrt{2 \ln(1/0,605)}}, \text{ waarbij } \sqrt{2 \ln(1/0,605)} \approx 1,0025.$$

Voor een meer gedetailleerde analyse met betrekking tot de berekening van debiet en impuls in de vulstraal is voor alle beschouwde cases in Figuur 88 tot en met Figuur 98 de variatie in de tijd voorgesteld van het debiet in de vulstraal, de maximale snelheid in de vulstraal, de snelheid en impuls in de vulstraal berekend ter plaatse van de boeg van het schip. In deze figuren is ook telkens de locatie van de boeg van het schip in vergelijking met de variatie in de tijd van het omslagpunt, de lengte van de neer, de waarde van $12 h_{VS}^n/2$ en de locatie van het omslagpunt berekend aan de hand van de formulering volgens Rajaratnam (zie paragraaf 3.5.2) grafisch voorgesteld. Daarnaast is ook de variatie in de tijd van de verschillende mogelijke formuleringen voor debiet in de vulstraal, de maximale snelheid in de vulstraal, de snelheid en impuls in de vulstraal grafisch voorgesteld. Op deze wijze kan nagegaan worden wanneer een mogelijke abrupte sprong in een bepaalde parameter te wijten is aan een discontinue overgang van één formulering naar een andere formulering. Tabel 13 geeft een overzicht van al deze mogelijke formuleringen zoals ze in vul_sluis zijn geprogrammeerd.

Tabel 13 – Formuleringen voor debiet in de vulstraat, de maximale snelheid in de vulstraat, de snelheid en impuls in de vulstraat

	vul_sluis versie A	vul_sluis versie B
$x \leq 12 \frac{h_{VS}^n}{2}$	$q_1 = q_{VO}^n \left(1 + 0,0321 \frac{X}{h_{VS}^n/2} \right)$ $i_1 = i_{VO}^n = q_{VO}^n \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n}$ $U_{max1} = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n}$ $U_1 = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \frac{1}{1 + 0,0321 \frac{X}{h_{VS}^n/2}}$	$q_1 = q_{VO}^n \left(1 + 0,0321 \frac{X}{h_{VS}^n/2} \right)$ $i_1 = i_{VO}^n = q_{VO}^n \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n}$ $U_{max1} = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n}$ $U_1 = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \frac{1}{1 + 0,0321 \frac{X}{h_{VS}^n/2}}$
$x > 12 \frac{h_{VS}^n}{2}$ & $x < X_{VS,omslagpunt}^n$ & $x < L_{neer}$	$q_2 = q_{VO}^n \left(0,4 \sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}} \right)$ $i_1 = i_{VO}^n = q_{VO}^n \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n}$ $U_1 = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \frac{2,5}{\sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}}$ $U_{max} = NaN^*$	$q_2 = q_{VO}^n \left(0,4 \sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}} \right)$ $i_1 = i_{VO}^n = q_{VO}^n \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n}$ $U_1 = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \frac{2,5}{\sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}}$ $U_{max} = NaN^*$
$x > 12 \frac{h_{VS}^n}{2}$ & $x \geq X_{VS,omslagpunt}^n$ & $x < L_{neer}$	$q_3 = q_{VO}^n \left(2 - \frac{X}{L_{neer}} \right)$ $U_{max2} = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \cdot \frac{f_X^n}{\sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}}$ $U_2 = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_{\max(h_{VS,XD}^n, 0)}^{h_{VS,XA}^n} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y-\mu}{\sigma})^2} dy}{\min(h_{VS,XA}^n - \max(h_{VS,XD}^n, 0), h_K^n)}$ $i_2 = q_3 \cdot U_2$	$q_3 = q_{VO}^n \left(2 - \frac{X}{L_{neer}} \right)$ $U_{max2} = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \cdot \frac{f_X^n}{\sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}}$ $U_2 = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_0^{\min(h_{VS,XA}^n - \max(h_{VS,XD}^n, 0), h_K^n)} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y}{\sigma})^2} dy}{\min(h_{VS,XA}^n - \max(h_{VS,XD}^n, 0), h_K^n)}$ $i_2 = q_3 \cdot U_2$
$x > 12 \frac{h_{VS}^n}{2}$ & $x \geq L_{neer}$	$q_4 = q_{VO}^n$ $U_{max2} = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \cdot \frac{f_X^n}{\sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}}$ $U_3 = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_0^{h_K^n} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y-\mu}{\sigma})^2} dy}{h_K^n}$ $i_2 = q_4 \cdot U_3$	$q_4 = q_{VO}^n$ $U_{max2} = \frac{q_{VO}^n}{h_{VS}^n} \cdot \frac{f_X^n}{\sqrt{\frac{X}{h_{VS}^n/2}}}$ $U_3 = U_{VS,Xmax}^n \cdot \frac{\int_0^{h_K^n} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y}{\sigma})^2} dy}{h_K^n}$ $i_2 = q_4 \cdot U_3$

X [m]: Afstand tussen boeg van het schip en sluisdeur;

q_{VO}^n [m³/s/m]: Debiet (per eenheidsbreedte) door de vulopeningen na n tijdstappen;

i_{VO}^n [m⁴/s²/m]: Impuls (per dichtheid en per eenheidsbreedte) in de vulstraat ter plaatse van de opwaartse sluisdeur;

$h_{VS,XA}^n$ [m]: Hoogte boven de bodem van bovenste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X;

$h_{VS,XD}^n$ [m]: Hoogte boven de bodem van onderste begrenzing van de menglaag ter plaatse van locatie X;

*: In dit geval wordt U_{max} niet berekend. Intern in het programma wordt U_{max} vervangen door NaN (geen waarde).

h_{VS}^n [m]: Hoogte van de vulstraat juist na de opwaartse deur na n tijdstappen;

L_{neer} [m]: Lengte van de neer;

μ [m]: gemiddelde

σ [m]: Standaarddeviatie

h_K^n [m]: Waterhoogte in sluiskolk na n tijdstappen

f_X^n [-]: factor.

Waarde: vul_sluis versie A: 3,5

vul_sluis versie B: wordt (lineair) geïnterpoleerd tussen ($X_{VS,omslagpunt}^n$, 3,5) en (L_{neer} , 2,0)

Bij Tabel 13 wordt opgemerkt dat deze tabel is opgesteld op basis van de code van het programma vul_sluis. Vergelijken van deze tabel met de formuleringen vermeld in Verelst *et al.* (2016a) leert dat in dat rapport volgende onderverdeling toegepast is:

- $X > X_{VS, omslagpunt}^n$,
- $X \leq X_{VS, omslagpunt}^n$ en $X \leq 12 h_{VS}^n / 2$
- $X \leq X_{VS, omslagpunt}^n$ en $X > 12 h_{VS}^n / 2$
- $X > L_{neer}$.

Deze onderverdeling komt niet overeen met de opdeling in zones zoals het in de code van vul_sluis is geprogrammeerd. De volgorde van de vermelde onderverdeling is ook niet helemaal correct. Indien $X > L_{neer}$ geldt namelijk ook dat $X > X_{VS, omslagpunt}^n$. De in Verelst *et al.* (2016a) vermelde formuleringen voor de berekening van debiet en impuls in de vulstraal zijn wel zoals deze in de code geïmplementeerd zijn.

In paragraaf 5.5 is de invloed onderzocht van de aanpassing van de integratiegrenzen bij de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg. Dit is enkel uitgevoerd in vul_sluis versie B. Uit paragraaf 5.5 volgt dat ten gevolge van deze aanpassing van de integratiegrenzen bij Case01, Case02 en Case04 een sprong wordt geïntroduceerd in de berekende langskracht. Om te onderzoeken hoe deze sprong ontstaat zijn ook volgende formuleringen (uit paragraaf 3.5.4) voor de integratie van het snelheidsprofiel uit vul_sluis versie B grafisch voorgesteld in de figuren:

1. $X > 12 h_{VS}^n / 2$ & $X \geq X_{VS, omslagpunt}^n$ & $X < L_{neer}$

$$U_4 = U_{VS, Xmax}^n \cdot \frac{\int_{\max(h_{VS, XD, 0}^n - \mu, 0)}^{h_{VS, XA}^n - \mu} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y}{\sigma})^2} dy}{\min(h_{VS, XA}^n - \max(h_{VS, XD, 0}^n, 0), h_K^n)}$$

2. $X > 12 h_{VS}^n / 2$ & $X \geq L_{neer}$

$$U_5 = U_{VS, Xmax}^n \cdot \frac{\int_{0 - \mu}^{h_K^n - \mu} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y}{\sigma})^2} dy}{h_K^n}$$

Uit de grafische voorstelling van de locatie van de boeg van het schip in vergelijking met de variatie in de tijd van het omslagpunt, de lengte van de neer, de waarde van $12 h_{VS}^n / 2$ en de locatie van het omslagpunt berekend aan de hand van de formulering volgens Rajaratnam volgt dat de lengte van de neer altijd beduidend groter is dan de afstand tussen het omslagpunt en de sluisdeur. De afstand tussen de boeg van het schip en de sluisdeur is voor alle cases, met uitzondering van Case16, kleiner dan de lengte van de neer. Bij Case16 is bij het begin van de nivellering de afstand tussen de boeg van het schip en de sluisdeur groter dan de lengte van de neer. Na $t = 550$ s wordt deze afstand voor deze case kleiner dan de lengte van de neer. Bij Case01, Case02 en Case04 is afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur in het begin van de nivellering groter dan de afstand tussen het omslagpunt en de sluisdeur. Rond het tijdstip van maximaal debiet, wordt deze afstand kleiner dan de afstand tussen het omslagpunt en de sluisdeur. Op het tijdstip dat deze omslag plaatsvindt, doet zich ook de sprong voor in de snelheid en impuls in de vulstraal berekend met vul_sluis versie A. In versie B doet deze sprong zich niet voor. In de variatie in de tijd van het debiet in de vulstraal doet deze sprong zich ook niet voor, aangezien de locatie van het omslagpunt zo gedefinieerd is dat een vloeiende overgang in de beide formuleringen voor het debiet in de vulstraal ontstaat (zie ook paragraaf 3.5.2). Het berekenen van de locatie van het omslagpunt aan de hand van de formulering volgens Rajaratnam zorgt voor hogere waarden van het de locatie van het omslagpunt en zal ook enkel bij Case01, Case02 en Case04 zorgen voor het toepassen van andere formuleringen voor debiet, snelheid en impuls in de vulstraal.

Bij Tabel 13 wordt opgemerkt dat voor $X < 12 h_{VS}^n/2$ voor de beide versies van vul_sluis slechts één reeks formuleringen zijn vermeld. Hierbij wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen $X < X_{VS,omslagpunt}^n$ en $X > X_{VS,omslagpunt}^n$. Voor alle beschouwde cases is de afstand tussen de boeg van het schip en de sluisdeur groter dan $12 h_{VS}^n/2$. Echter bij Case01, Case02 en Case04 volgt uit de grafische voorstellingen dat de afstand tussen boeg van het schip en de sluisdeur theoretisch kleiner kan zijn dan $12 h_{VS}^n/2$, maar toch nog groter dan het omslagpunt. Bij deze conditie dient de snelheid in de vulstraal ook berekend te worden aan de hand van de integraal van het snelheidsprofiel. Het snelheidsprofiel in deze zone bestaat uit een middendeel (tussen $h_{VS,Xb}^n$ en $h_{VS,Xc}^n$) met constante snelheid en onderaan en bovenaan een halve Gauss-kromme. Het is aanbevolen om in een toekomstige versie van het programma vul_sluis de formuleringen voor dit snelheidsprofiel af te leiden en bijgevolg ook twee reeksen formuleringen te implementeren voor $X < 12 h_{VS}^n/2$. Hierbij moet in eerste instantie rekening gehouden worden met de fysica van de vulstraal en moet ook nagegaan worden of deze implementatie geen aanleiding geeft tot het ontstaan van nieuwe sprongen in de variatie in de tijd van snelheid en impuls in de vulstraal.

Uit de figuren voor Case01, Case02 en Case04 volgt dat de sprong in de impuls in de vulstraal berekend met vul_sluis versie A ontstaat doordat ter plaatse van het omslagpunt de snelheid in de vulstraal berekend uit integratie van het snelheidsprofiel beduidend groter is dan de snelheid in de vulstraal berekend met formulering U_1 . Dit is niet het geval bij vul_sluis versie B. Na aanpassing van de integratiegrenzen in vul_sluis versie B (zie paragraaf 5.5) ontstaat bij deze cases ook een sprong in de impuls in de vulstraal. Deze sprong ontstaat doordat de snelheid in de vulstraal berekend aan de hand van formulering U_4 beduidend hoger is dan deze berekend met formulering U_2 uit vul_sluis versie B. In feite wordt met formulering U_4 uit vul_sluis versie B een even grote snelheid in de vulstraal berekend als met formulering U_2 uit vul_sluis versie A. Op deze wijze wordt dezelfde sprong geïntroduceerd als in vul_sluis versie A.

In Tabel 14 wordt voor elke beschouwde case voor twee tijdstippen tijdens de nivellering een overzicht gegeven van de ondergrenzen en de bovengrenzen die toegepast worden bij formulering U_2 in vul_sluis versie A en bij formuleringen U_2 en U_4 in vul_sluis versie B. Enerzijds is de waarde van de ondergrens en bovengrens bij de integratie van het snelheidsprofiel berekend aan het einde van de nivellering. Bij Case01, Case02 en Case04 wordt de integratie van het snelheidsprofiel niet uitgevoerd aan het einde van de nivellering, maar wordt formulering U_1 beschouwd. Om die reden is ook een tijdstip bij het begin van de nivellering ($t = 150$ s) beschouwd. Dit tijdstip bevindt zich enerzijds voor het tijdstip waarvoor bij Case01, Case02 en Case04 overgegaan wordt van formulering U_2 naar formulering U_1 , waarbij zich de sprong in variatie in de tijd van het debiet en impuls in de vulstraal zich voordoet. Anderzijds bevindt dit tijdstip zich bij Case10 ook in het gedeelte waarin $12 h_{VS}^n/2$ en $X_{VS,omslagpunt}^n$ niet constant zijn in de tijd.

Tabel 14 – Vergelijking ondergrenzen en bovengrenzen voor integratie van het snelheidsprofiel

				Case nr.											
				01	02	04	06	07	09	10	11	12	13	15	16
t = 150 s	vul_sluis versie A	$h_{VS,Xa}^n$	[m]	3,58	4,38	3,58	4,85	4,66	17,29	2,96	2,88	2,53	2,85	2,85	19,79
		$h_{VS,Xd}^n$	[m]	-0,18	-0,62	-0,18	-0,16	-0,34	-10,21	-0,79	-0,62	-0,96	0,35	0,35	-5,22
		h_K^n	[m]	4,17	6,22	3,8	5,88	5,82	17,74	5,48	5,04	4,67	4,67	4,67	14,35
		μ	[m]	1,70	1,88	1,70	2,35	2,16	3,54	1,08	1,13	-	1,60	1,60	7,29
		min2	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,35	0,35	0,00
		max2	[m]	3,58	4,38	3,58	4,85	4,66	17,29	2,96	2,88	-	2,85	2,85	19,79
		min3	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
		max3	[m]	4,17	6,22	3,8	5,88	5,82	17,74	5,48	5,04	-	4,67	4,67	14,35
	vul_sluis versie B	$h_{VS,Xa}^n$	[m]	3,58	4,38	3,58	4,85	4,66	17,29	3,05	2,88	2,53	2,85	2,85	19,79
		$h_{VS,Xd}^n$	[m]	-0,18	-0,62	-0,18	-0,16	-0,34	-10,21	-0,7	-0,62	-0,96	0,35	0,35	-5,22
		h_K^n	[m]	4,17	6,22	3,8	5,88	5,82	17,74	5,48	5,04	4,67	4,67	4,67	14,35
		μ	[m]	1,70	1,88	1,70	2,35	2,16	3,54	1,18	1,13	-	1,60	1,60	7,29
		min2	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
		max2	[m]	3,58	4,38	3,58	4,85	4,66	17,29	3,05	2,88	-	2,5	2,5	14,35
		min3	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
		max3	[m]	4,17	6,22	3,8	5,88	5,82	17,74	5,48	5,04	-	4,67	4,67	14,35
		min4	[m]	-1,70	-1,88	-1,70	-2,35	-2,16	-3,54	-1,18	-1,13	-	-1,25	-1,25	-7,29
		max4	[m]	1,88	2,5	1,88	2,5	2,5	13,75	1,88	1,75	-	1,25	1,25	12,5
		min5	[m]	-1,70	-1,88	-1,70	-2,35	-2,16	-3,54	-1,18	-1,13	-	-1,60	-1,6	-7,29
		max5	[m]	2,47	4,34	2,10	3,53	3,66	14,20	4,30	3,91	-	3,07	3,07	7,06
t = einde nivelleren	vul_sluis versie A	$h_{VS,Xa}^n$	[m]	3,58	4,38	3,58	4,85	4,66	17,29	3,05	2,88	2,53	2,85	2,85	19,79
		$h_{VS,Xd}^n$	[m]	-0,18	-0,62	-0,18	-0,16	-0,34	-10,21	-0,70	-0,62	-0,96	0,35	0,35	-5,22
		h_K^n	[m]	6,7	10,73	6,7	10,73	10,73	18,77	6,27	7,1	7,09	6,61	6,61	19,19
		μ	[m]	-	-	-	2,35	2,16	3,54	1,18	1,13	-	1,6	1,6	7,29
		min2	[m]	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,35	0,35	0,00
		max2	[m]	-	-	-	4,85	4,66	17,29	3,05	2,88	-	2,85	2,85	19,79
		min3	[m]	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		max3	[m]	6,7	10,73	6,7	10,73	10,73	18,77	6,27	7,1	7,09	6,61	6,61	19,19
	vul_sluis versie B	$h_{VS,Xa}^n$	[m]	3,58	4,38	3,58	4,85	4,66	17,29	3,05	2,88	2,53	2,85	2,85	19,79
		$h_{VS,Xd}^n$	[m]	-0,18	-0,62	-0,18	-0,16	-0,34	-10,21	-0,70	-0,62	-0,96	0,35	0,35	-5,22
		h_K^n	[m]	6,7	10,73	6,7	10,73	10,73	18,77	6,27	7,1	7,09	6,61	6,61	19,19
		μ	[m]	-	-	-	2,35	2,16	3,54	1,18	1,13	-	1,6	1,6	7,29
		min2	[m]	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
		max2	[m]	-	-	-	4,85	4,66	17,29	3,05	2,88	-	2,50	2,50	19,19
		min3	[m]	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
		max3	[m]	-	-	-	10,73	10,73	18,77	6,27	7,1	-	6,61	6,61	19,19
		min4	[m]	-	-	-	-2,35	-2,16	-3,54	-1,18	-1,13	-	-1,25	-1,25	-7,29
		max4	[m]	-	-	-	2,50	2,50	13,75	1,88	1,75	-	1,25	1,25	12,50
		min5	[m]	-	-	-	-2,35	-2,16	-3,54	-1,18	-1,13	-	-1,25	-1,25	-7,29
		max5	[m]	-	-	-	8,38	8,57	15,23	5,09	5,97	-	5,01	5,01	11,90

- = integratie snelheidsprofiel wordt niet uitgevoerd

minX = ondergrens bij integratie snelheidsprofiel volgens formulering U_x ;maxX = bovengrens bij integratie snelheidsprofiel volgens formulering U_x

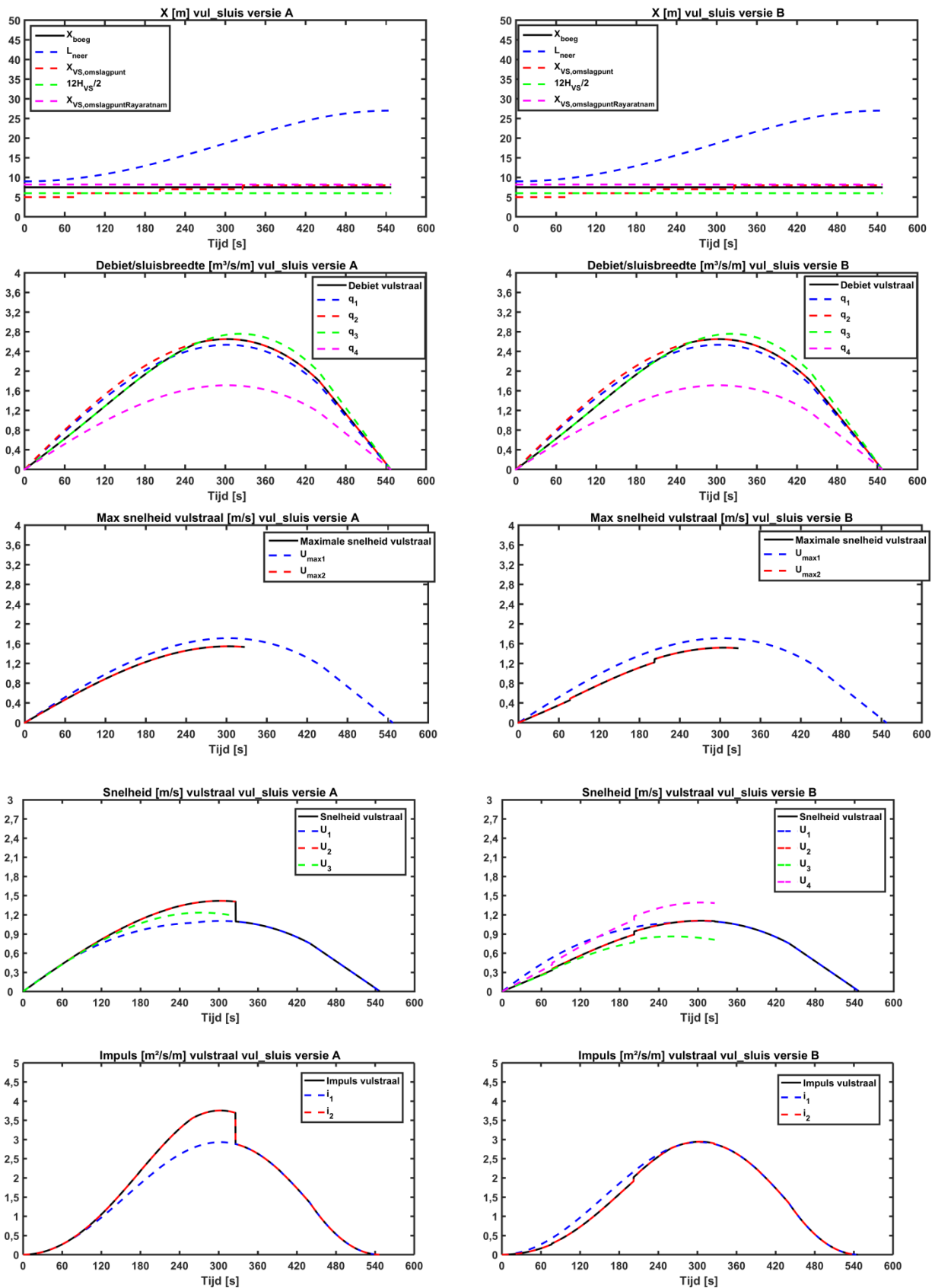
Bij Case01, Case02, Case04, Case06 en Case07 worden met vul_sluis versie B een aantal kleine sprongen waargenomen bij de maximale snelheid en de snelheid in de vulstraal. Bij Case07 is deze sprong echter heel klein, waardoor deze visueel bijna niet merkbaar meer is in de grafische voorstelling. Deze sprongen doen zich voor op dezelfde tijdstippen als de sprongen in de variatie in de tijd van het omslagpunt. Deze sprongen ontstaan doordat de factor f_X^n in de formulering voor $U_{\max 2}$ in vul_sluis versie B (lineair) geïnterpoleerd wordt tussen de waarde 3,5 ter plaatse van het omslagpunt en 2,0 ter plaatse van het einde van de neer. Door de berekening van het omslagpunt gebruik makend van een stapgrootte van 1,0 m, ontstaan ook sprongen met een grootte van 1,0 m in de variatie in de tijd van het omslagpunt. Deze (relatief grote) sprongen zorgen voor sprongen in de variatie in de tijd van de factor f_X^n na de interpolatie en bijgevolg in (kleine) sprongen in de maximale snelheid en de snelheid in de vulstraal. Het verkleinen van de stapgrootte zal ervoor zorgen dat deze sprongen kleiner worden en (visueel) niet meer merkbaar zijn. In paragraaf 5.3 was reeds vastgesteld dat het toepassen van een kleinere stapgrootte bij de berekening van het omslagpunt voor Case01, Case02, Case04 en Case06 aanleiding geeft tot afwezigheid van de sprongen in de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis versie B.

Bij alle andere cases worden ook dezelfde formuleringen toegepast voor de berekening van de maximale snelheid en de snelheid in de vulstraal. Bij deze cases echter is ofwel de variatie in de tijd van het omslagpunt constant in de tijd ofwel is het verschil tussen het omslagpunt en de lengte van de neer groter, waardoor de sprongen in de variatie in de tijd van het omslagpunt minder doorwegen in de interpolatie en minder duidelijk merkbaar zijn in de grafische voorstellingen.

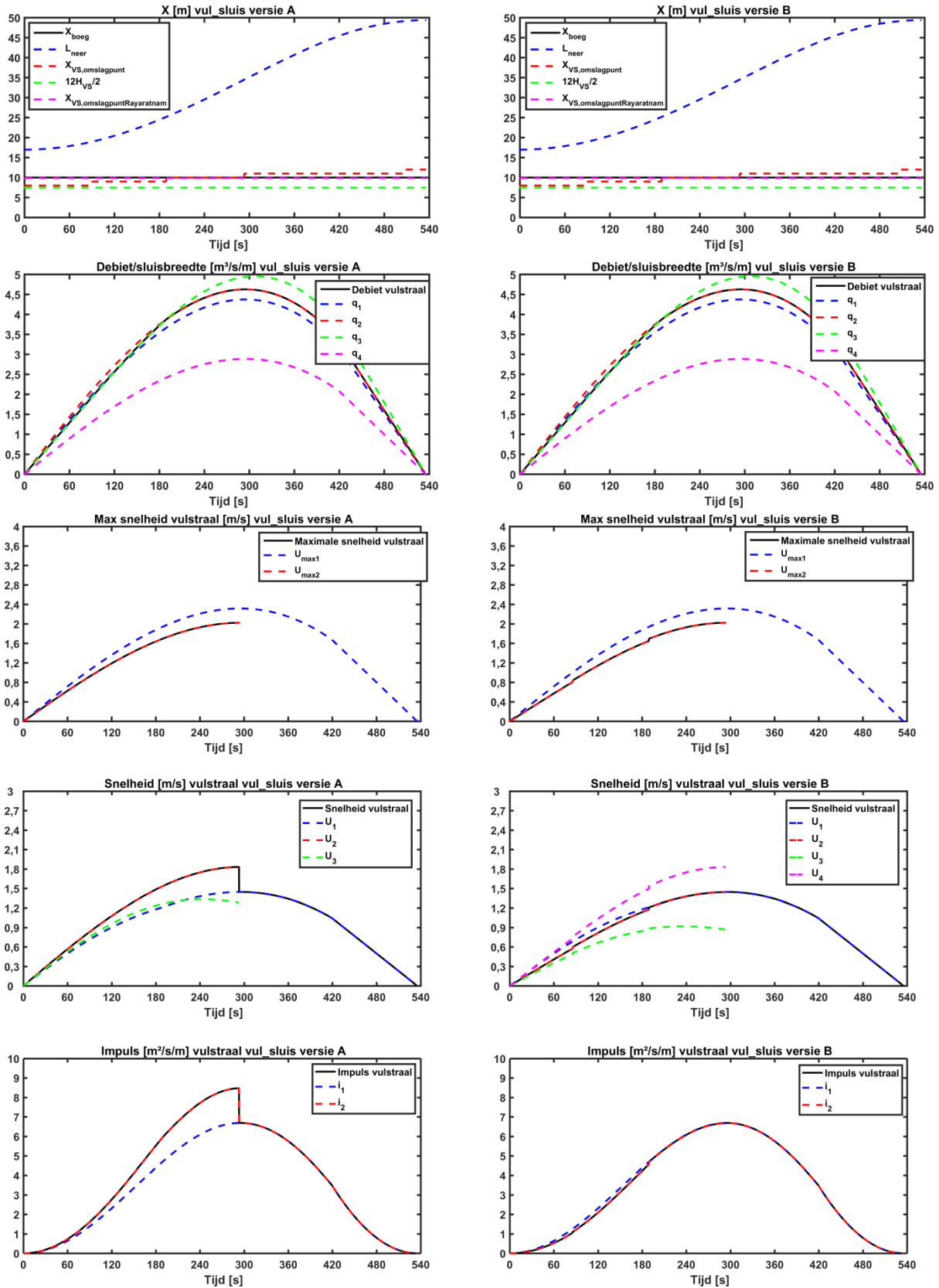
Dit verklaart ook het ontstaan en verdwijnen van de sprongen in de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname bij aanpassing van de constante C1 (zie paragraaf 5.7).

Bij Case13 en Case15 werd vastgesteld dat dit de enige cases zijn waarbij $h_{VS,XD}^n$ (de onderzijde van de vulstraal ter plaatse van de boeg) boven de sluiscolkbodem gelegen is, terwijl dit punt voor alle andere cases lager gelegen is dan de sluiscolkbodem. In paragraaf 6.4 werd reeds opgemerkt dat voor deze cases de parameters h_{VS}^n en h_{VSm}^n constant zijn in de tijd, maar dat deze eigenlijk zoals bij Case10 tijdens het openen van de schuiven niet-constant zouden mogen zijn. Hierbij stelt zich de vraag of bij een niet-constante variatie in de tijd van h_{VS}^n en h_{VSm}^n en bijgevolg ook van $h_{VS,XD}^n$, de waarde van $h_{VS,XD}^n$ niet negatief kan worden. Indien de waarde van $h_{VS,XD}^n$ eerst negatief is en dan positief wordt, stelt zich de vraag wat de invloed hiervan is op de berekende snelheid in de vulstraal ter plaatse van de boeg van het schip.

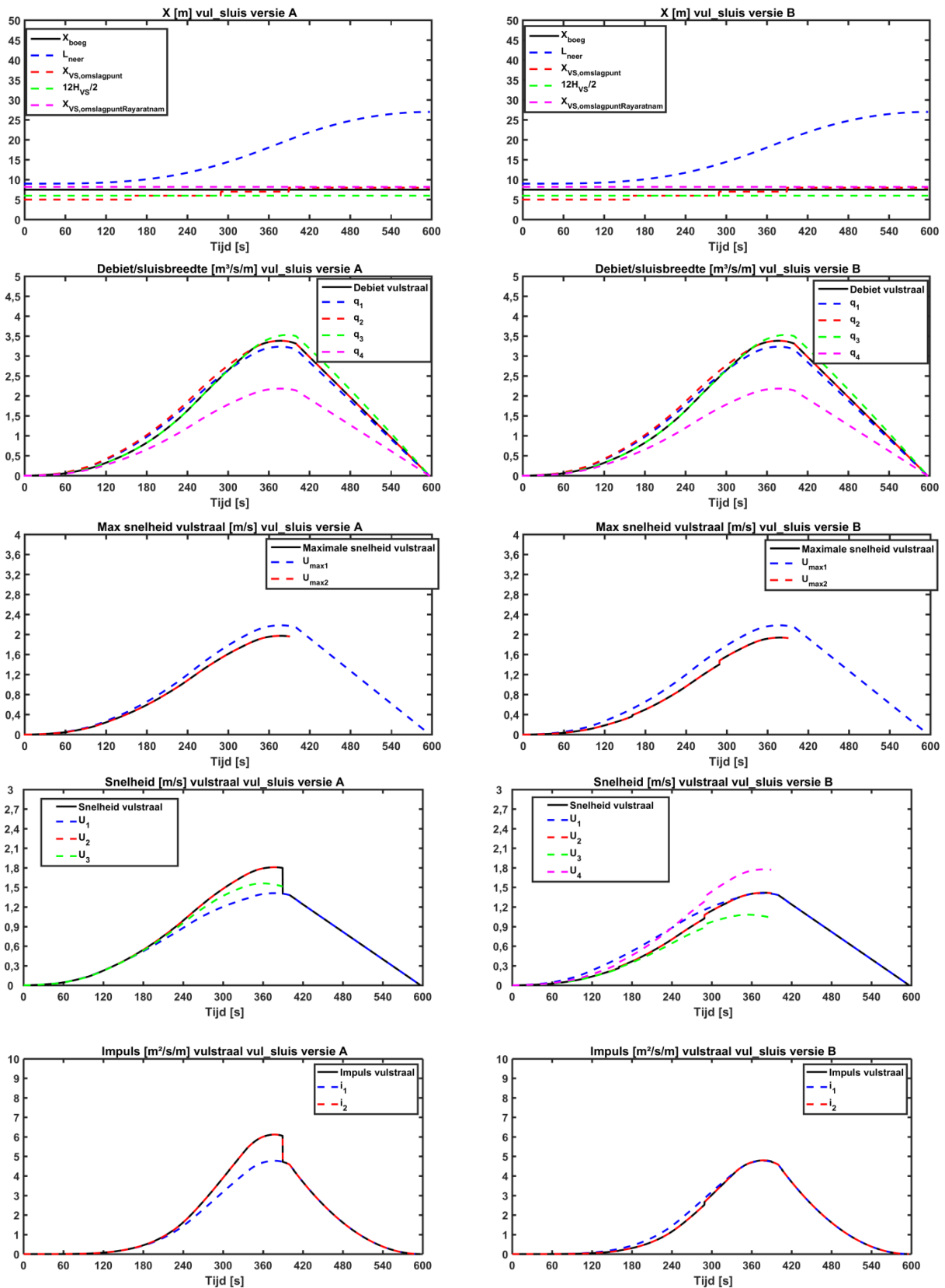
Figuur 88 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case01



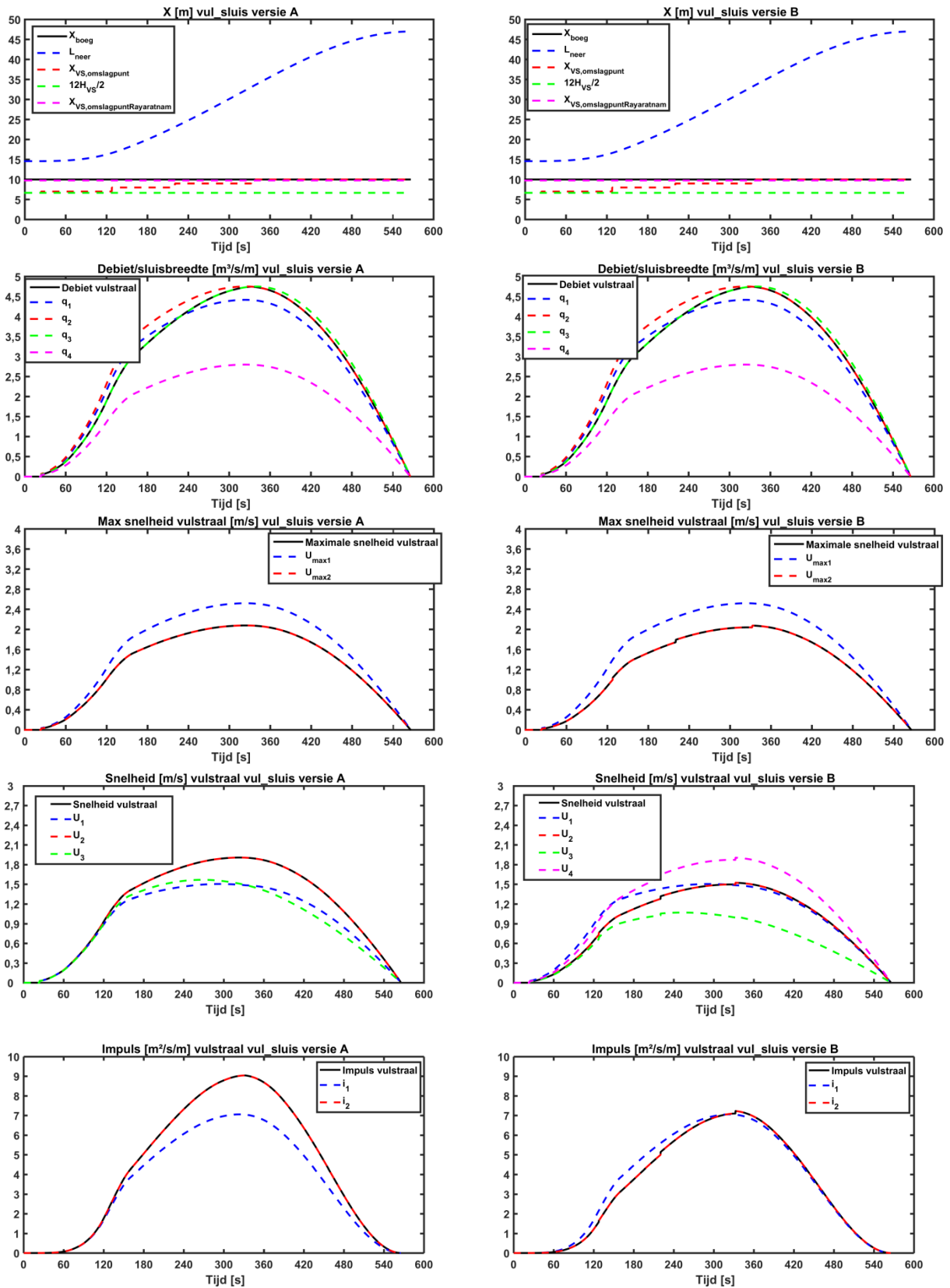
Figuur 89 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case02



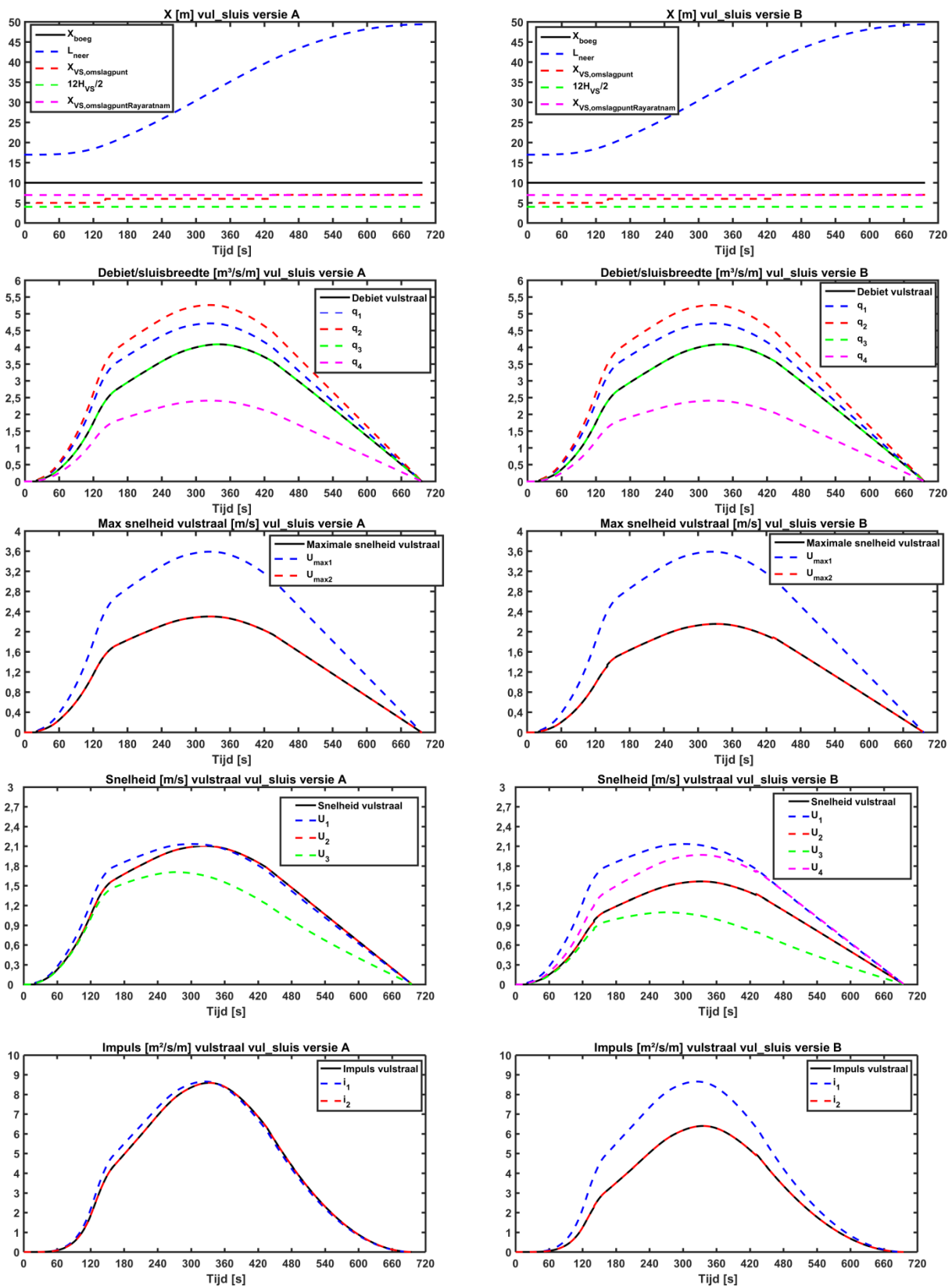
Figuur 90 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case04



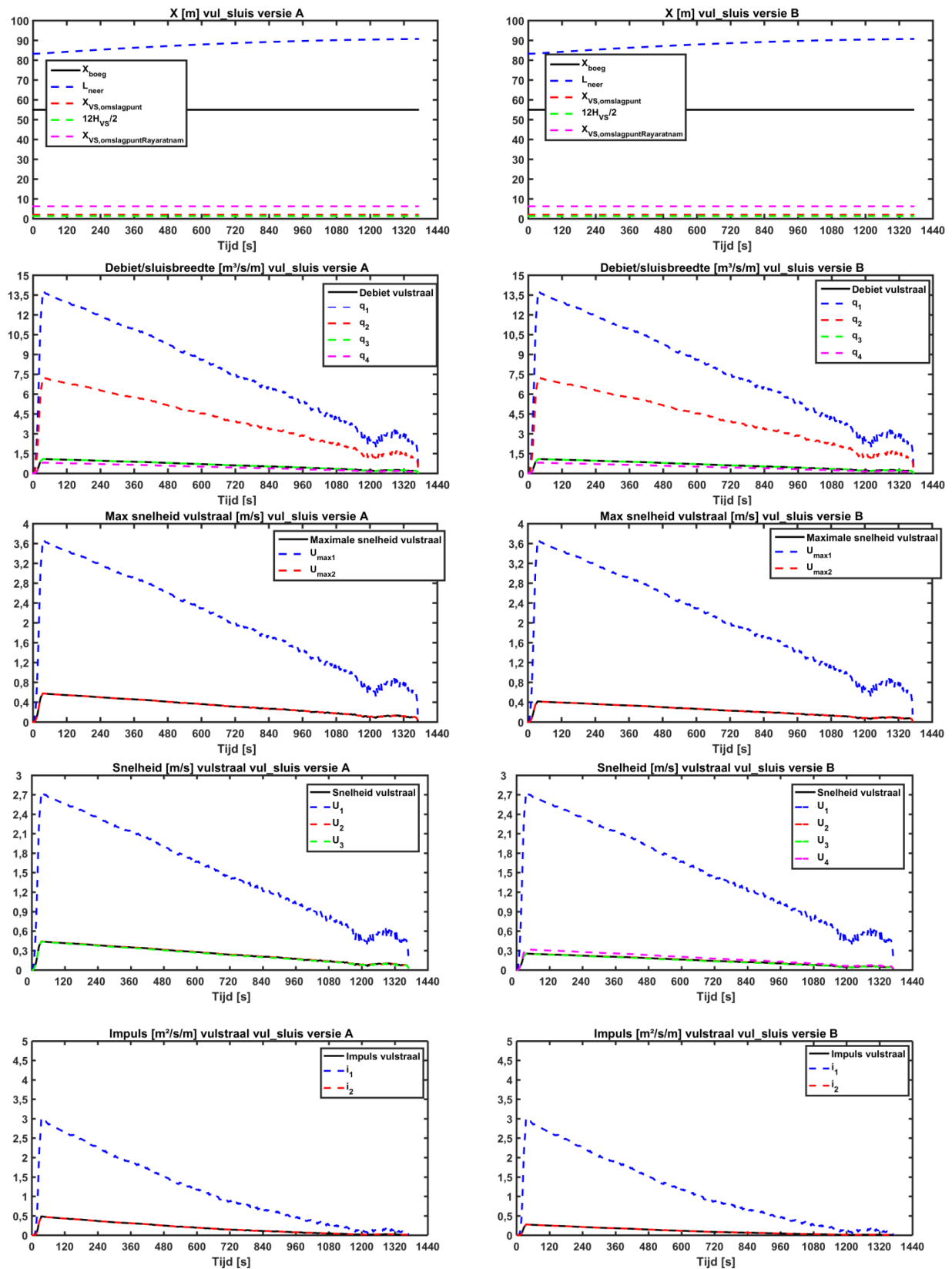
Figuur 91 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraat voor Case06



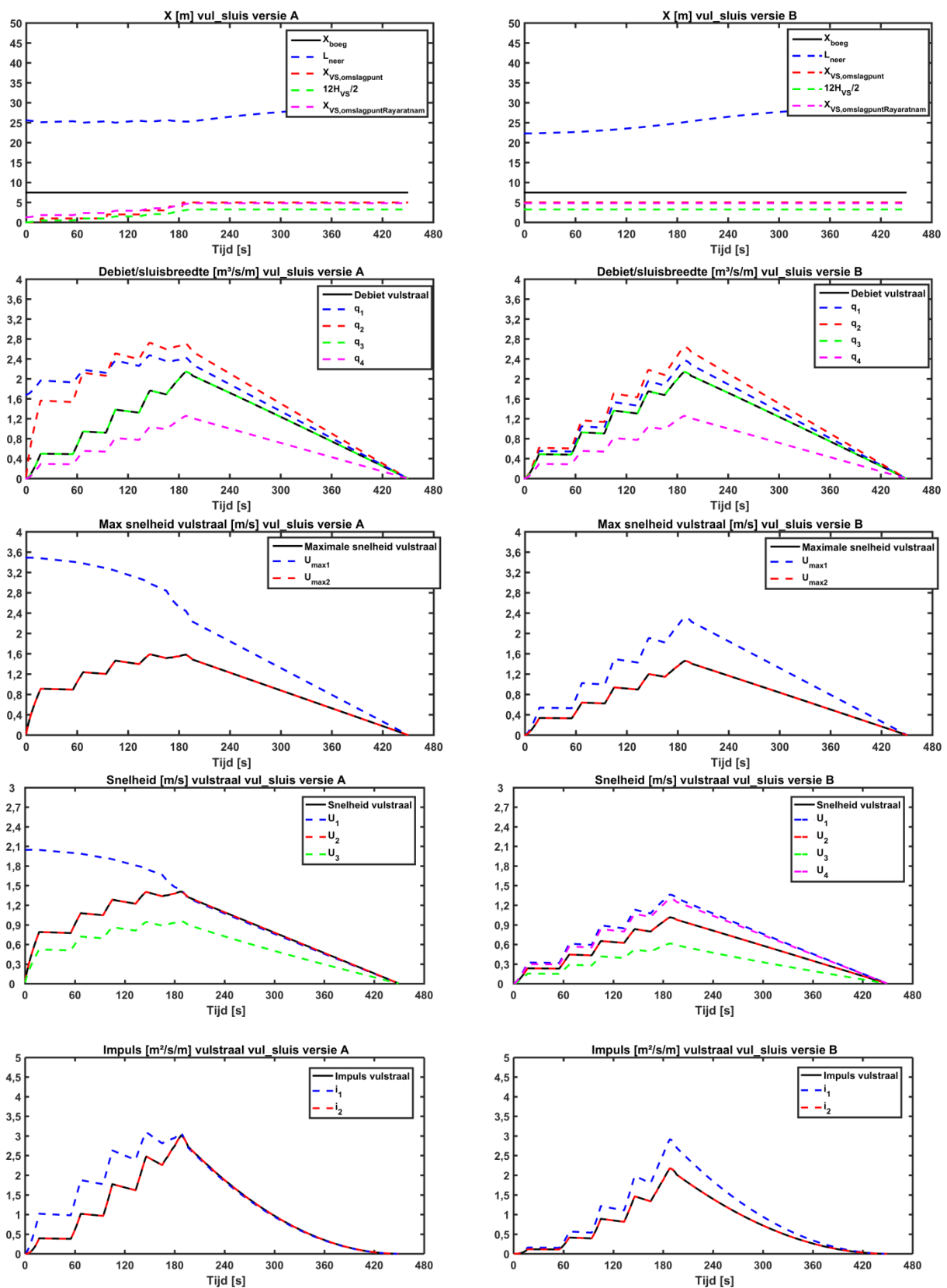
Figuur 92 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case07



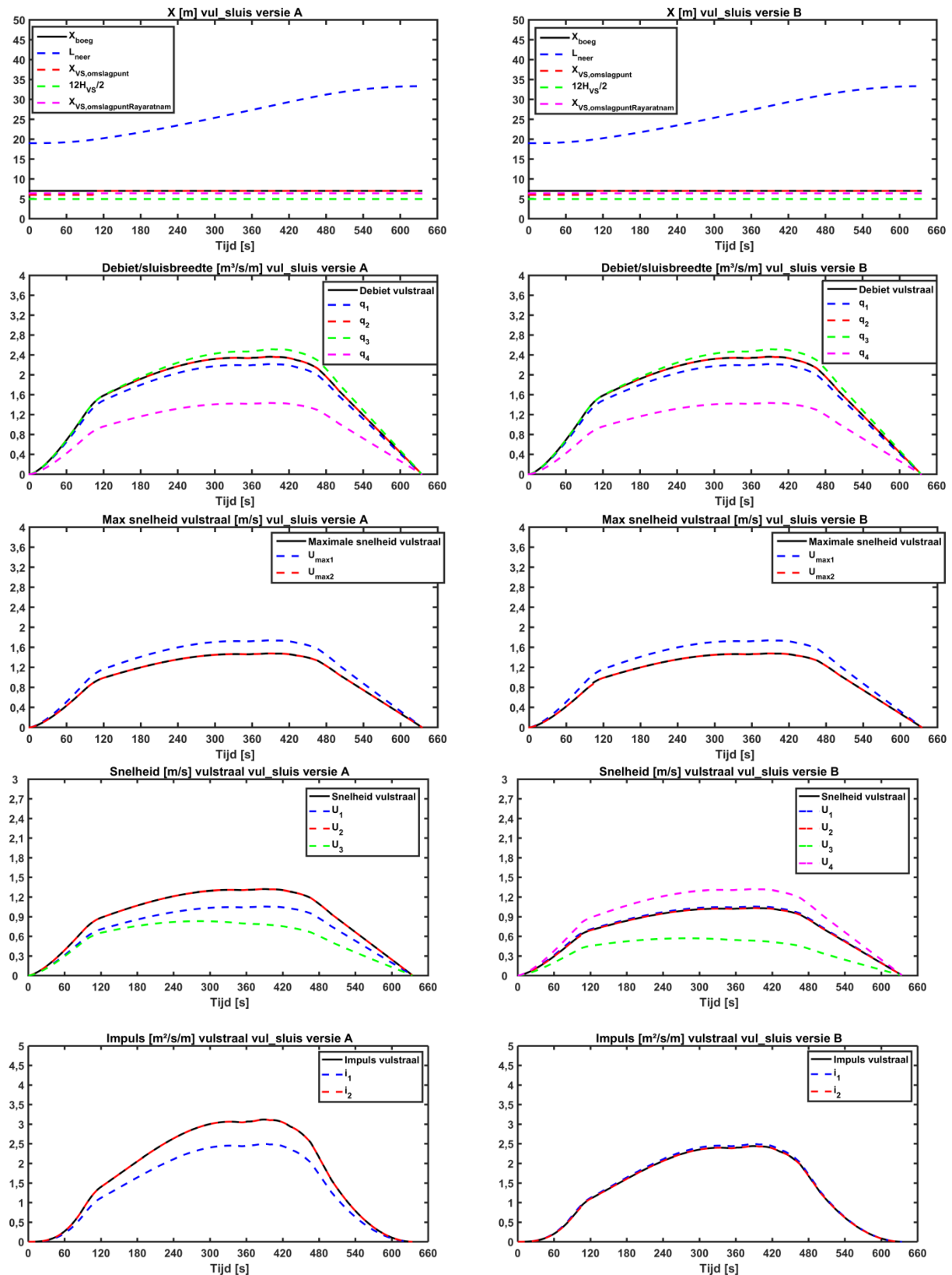
Figuur 93 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case09



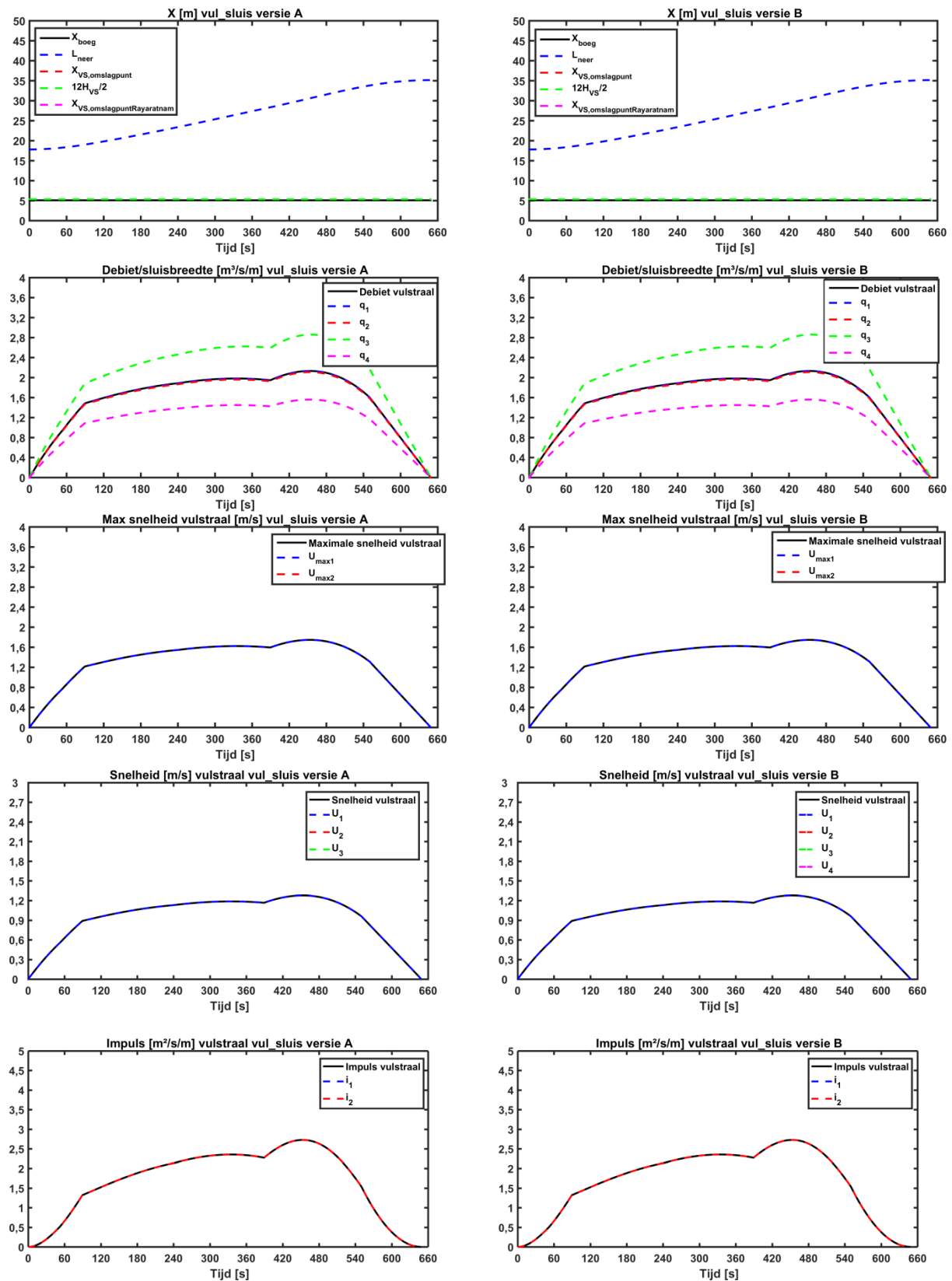
Figuur 94 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case10



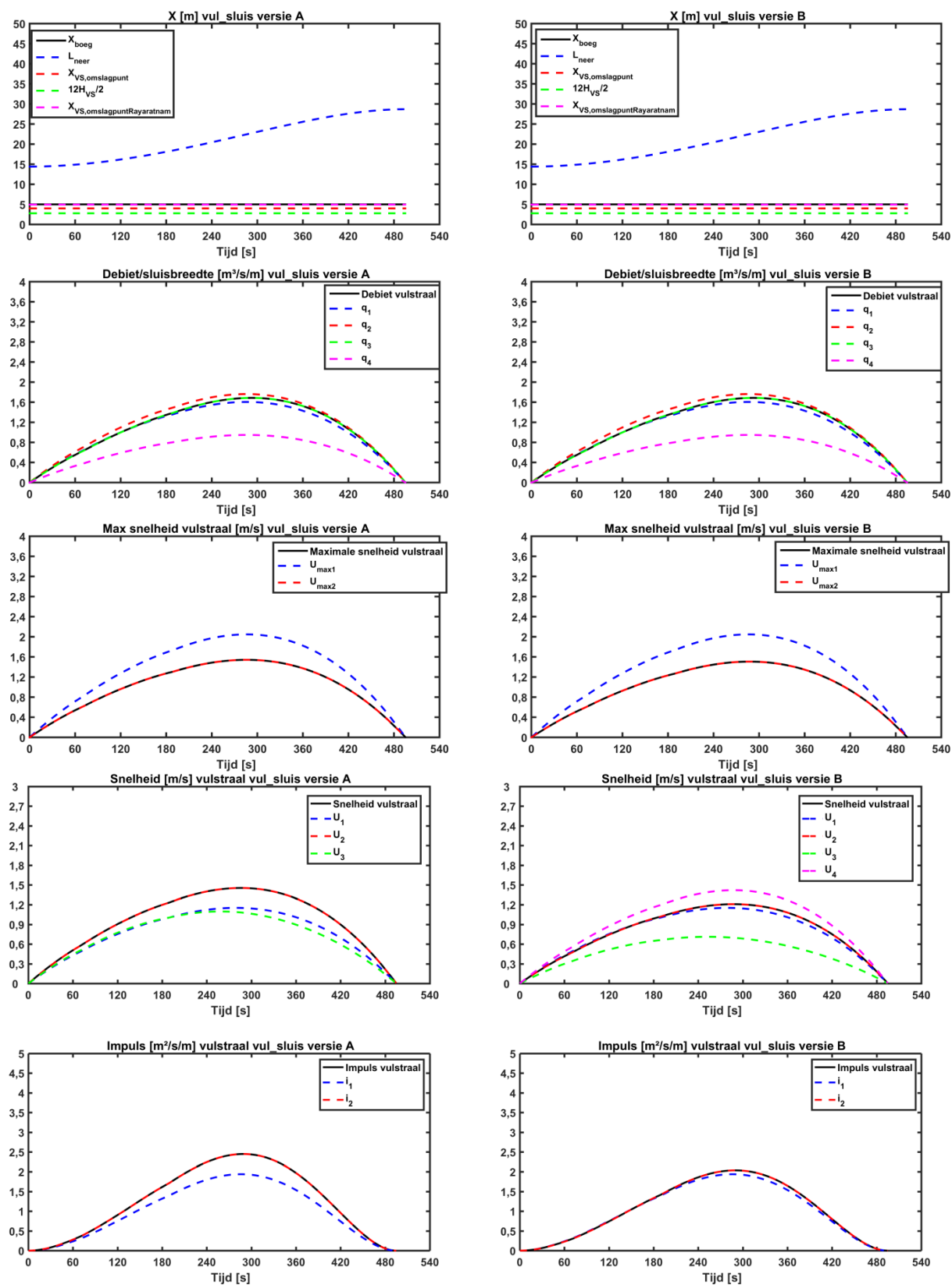
Figuur 95 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case11



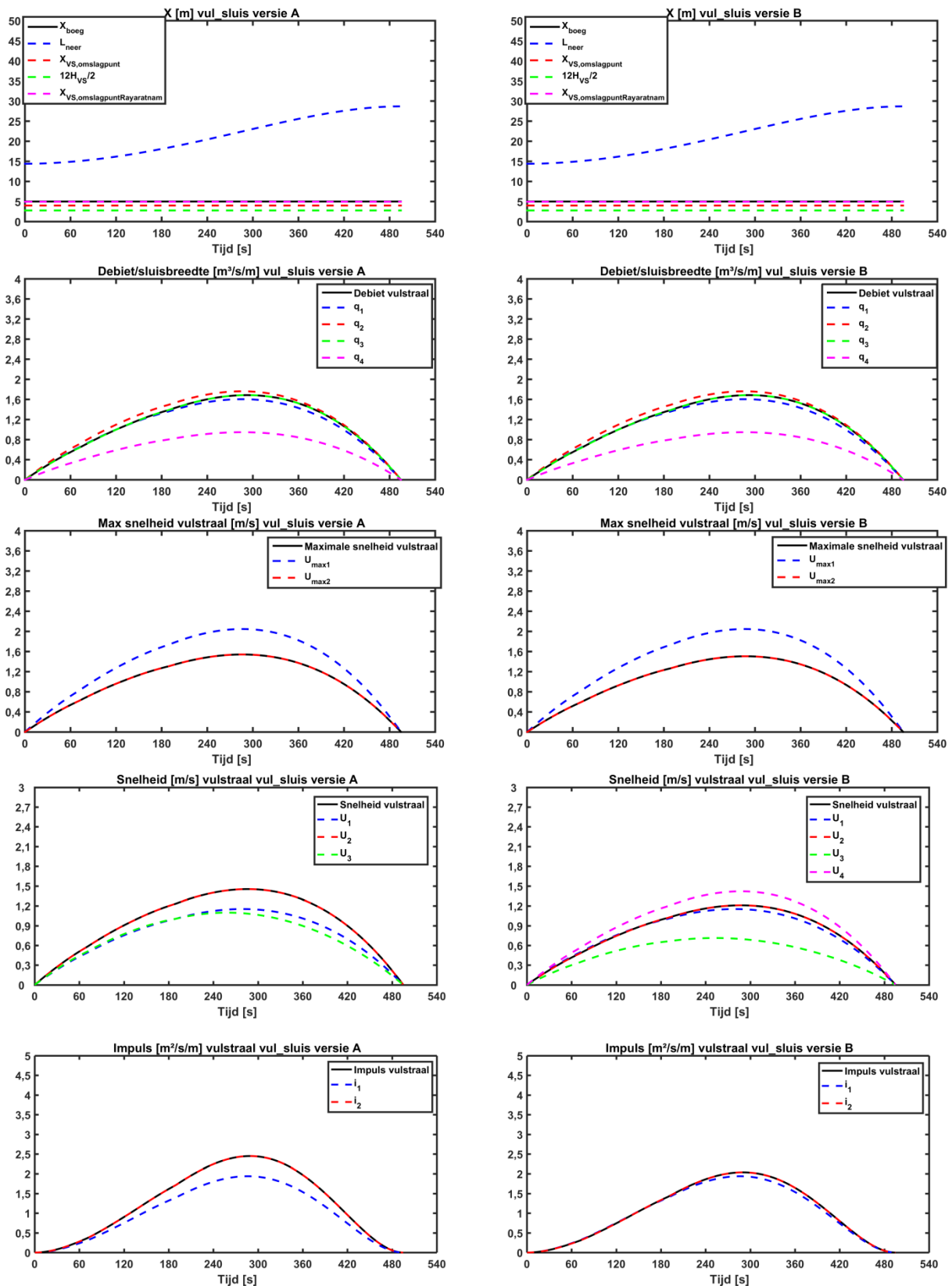
Figuur 96 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case12



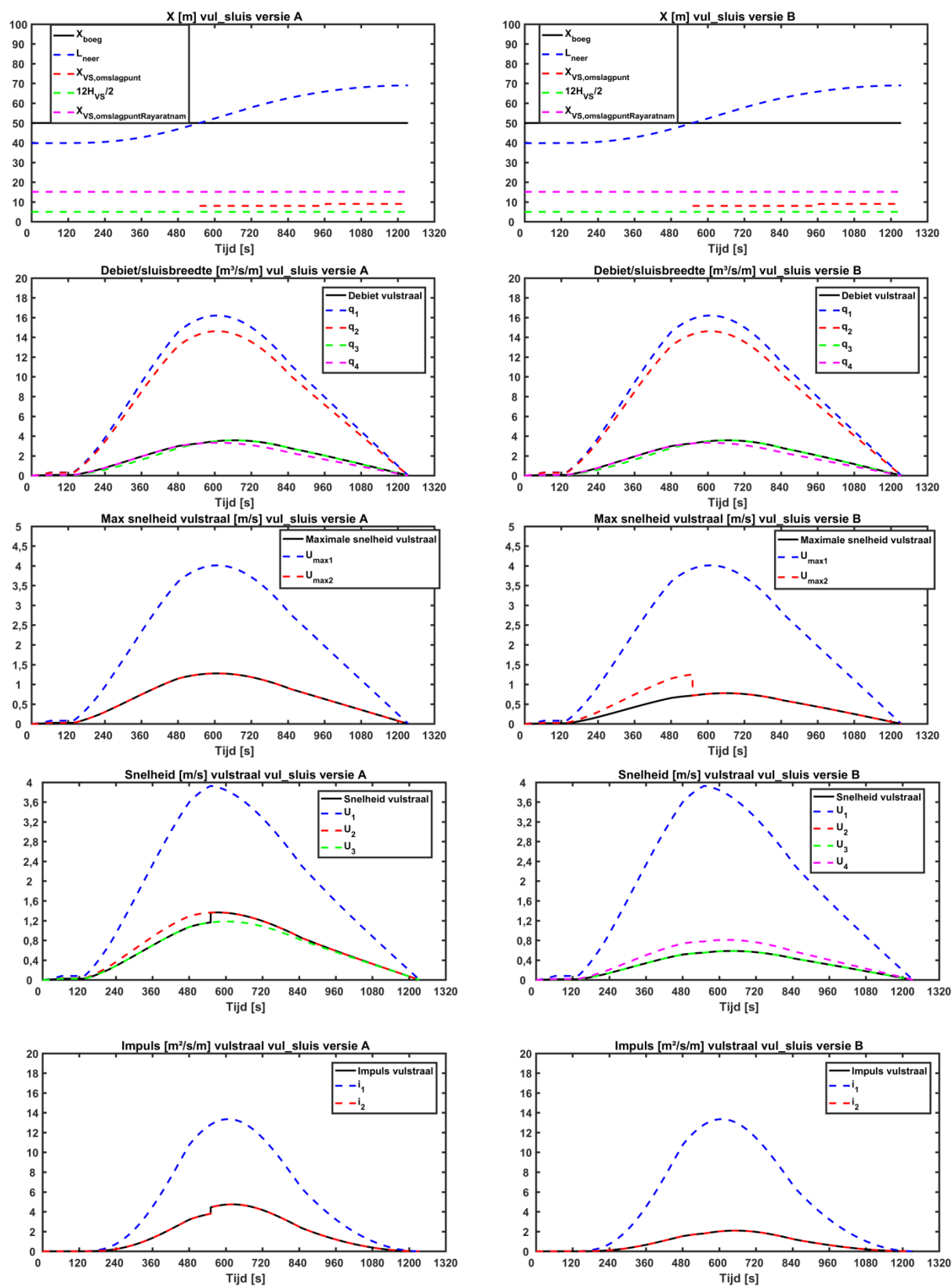
Figuur 97 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case13



Figuur 98 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case15



Figuur 99 – Variatie in de tijd van debiet/sluisbreedte, maximale snelheid, snelheid en impuls in de vulstraal voor Case16



7 Definitie vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01

7.1 Algemeen

Op basis van de resultaten van de analyses in hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 is een nieuwe release van vul_sluis gedefinieerd, namelijk vul_sluis release 01.53.00.

Vooreerst zijn volgende wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00 toegepast bij de definitie van de nieuwe release:

- Aanpassing hellingen $1/6$ en $1/4$ bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal (release 01.52.00 wijziging modA)
- De correcte formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 wijziging modE).
- De aanpassing van de integratiegrenzen bij de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (release 01.52.00 wijziging modF).
- De theoretisch correcte aanwezigheid van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname (release 01.52.00 wijziging modI) en de formulering voor de de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking (release 01.52.00 wijziging modG).

Met het oog op het vervolg van het onderzoek (onder andere de validatie van vul_sluis) zijn ook nog volgende aanpassingen doorgevoerd:

- Het integreren van de code van de speciale versies van vul_sluis in de code en het toelaten van van optionele invoer in de inputfile.
- Een nauwkeurigere berekening van de ligging van het omslagpunt.
- Aanpassing van de formulering voor de berekening van de waterstand in de bijkomende uitvoerpunten.
- Aanpassing van de berekening van de parameter Z_{BB} bij afwezigheid van breekbalken.
- Aanpassing van de berekening van de hoogte van de vulstraal.

De wijzigingen aan de code voor de definitie van vul_sluis release 01.53.00 zijn beschreven in paragraaf 3.6. Na aanpassing van een kleine programmeerfout in de routine vul_sluis_impuls_straal.m (zie paragraaf 3.6.7) is vul_sluis release 01.53.01 gedefinieerd.

Bij de definitie van deze nieuwe release van vul_sluis wordt opgemerkt dat de analyses in hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 geen oplossing hebben gegeven voor de aanwezigheid van sprongen in de componenten van de langskracht. In hoofdstuk 6 is wel onderzocht waarom deze sprongen ontstaan. Na afwerken van dit hoofdstuk is de studieopdracht aan Universiteit Gent uitgeschreven (zie paragraaf 3.7) en is vul_sluis release 01.54.00 gedefinieerd waarin deze sprongen niet meer aanwezig zijn. In hoofdstuk 8 van dit rapport wordt de invloed van de wijzigingen aan de code om te komen tot vul_sluis release 01.54.00 op de berekende langskrachten beschreven.

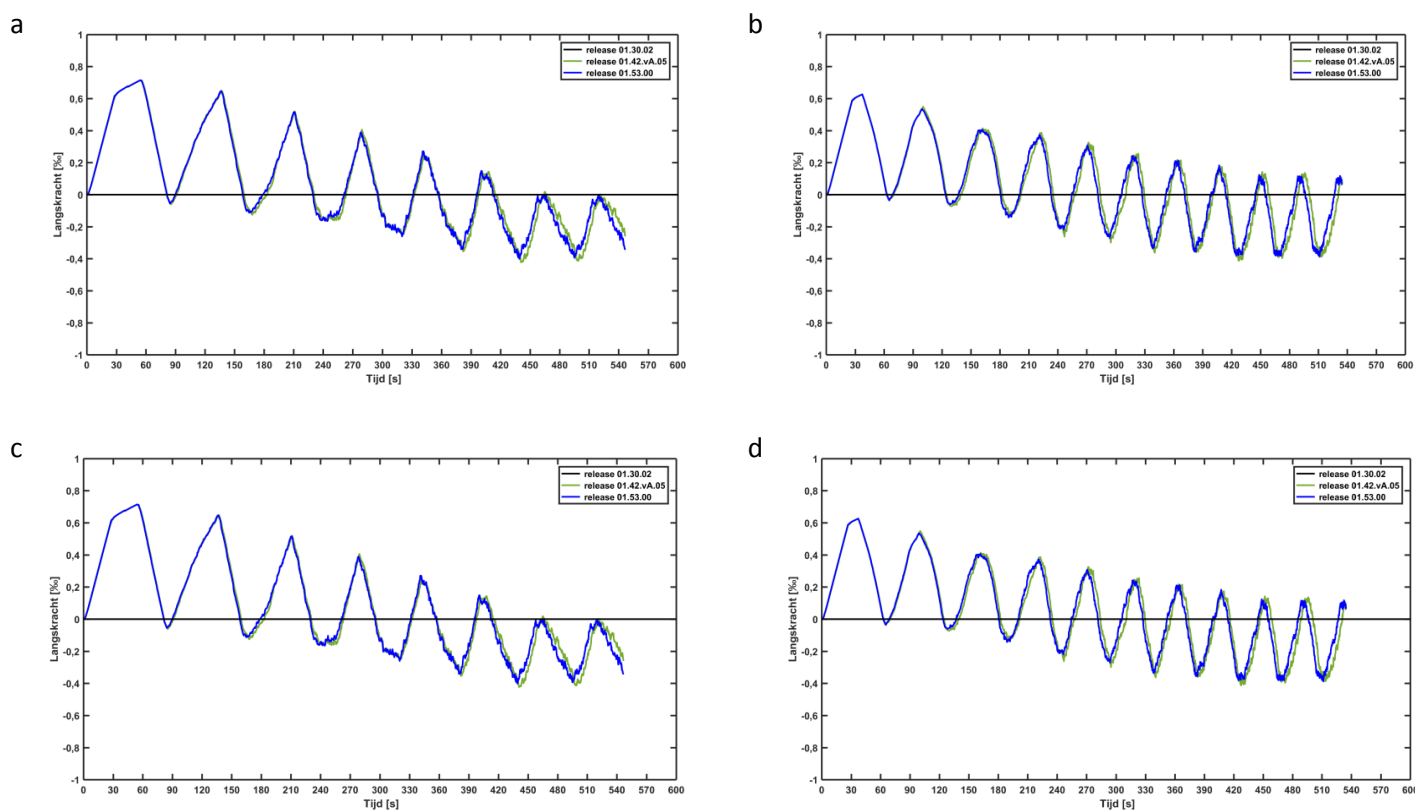
Met behulp van deze nieuwe release zijn de 16 cases uit hoofdstuk 2 opnieuw gesimuleerd. In paragraaf 7.2 wordt voor een aantal cases de invloed van de nieuwe versie van vul_sluis op de langskracht ten gevolge van translatiegolven, de locatie van het omslagpunt en de berekende hoogte van de vulstraal nagegaan. Daarna wordt in paragraaf 7.3 voor alle cases de invloed van deze aanpassingen op de componenten van de langskracht op het schip en de totale langskracht nagegaan. Zowel in paragraaf 7.2 als in paragraaf 7.3 worden telkens de resultaten van vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01 vergeleken met deze berekend met de release van vul_sluis die in het begin van dit rapport gedefinieerd is (vul_sluis release 01.51.01).

7.2 Langskracht ten gevolge van translatiegolven, locatie omslagpunt en hoogte vulstraal

Deze paragraaf onderzoekt voor een aantal cases de invloed van de wijzigingen aan de code van vul_sluis release 01.53.00 op de berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven, de locatie van het omslagpunt en de berekende hoogte van de vulstraal.

Om de invloed van de extra uitvoerpunten op de langskracht ten gevolge van translatiegolven na te gaan werd in Verelst *et al.* (2016b) een vergelijking gemaakt van de langskracht ten gevolge van translatiegolven berekend met vul_sluis release 01.42.vA.05 (release na toevoegen extra uitvoerpunten) en deze berekend met vul_sluis release 01.30.02 (release vóór toevoegen van extra uitvoerpunten). Aangezien de formulering voor de berekening van de waterstand ter plaatse van de extra uitvoerpunten gewijzigd is in vul_sluis release 01.53.00 wordt in Figuur 100 voor Case01 en Case02 de langskracht ten gevolge van translatiegolven berekend met vul_sluis release 01.53.00 vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.42.vA.05 en vul_sluis release 01.30.02. Aangezien de resultaten voor de overige cases analoog zijn, worden enkel deze twee cases als voorbeeld getoond in Figuur 100. Voor deze beide cases is zowel in de inputfile van de simulatie met vul_sluis release 01.42.vA.05 als in de inputfile voor vul_sluis release 01.53.00 'N' ingevuld bij het keyword [EXTRA_UITV]. Daarna is de simulatie met vul_sluis release 01.53.00 herhaald met 'J' ingevuld bij dit keyword, waarbij twee willekeurige punten gedefinieerd zijn tussen opwaartse sluisdeur en boeg van het schip en tussen hek van het schip en de afwaartse sluisdeur.

Figuur 100 – Invloed extra uitvoerpunten op de langskracht ten gevolge van translatiegolven voor Case01 en Case02 berekend met vul_sluis release 01.30.02, vul_sluis release 01.42.vA.05 en vul_sluis release 01.53.00.



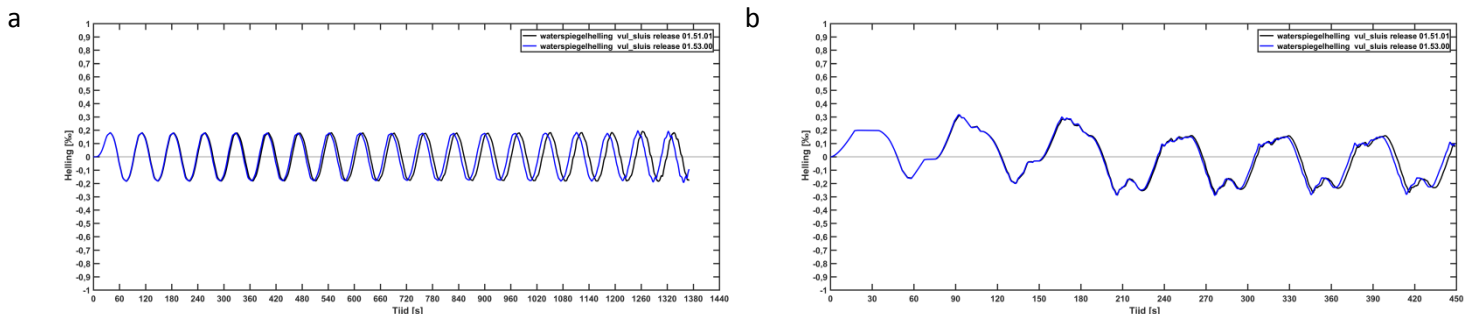
a: Case01 – EXTRA_UITV = 'N'; b: Case02 – EXTRA_UITV = 'N'; c: Case01 – EXTRA_UITV = 'J'; d: Case02 – EXTRA_UITV = 'J'

Uit Figuur 100 volgt dat de met vul_sluis release 01.53.00 berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven, zowel bij een simulatie met 'J' als bij een simulatie met 'N' als input bij het keyword [EXTRA_UITV], samenvalt met deze berekend met vul_sluis release 01.30.02, waarbij de mogelijkheid van extra uitvoerpunten nog niet aanwezig was. Dit betekent dat de definitie van de extra uitvoerpunten geen invloed heeft op de berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven op het schip in de kolk.

Van de 16 in deze studie beschouwde cases zijn enkel voor Case09 en voor Case10 bijkomende uitvoerpunten gedefinieerd in de inputfile voor de simulatie met vul_sluis release 01.51.01. Bijgevolg kan enkel voor deze cases de invloed van het wijzigen van de formulering voor de berekening van de waterstand in de uitvoerpunten op de berekende waterspiegelhelling tussen de gedefinieerde extra uitvoerpunten vergeleken worden. In Figuur 101 wordt voor Case09 en Case10 de waterspiegelhelling tussen de gedefinieerde uitvoerpunten berekend met vul_sluis release 01.51.01 (met oude formulering voor berekening waterstand in extra uitvoerpunten) vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.53.00 (met aangepaste formulering voor berekening waterstand in extra uitvoerpunten). In Tabel 15 worden voor de beide cases de minimale en maximale waarden van de waterspiegelhellingen tussen de extra uitvoerpunten berekend met deze twee releases van vul_sluis met elkaar vergeleken. De laatste kolom in deze tabel geeft het procentueel verschil tussen de minimale en maximale waarden van de waterspiegelhellingen berekend met deze beide releases van vul_sluis. Dit procentueel verschil is als volgt berekend:

$$\% \text{ verschil} = \frac{(\text{waarde vul_sluis release 01.53.00}) - (\text{waarde vul_sluis release 01.51.01})}{(\text{waarde vul_sluis release 01.51.01})}$$

Figuur 101 – Vergelijking waterspiegelhelling tussen extra uitvoerpunten voor Case09 en Case10 berekend met vul_sluis release 01.51.00 en vul_sluis release 01.53.00.



a: Case09; b: Case10; zwart: waterspiegelhelling berekend met vul_sluis release 01.51.01; blauw: waterspiegelhelling berekend met vul_sluis release 01.53.00

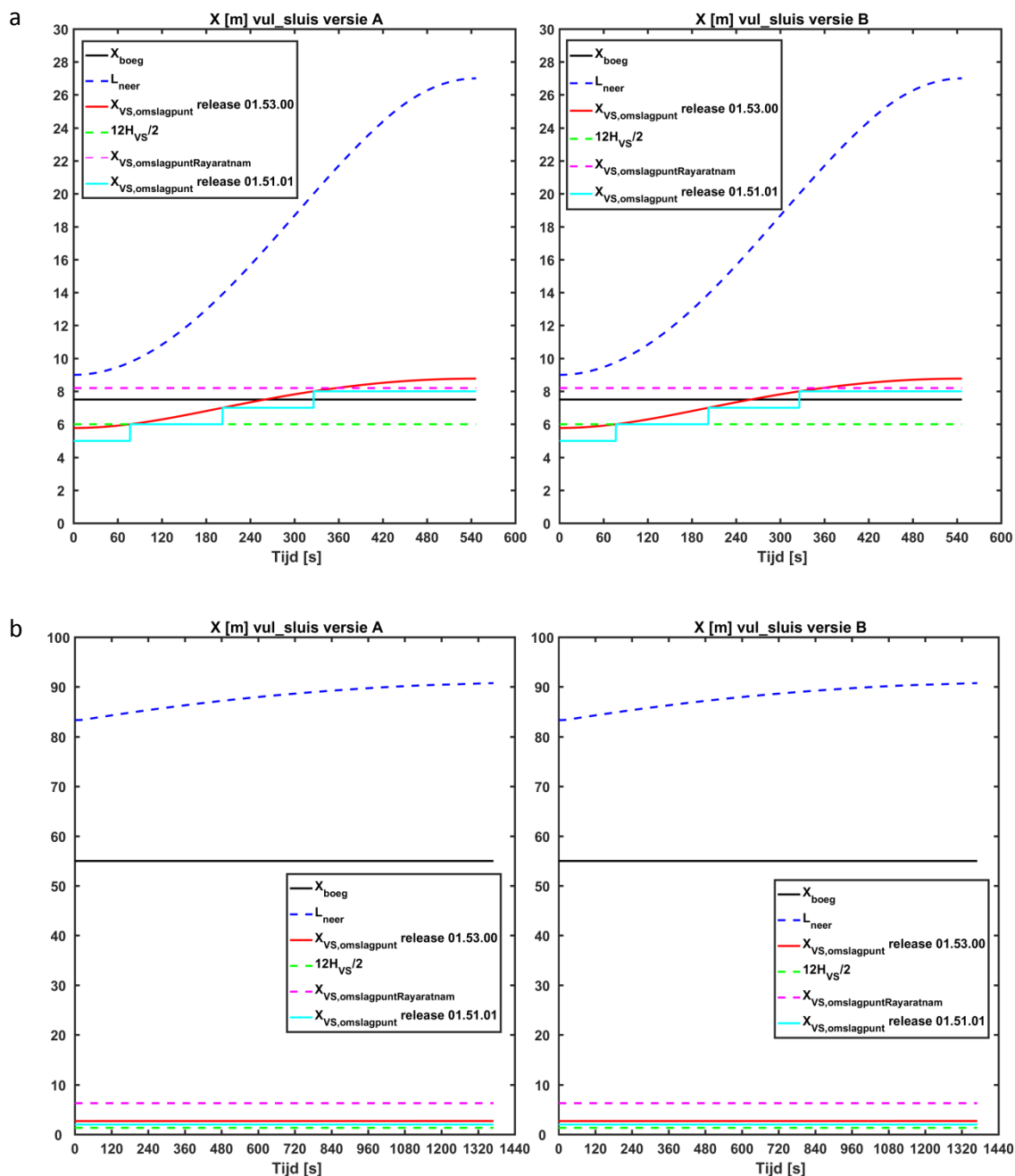
Tabel 15 – Minimale en maximale waarden voor de berekende waterspiegelhelling tussen de extra uitvoerpunten

	vul_sluis release 01.51.01		vul_sluis release 01.53.00		Verskil	
	min	max	min	max		
Case09	-0,184 ‰	0,191 ‰	-0,192 ‰	0,195 ‰	4 %	2 %
Case10	-0,288 ‰	0,309 ‰	-0,289 ‰	0,316 ‰	0 %	2 %

Uit Tabel 15 volgt dat met de aangepaste (juistere) formulering voor de berekening van de waterstand in de uitvoerpunten in vul_sluis release 01.53.00 tot 4 % hogere waterspiegelhellingen worden berekend in vergelijking met deze berekend met vul_sluis release 01.51.01. Uit Figuur 101 volgt ook dat de aangepaste formulering in vul_sluis release 01.53.00 de periode van de waterspiegelhellingen beperkt beïnvloedt.

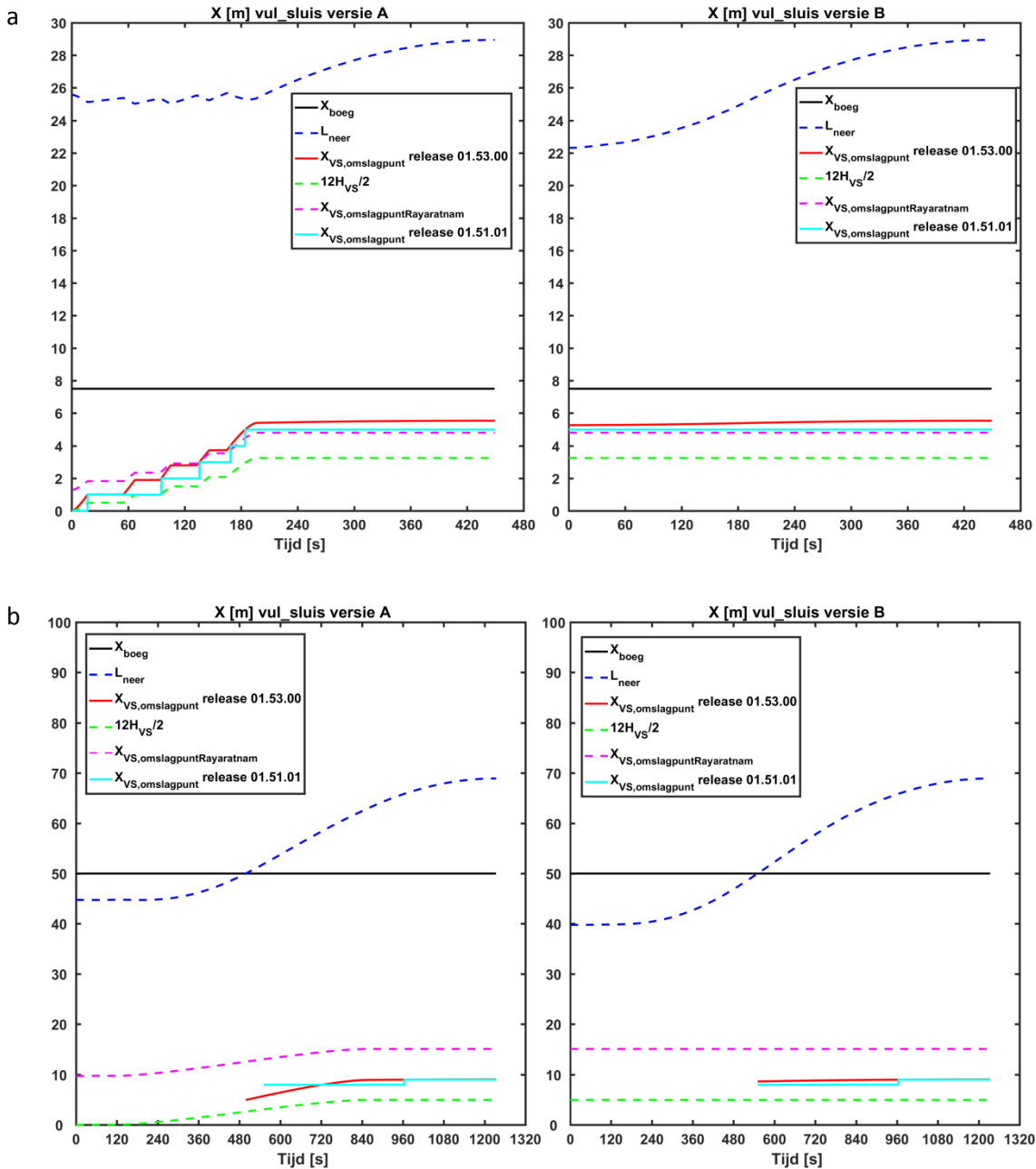
Figuur 102 en Figuur 103 vergelijkt voor Case01, Case09, Case10 en Case16 de locatie van het omslagpunt berekend met vul_sluis release 01.51.01 met deze berekend met vul_sluis release 01.53.00. Bij wijze van voorbeeld zijn in deze figuur enkel deze cases getoond. De resultaten voor de overige cases zijn analoog.

Figuur 102 – Vergelijking locatie omslagpunt voor Case01 en Case09
berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.53.00.



a: Case01; b: Case09

Figuur 103 – Vergelijking locatie omslagpunt voor Case10 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.53.00.



a: Case10; b: Case16

Uit deze figuren volgt dat de nauwkeurigere berekening van het omslagpunt er algemeen voor zorgt dat de variatie van de locatie van het omslagpunt in de tijd geen sprongen meer vertoont. Enkel bij Case10 wordt een meer stapsgewijze variatie in de tijd van het omslagpunt berekend, aangezien de openingswet voor deze simulatie ook een aantal stops bevat en bijgevolg een stapsgewijze variatie in de tijd kent. De waarde van de locatie van het omslagpunt berekend met vul_sluis release 01.53.00 is ook groter dan deze berekend met vul_sluis release 01.51.01. Ook voor Case09, waarbij de locatie van het omslagpunt constant is in de tijd, wordt een beperkt grotere waarde van de locatie van het omslagpunt berekend. Deze iets hogere berekende waarde voor de locatie van het omslagpunt zal er algemeen voor zorgen dat het tijdstip waarvoor X_{boeg} overgaat van $X_{boeg} < X_{vs,omslagpunt}$ naar $X_{boeg} > X_{vs,omslagpunt}$ zich eerder voordoet in de tijd. In

vul_sluis versie B wordt altijd een constante waarde van het omslagpunt berekend indien 'BREEKB=J' in de inputfile is opgegeven. Dit is het geval voor alle cases, met uitzondering van Case09. Voor Case09 lijkt er geen variatie in de tijd van het omslagpunt te zijn. Uit nauwkeurigere analyse van de resultaten volgt echter dat deze kromme een variatie vertoont van 7 mm, wat op de schaal van de figuur als een rechte lijn wordt waargenomen.

De aanpassing van de formulering voor de berekening van de hoogte van de vulstraal heeft enkel invloed op de cases waarbij in de inputfile 'BREEKB=J' is opgegeven en een waarde voor $A_{vs,BBmax}$ gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen en waarbij door afrondingsfouten de formulering voor $A_{vs,BBmax} > A_{vo,max}$ wordt toegepast. Dit is enkel het geval bij Case13 en Case15. Figuur 104 toont voor Case13 de variatie in de tijd van de interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal. Aangezien Case13 en Case15 identiek zijn, met uitzondering van het schip in de sluisolk, en de waarde van deze interne parameters onafhankelijk is van het schip in de kolk, zijn de resultaten identiek aan deze voor Case15. Uit Figuur 104 volgt dat in versie A van vul_sluis 01.53.00 de hoogte van de vulstraal, de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal, de hoogte boven de bodem van de begrenzingen van de vulstraal en de potential core en ook de parameters δ , μ en σ variëren in de tijd. Dit in tegenstelling tot de constante waarden berekend met vul_sluis release 01.51.s.01 (zie Figuur 131 in Bijlage B).

Bij Case13 zijn rechthoekige openingen aanwezig met een hoogte van 0,90 m en een onderzijde van de openingen gelijk aan + 0,15 m TAW. Het midden van de openingen bevindt zich dus op + 0,60 m TAW. Bij een bodempeil op – 0,78 m TAW geeft dit dus een hoogte boven de bodem van het midden van de opening gelijk aan 1,38 m bij volledig geopende schuiven. Bij het begin van de nivellering (schuiven zo goed als gesloten) is de hoogte boven de bodem van het midden van de opening onder de schuif gelijk aan 0,93 m. Worden deze waarden vergeleken met de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal (parameter $h_{vs,m}$) uit Figuur 104 dan blijkt dat de waarden uit de figuur variëren tussen 1,37 m en 1,60 m, wat hoger is dan de hierboven vermelde waarden. De reden hiervoor is dat de simulatie voor Case13 is uitgevoerd met de optie 'BREEKB=J' in de inputfile. Bij deze optie wordt de bovenzijde van de breekbalken (bij geen breekbalken de bovenzijde van de openingen) opgegeven in de inputfile en wordt het midden van de opening als volgt berekend:

$$h_{vs,m}^n = Z_{BB} - \frac{A_{vs,BBmax}}{b_K} + \frac{h_{vs}^n}{2} - Z_b$$

met:

- $h_{vs,m}^n$	Hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal	[m]
- Z_{BB}	Peil bovenzijde breekbalken	[mZref]
- $A_{vs,BBmax}$	Oppervlakte van de straal na breekbalken	[m ²]
- b_K	Breedte kolk	[m]
- h_{vs}^n	Hoogte vulstraal na n tijdstappen	[m]
- Z_b	Bodempeil sluisolk	[mZref]

Deze berekeningswijze geeft een te hoge waarde voor de ligging van het midden van de opening.

Om die reden is de simulatie voor Case13 herhaald met 'BREEKB=N' in de inputfile. In dit geval dient het peil van de onderzijde van de openingen ingegeven te worden in de inputfile. De waarde van de contractiecoëfficiënt in de inputfile is gelijk genomen aan 1 (afwezigheid van contractie). Voor deze simulaties is de variatie in de tijd van de interne parameters met betrekking tot debiet en impuls voorgesteld in Figuur 105. Uit deze figuur volgt dat met vul_sluis versie A een variatie in de tijd van de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal berekend wordt die gelegen is tussen 0,93 m bij begin nivelleren en 1,16 m aan het einde van de nivellering. Bij toepassen van vul_sluis versie B wordt een variatie in de tijd van de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal berekend tussen 0,93 m en 1,38 m, wat overeenkomt met de hierboven berekende waarden.

De reden hiervoor is dat bij toepassen van hefschuiven en afwezigheid van breekbalken de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal in de beide versies van vul_sluis als volgt berekend wordt:

1. vul_sluis versie A

$$h_{VS,m}^n = Z_{BB} + \frac{A_{VO}^n}{2 \cdot b_K} * C_c^n - Z_b$$

2. Vul_sluis versie B

$$h_{VS,m}^n = Z_{BB} + \frac{h_{HS}^n}{2} * C_c^n - Z_b$$

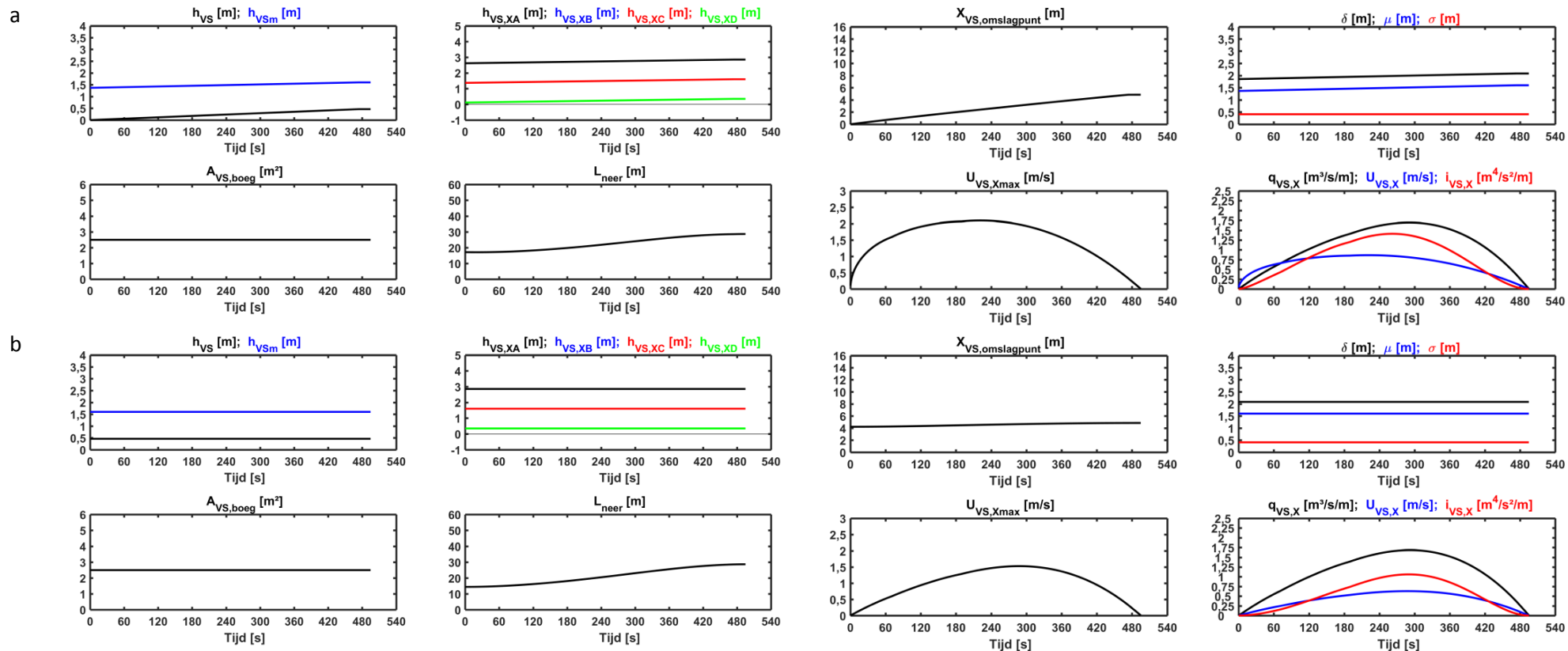
Met:

- $h_{VS,m}^n$	Hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal	[m]
- Z_{BB}	Peil bovenzijde breekbalken	[mZref]
- A_{VO}^n	Totale oppervlakte van de openingen na n tijdstappen	[m ²]
- b_K	Breedte kolk	[m]
- C_c^n	Waarde van de contractiecoëfficiënt na n tijdstappen	[-]
- h_{VS}^n	Hoogte vulstraal na n tijdstappen	[m]
- Z_b	Bodempeil sluiskolk	[mZref]

Uit bovenstaande analyse kan wel besloten worden dat cases zonder breekbalken bij voorkeur gesimuleerd worden met de optie 'BREEKB=N' in de inputfile, in tegenstelling tot het toepassen van 'BREEKB=J' zoals dit in het verleden regelmatig in de praktijk werd toegepast.

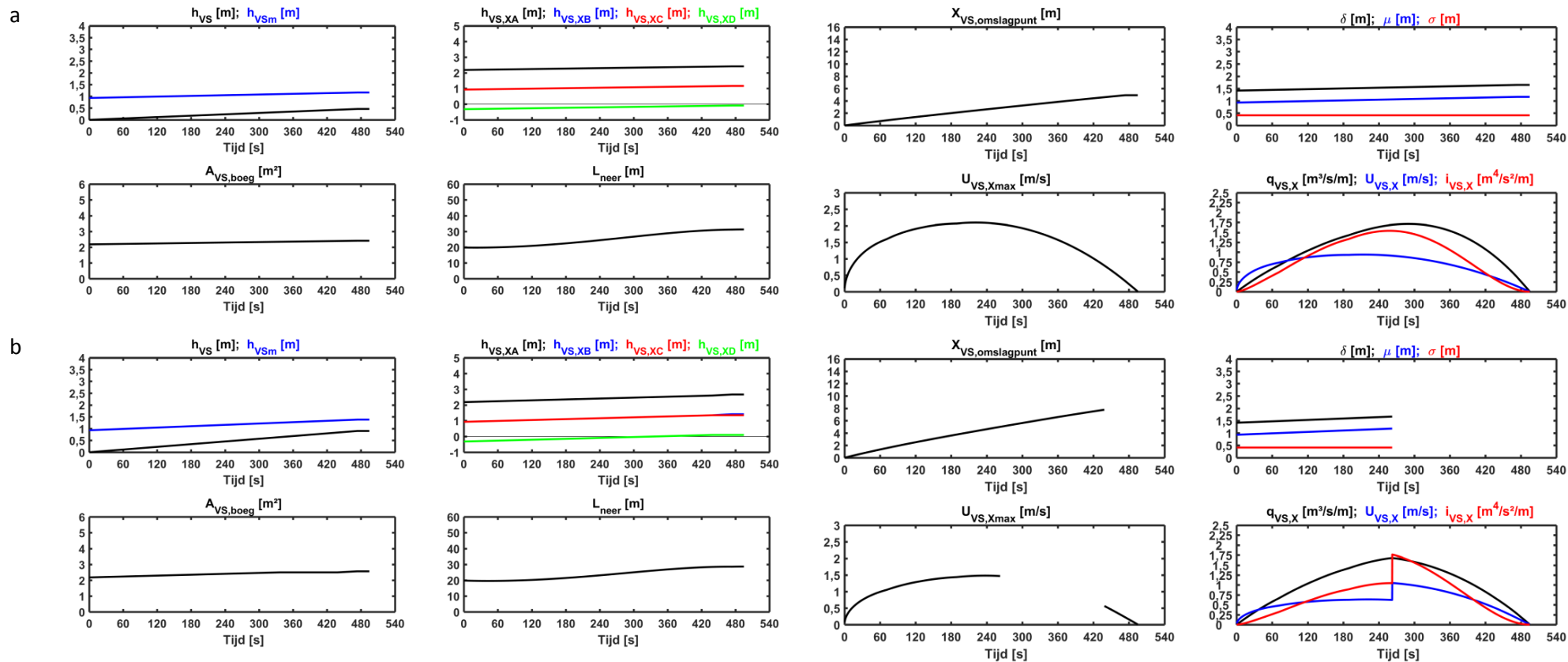
Figuur 105 toont ook dat bij toepassen van de optie 'BREEKB=N' met vul_sluis versie B een sprong wordt veroorzaakt in de variatie in de tijd van de impuls in de vulstraal. Deze sprong ontstaat omdat de locatie van het omslagpunt groter is dan deze berekend met vul_sluis versie A. Dit heeft tot gevolg dat een overgang plaatsvindt van $X_{boeg} (= 5 \text{ m}) > X_{VS,omslagpunt}$ naar $X_{boeg} < X_{VS,omslagpunt}$. Voor de tijdstippen waarop $X_{boeg} < X_{VS,omslagpunt}$ wordt geen waarde voor $U_{VS,Xmax}$ berekend. Vanaf $t = 440 \text{ s}$ wordt opnieuw een waarde voor $U_{VS,Xmax}$ berekend. Vanaf dat tijdstip doet zich de overgang voor van $X_{boeg} < X_{VS,omslagpunt}$ naar $X_{boeg} \leq 12 h_{VS}^n/2$.

Figuur 104 – Variatie in de tijd van interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case13 berekend met vul_sluis release 01.53.00 – Breekb = J



a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

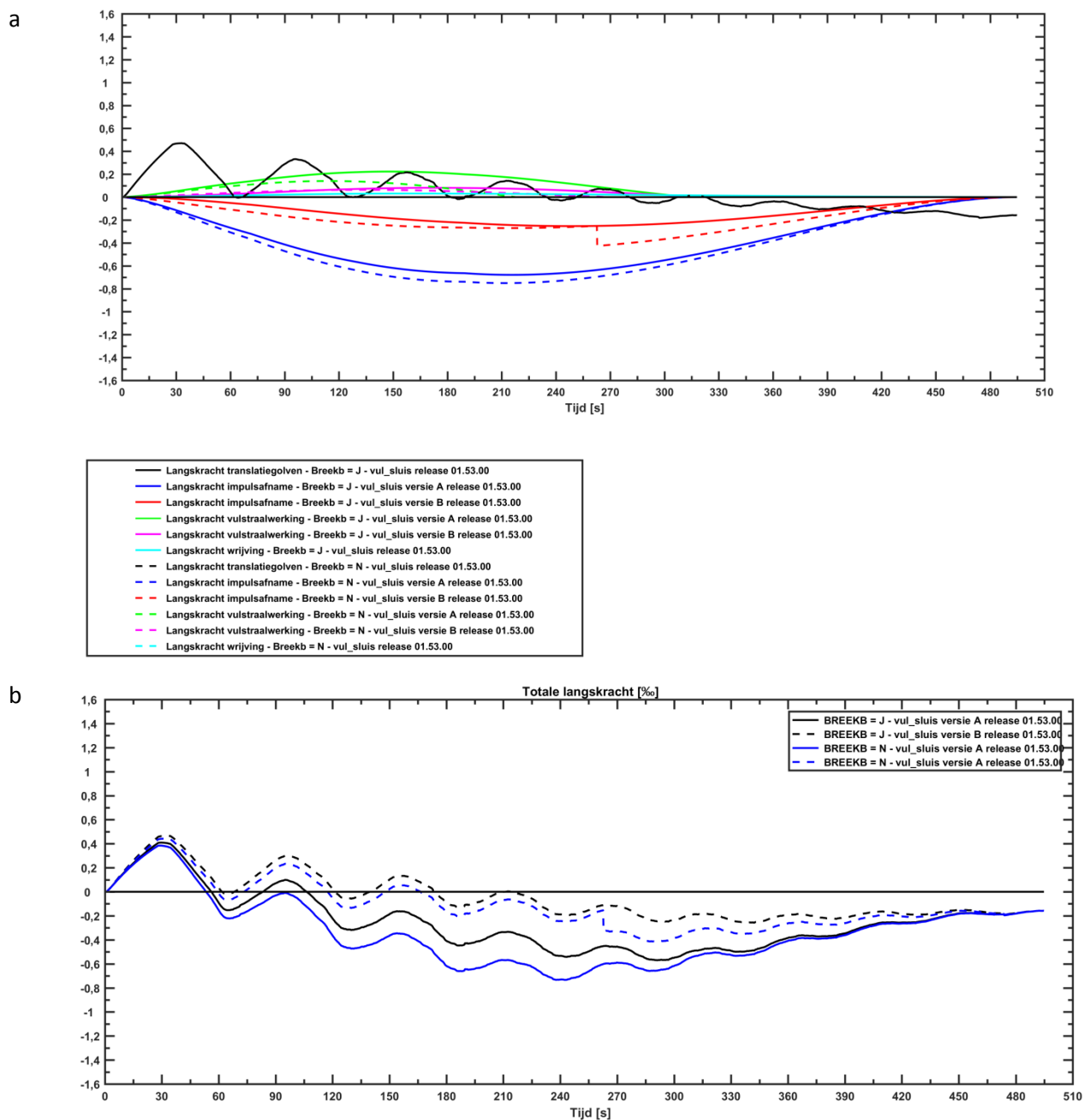
Figuur 105 – Variatie in de tijd van interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case13 berekend met vul_sluis release 01.53.00 – Breekb = N



a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Voor deze twee simulaties voor Case13 met 'BREEKB=J' en met 'BREEKB=N' vergelijkt Figuur 106 de totale langskracht op het schip berekend met de beide versies van vul_sluis.

Figuur 106 – Invloed Breekb = J en Breekb = N op de variatie in de tijd van de componenten van de langskracht en de totale langskracht voor Case 13



a: variatie in de tijd van de componenten van de langskracht; b: variatie in de tijd van de totale langskracht

Een overzicht van de maximale en minimale waarden van de totale langskracht is voor de beide simulaties en voor de beide versies van vul_sluis gegeven in Tabel 16.

Tabel 16 – Minimale en maximale waarden voor de berekende totale langskracht op het schip

	'BREEKB=J'		'BREEKB=N'		Verschil	
	min	max	min	max		
vul_sluis versie A	-0,57 ‰	0,41 ‰	-0,73 ‰	0,38 ‰	28 %	-7 %
vul_sluis versie B	-0,26 ‰	0,47 ‰	-0,42 ‰	0,44 ‰	62 %	- 6 %

Uit Figuur 106 en Tabel 16 volgt een stijging van de minimale waarde (tot 62 %) van de langskracht en een daling (tot 7 %) van de maximale waarde van de langskracht bij toepassen van de optie 'BREEKB=N'. De toename van de minimale waarde van de langskracht is groter bij vul_sluis versie B dan bij vul_sluis versie A, omwille van het ontstaan van de sprong in de langskracht bij vul_sluis versie B.

7.3 Componenten langskracht en totale kracht op schip

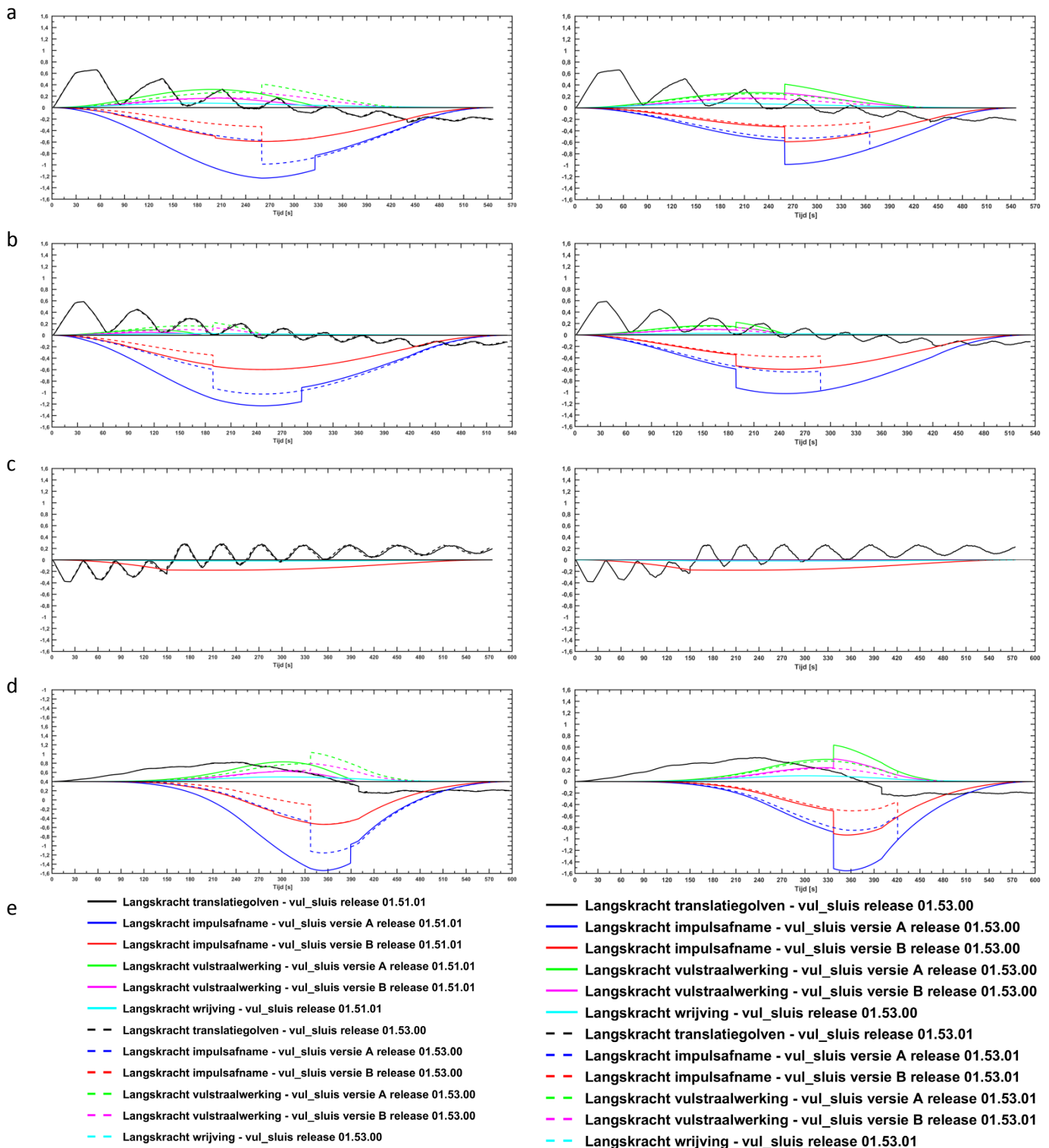
Voor alle cases uit Hoofdstuk 2 vergelijken Figuur 107 tot en met Figuur 112 de componenten van de langskracht op het schip en de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01 met deze berekend met vul_sluis release 01.53.00 en met deze berekend met vul_sluis release 01.53.01. In tabel Tabel 17 worden voor de simulaties met deze drie releases de minimale en maximale waarden van de totale langskracht op het schip vergeleken met elkaar. Daarnaast wordt ook het procentuele verschil gegeven tussen de waarden berekend met de verschillende releases van vul_sluis. Dit procentuele verschil wordt, analoog als in paragraaf 7.2, als volgt berekend:

$$\% \text{ verschil} = \frac{(\text{waarde vul_sluis release yy.yy.yy}) - (\text{waarde vul_sluis release xx.xx.xx})}{(\text{waarde vul_sluis release xx.xx.xx})}$$

Tabel 17 – Vergelijking minimale en maximale waarden van de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.53.01 met deze berekend met vul_sluis release 01.53.00 en deze berekend met vul_sluis release 01.51.01.

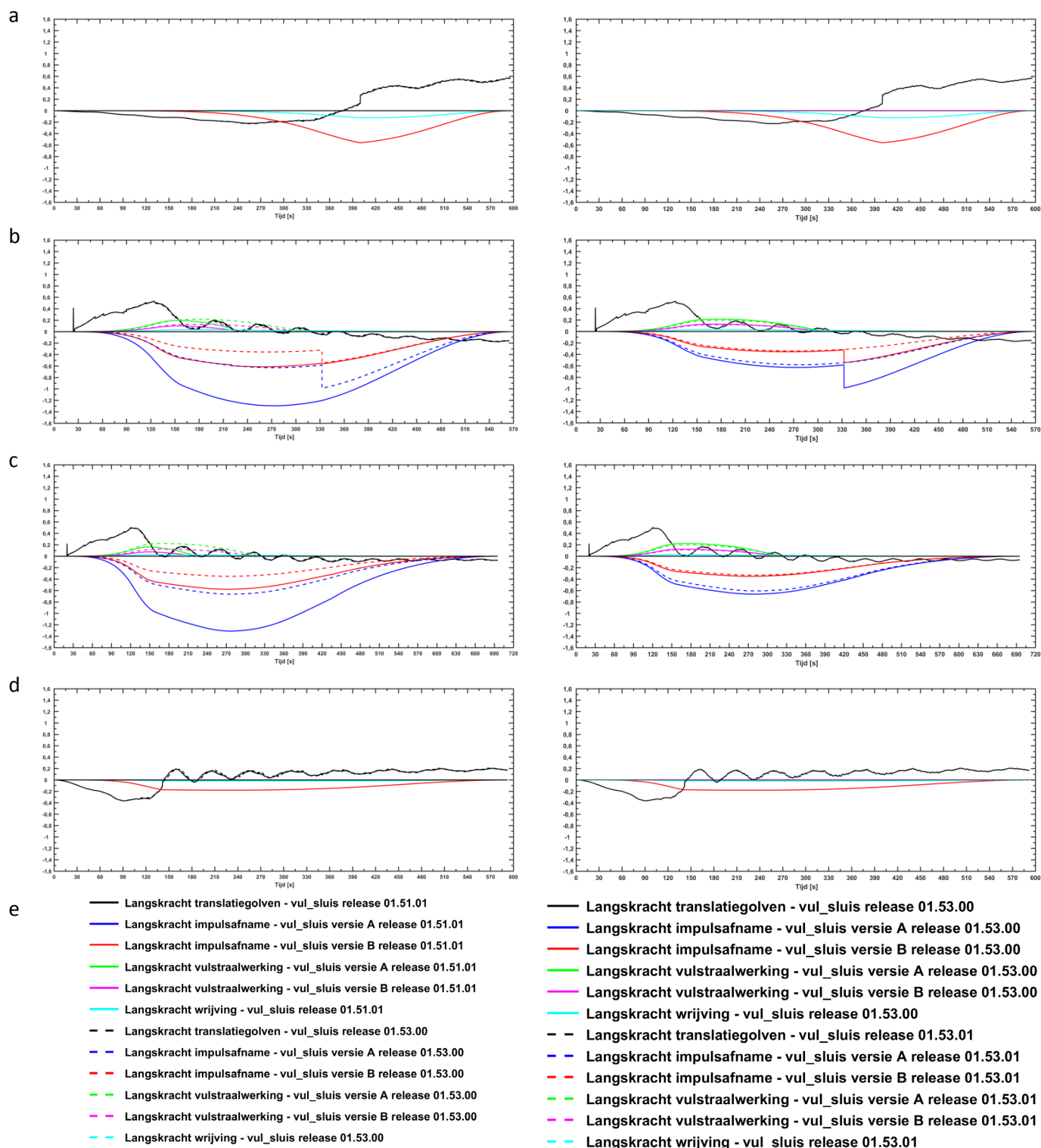
	vul_sluis release 01.51.01				vul_sluis release 01.53.00				vul_sluis release 01.53.01				Verschil release 01.51.01 – release 01.53.00				Verschil release 01.53.00 – release 01.53.01			
	versie A		versie B		versie A		versie B		versie A		versie B		versie A		versie B		versie A		versie B	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Case01	-1,11	0,62	-0,57	0,66	-0,69	0,67	-0,47	0,68	-0,69	0,67	-0,47	0,68	-38	8	-18	3	0	0	0	0
Case02	-1,27	0,54	-0,64	0,56	-1,03	0,57	-0,63	0,58	-1,03	0,57	-0,63	0,58	-19	6	-1	3	0	0	0	0
Case03	-0,44	0,23	-0,44	0,23	-0,43	0,23	-0,43	0,23	-0,43	0,23	-0,43	0,23	-3	0	-3	0	0	0	0	0
Case04	-1,71	0,27	-0,97	0,34	-1,18	0,38	-0,77	0,43	-1,04	0,39	-0,71	0,44	-31	44	-21	29	-11	3	-8	3
Case05	-0,60	0,57	-0,60	0,57	-0,60	0,57	-0,60	0,57	-0,60	0,57	-0,60	0,57	0	0	0	0	0	0	0	0
Case06	-1,30	0,41	-0,62	0,41	-1,01	0,44	-0,57	0,48	-0,58	0,45	-0,35	0,49	-23	7	-8	17	-43	2	-39	2
Case07	-1,34	0,25	-0,61	0,35	-0,67	0,40	-0,38	0,45	-0,63	0,41	-0,37	0,46	-50	58	-38	31	-7	4	-4	2
Case08	-0,47	0,20	-0,47	0,20	-0,45	0,20	-0,45	0,20	-0,45	0,20	-0,45	0,20	-4	1	-4	1	0	0	0	0
Case09	-0,29	0,32	-0,27	0,33	-0,28	0,33	-0,27	0,34	-0,27	0,33	-0,27	0,34	-3	1	-2	0	-2	1	-1	0
Case10	-1,30	0,38	-0,95	0,47	-1,02	0,43	-0,86	0,54	-0,99	0,43	-0,85	0,55	-22	13	-10	15	-2	1	-1	1
Case11	-0,77	0,57	-0,37	0,67	-0,61	0,65	-0,37	0,70	-0,60	0,66	-0,37	0,70	-21	14	1	4	-2	1	0	0
Case12	-0,70	0,78	-0,57	0,82	-0,70	0,78	-0,57	0,82	-0,70	0,78	-0,57	0,82	0	0	-1	0	0	0	0	0
Case13	-1,05	0,43	-0,50	0,45	-0,57	0,41	-0,26	0,47	-0,54	0,41	-0,25	0,47	-46	-5	-48	3	-5	1	-1	0
Case14	-1,45	0,80	-1,45	0,80	-1,46	0,83	-1,46	0,83	-1,46	0,83	-1,46	0,83	1	3	1	3	0	0	0	0
Case15	-9,96	0,45	-4,45	0,46	-6,10	0,41	-2,20	0,46	-5,71	0,42	-2,16	0,46	-39	-8	-51	1	-6	1	-2	0
Case16	-0,17	0,15	-0,10	0,17	-0,09	0,15	-0,08	0,17	-0,09	0,15	-0,08	0,17	-44	2	-16	2	-4	0	-2	0

Figuur 107 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case03 en Case04 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01



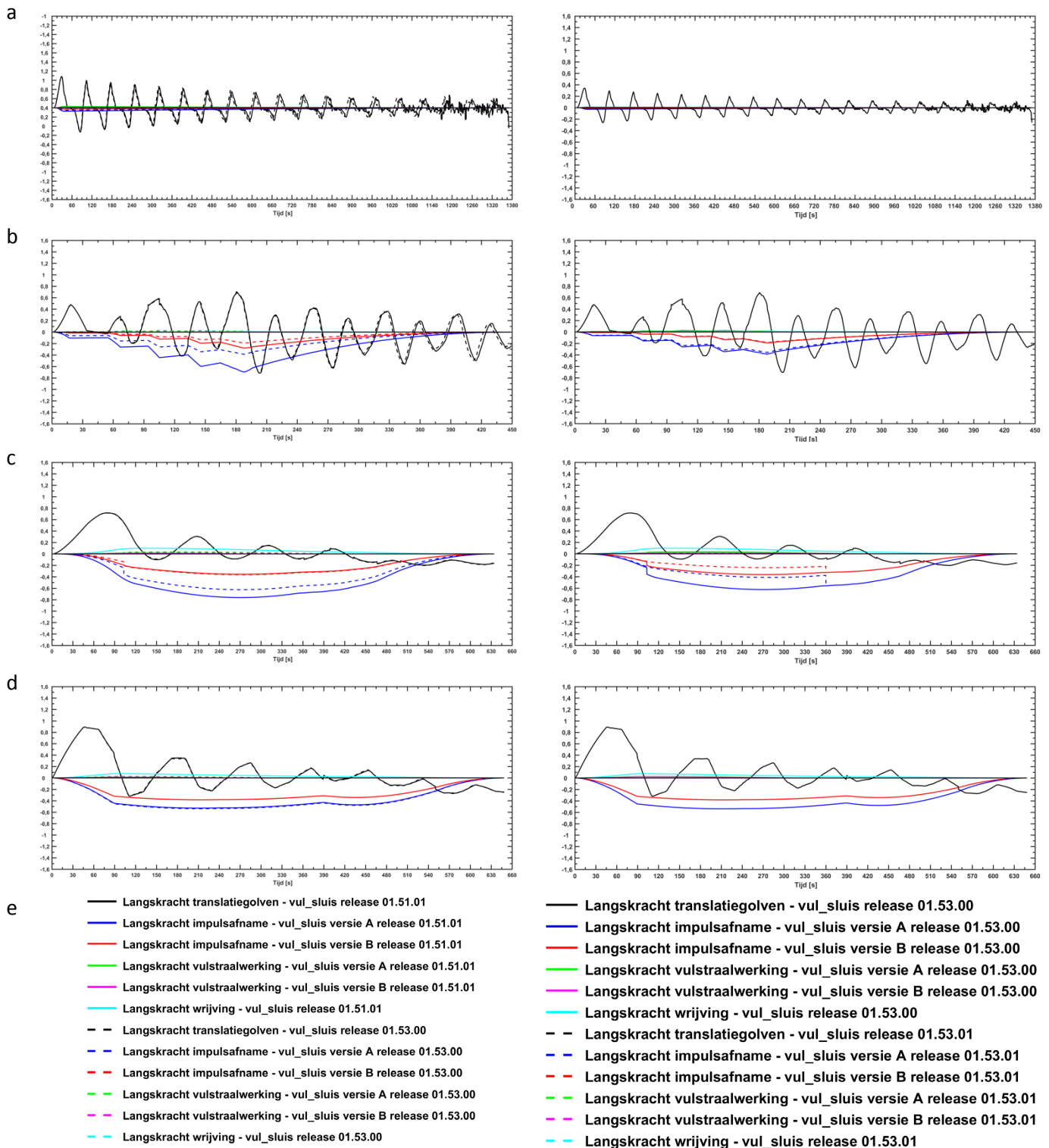
a:Case01; b: Case02; c: Case03; d: Case04; e: legende figuren.

Figuur 108 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case05, Case06, Case07 en Case08 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01



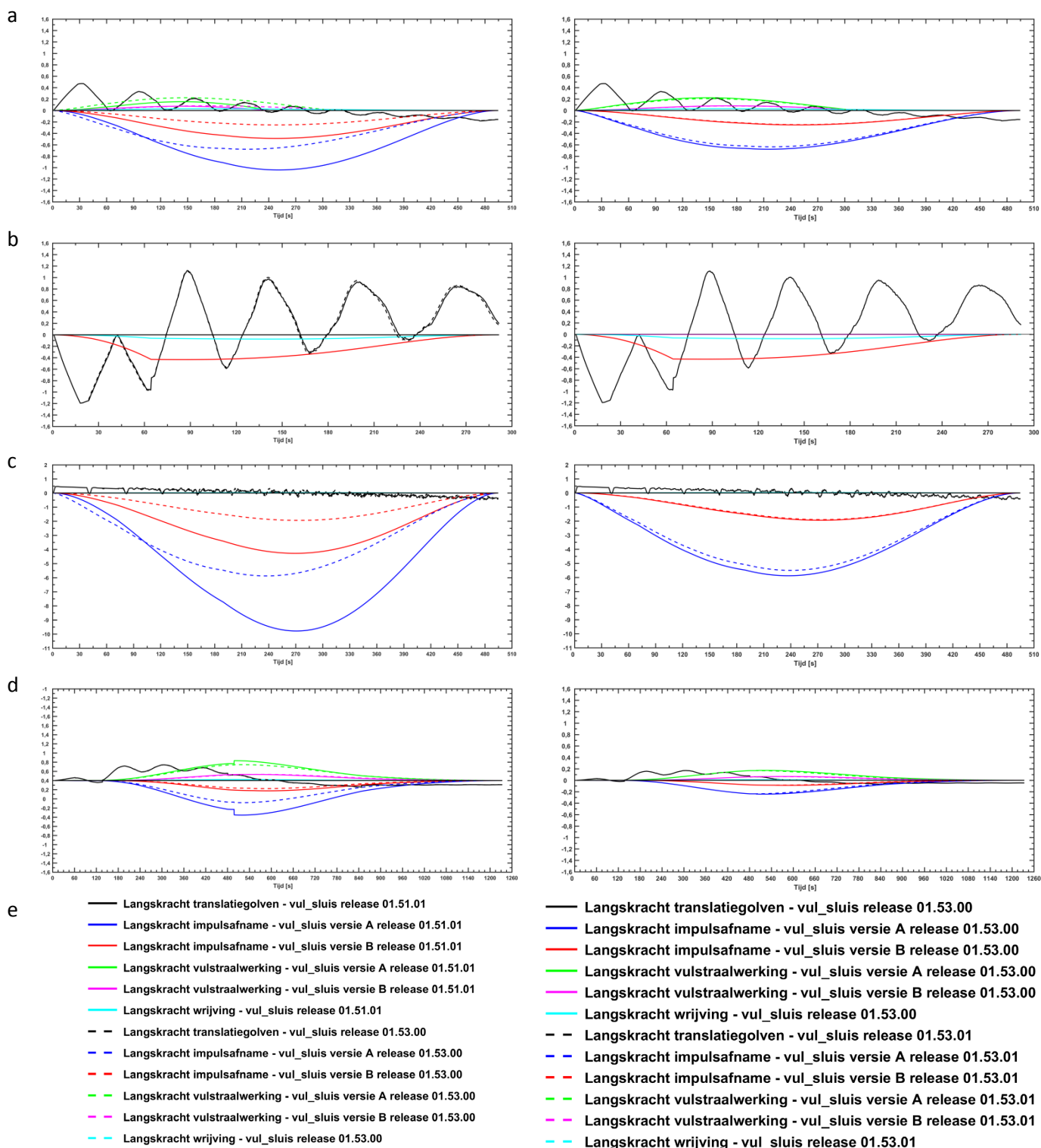
a:Case05; b: Case06; c: Case07; d: Case08; e: legende figuren.

Figuur 109 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case09, Case10, Case11 en Case12 met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.



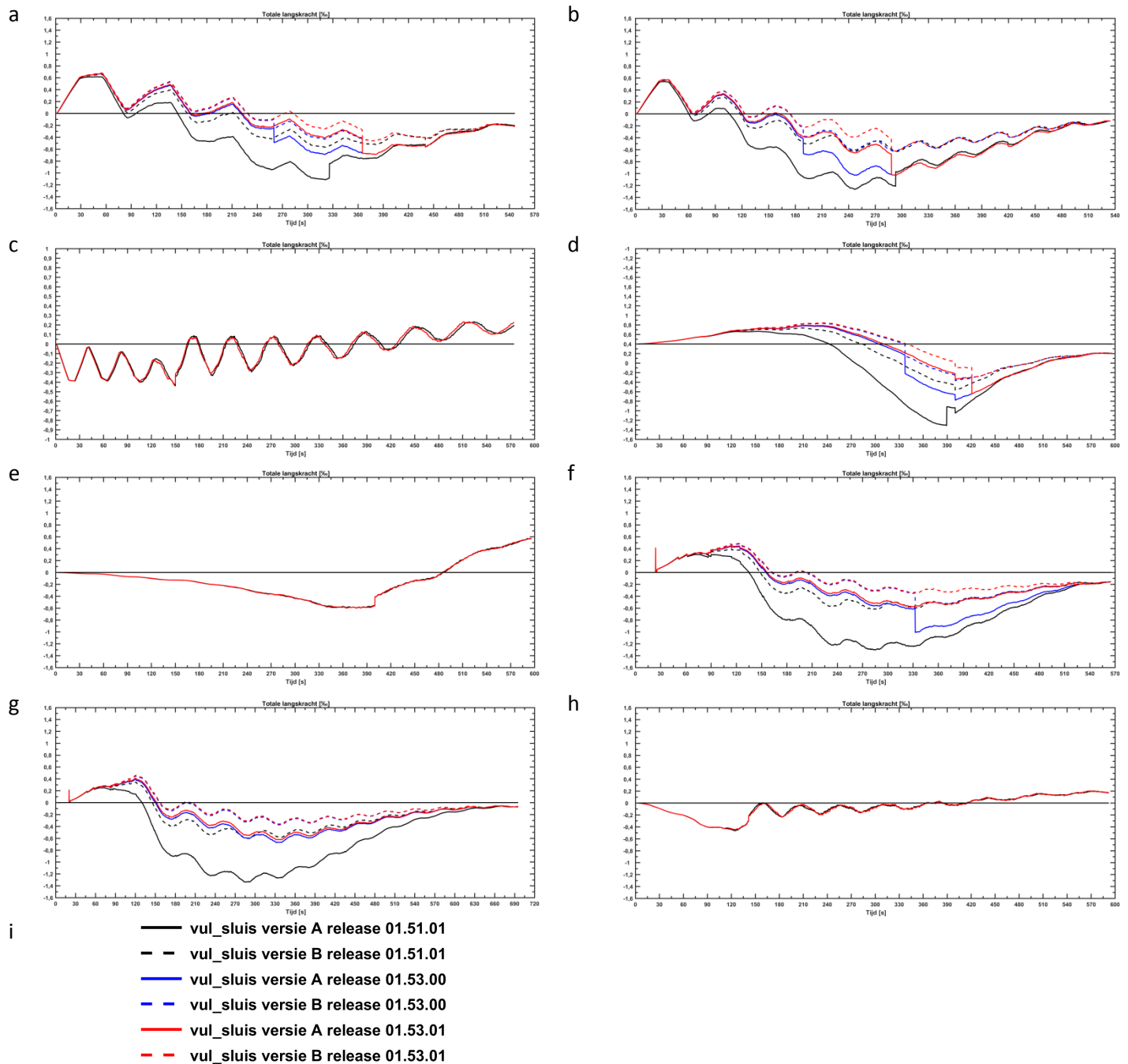
a:Case09; b: Case10; c: Case11; d: Case12; e: legende figuren.

Figuur 110 – Variatie in de tijd van de verschillende componenten van de langskracht op het schip voor Case13, Case14, Case15 en Case16 met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01.

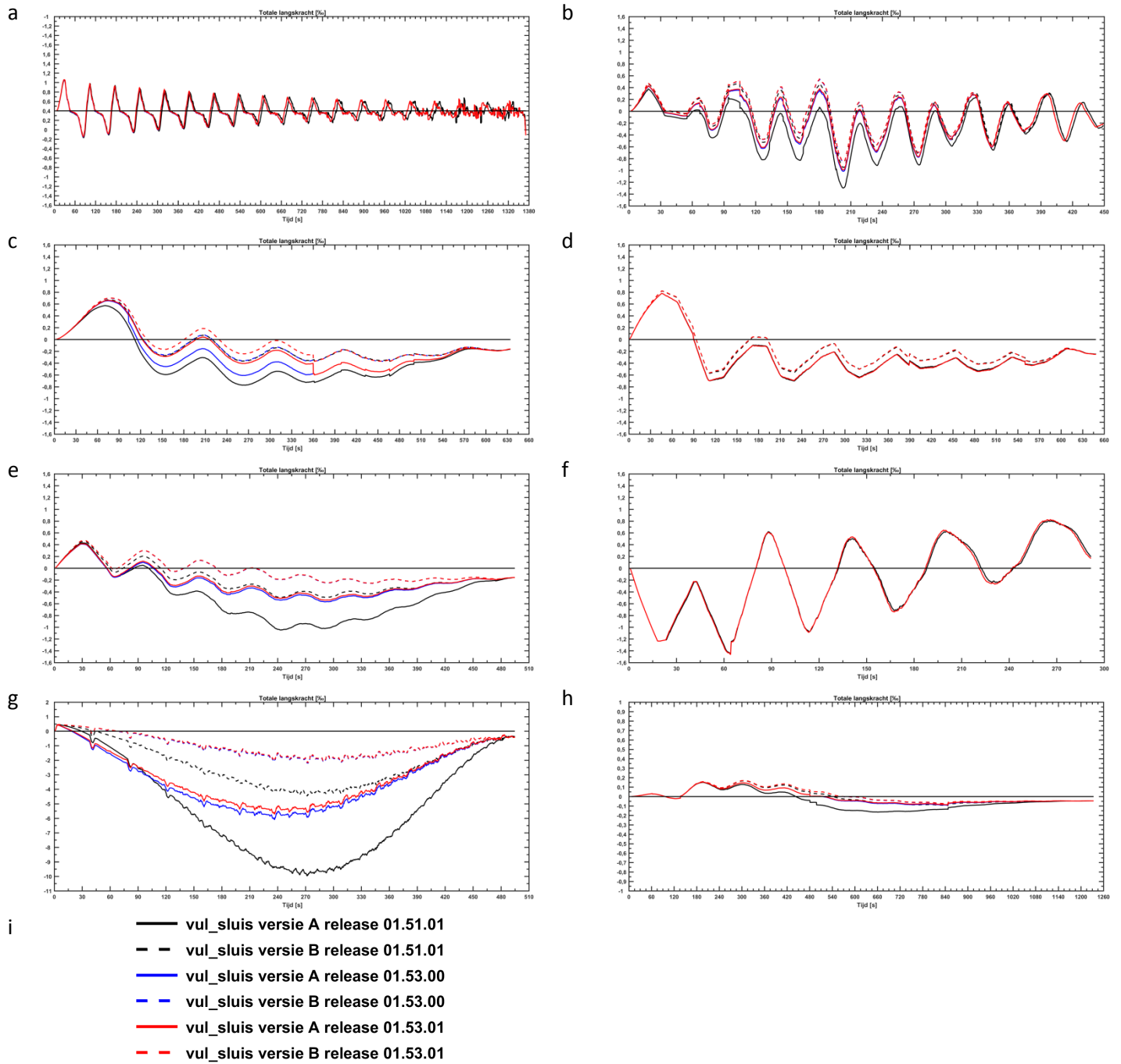


a: Case13; b: Case14; c: Case15; d: Case16; e: legende figuren.

Figuur 111 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case03, Case04, Case05, Case06, Case07 en Case08 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01



Figuur 112 – Variatie in de tijd van de totale langskracht op het schip voor Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case14, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.01, vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01



a:Case09; b: Case10; c: Case11; d: Case12; e: Case13; f: Case14; g: Case15; h: Case16; e: legende figuren.

In Figuur 107 tot en met Figuur 112 en Tabel 17 kan vastgesteld worden dat voor cases met betrekking tot ledigen van een sluis (Case03, Case05, Case08 en Case14) en cases waar de langskracht ten gevolge van translatiegolven de dominante component van de langskracht is (Case09 en Case12) een zeer beperkte invloed op componenten van de langskracht en de berekende totale langskracht waargenomen wordt ten gevolge van de aanpassingen aan vul_sluis release 01.51.00. Enkel de wijziging van de formulering van de langskracht ten gevolge van translatiegolven beïnvloedt beperkt de totale berekende langskracht op het schip voor deze cases. Voor deze cases wordt een maximaal verschil van 5 % op de minimale (negatieve) waarde van de totale langskracht op het schip berekend tussen vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.53.00.

Bij cases waarbij zich bij de simulatie met vul_sluis release 01.51.01 reeds een sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname voordeed (Case01, Case02, Case04 en Case16), doet deze sprong zich op een vroeger tijdstip voor bij vul_sluis release 01.53.00 en opnieuw op een later tijdstip bij vul_sluis release 01.53.01. In vul_sluis release 01.53.00 is dit een gevolg van de nauwkeurige berekening van het omslagpunt. Doordat deze sprong zich op een vroeger tijdstip voordoet, wordt de sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname wel groter. Echter het tijdstip van de sprong bevindt zich nu in het gedeelte waarbij de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking belangrijker is. Op hetzelfde tijdstip doet zich een tegenovergestelde sprong voor in de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, die de grotere sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname deels compenseert. Bij Case16 doet de sprong in de langskrachten berekend met vul_sluis release 01.53.00 zich op hetzelfde tijdstip voor als de sprong in de langskrachten berekend met vul_sluis release 01.51.01. De grootte van de sprong is voor deze case echter verwaarloosbaar. Daarnaast wordt bij Case11 ook een sprong berekend die er niet was in de berekening van de langskrachten met vul_sluis release 01.51.01.

Doordat de sprong in de langskracht bij vul_sluis release 01.53.01 zich opnieuw later voordoet in de tijd, wordt de grootte van de sprong kleiner. Voor Case1 en Case2 blijven de minimale (negatieve) en de maximale (positieve) waarde van de totale kracht dezelfde, ondanks het later in de tijd voorkomen van de sprong in de langskracht. Bij Case4, respectievelijk Case11, doet zich bij beide versies van vul_sluis een daling voor van de minimale waarde van de berekende langskracht met 11 %, respectievelijk 43 % en een stijging van de maximale waarde van de langskracht met 3 %.

Met versie B van vul_sluis release 01.53.00 ontstaat een sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, die niet aanwezig was in de overeenkomstige componenten van de langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01. Voor de cases waar met versie A van vul_sluis release 01.51.01 reeds een sprong in de langskracht berekend werd (Case01, Case02, Case04 en Case16) wordt met vul_sluis release 01.53.00 zowel een sprong in de langskracht van vul_sluis versie A als een sprong in de langskracht van vul_sluis versie B berekend.

Voor de overige cases wordt met vul_sluis release 01.53.00 voornamelijk een afname tot 51 % berekend van de minimale waarde van de langskracht (in vergelijking met vul_sluis release 01.51.01), zowel voor versie A als versie B van vul_sluis. De invloed van de wijzigingen aan de code van vul_sluis op de maximale waarde van de langskracht varieert voor deze cases tussen een toename met 58 % en een afname met 8 %.

Met vul_sluis release 01.53.01 worden voor deze cases beperkte verschillen in langskracht op het schip in de kolk berekend. De minimale waarde van de berekende langskracht daalt met 6 à 7 % en de maximale waarde van de langskracht stijgt met 4 %.

8 Definitie vul_sluis release 01.54.00

8.1 Algemeen

In vorig hoofdstuk is voor de 16 beschouwde cases de invloed onderzocht van de wijzigingen aan de code van vul_sluis release 01.51.01 om te komen tot vul_sluis release 01.53.01 op de verschillende componenten van de langskracht op het schip en op de berekende totale langskracht op het schip. Echter in vul_sluis release 01.53.01 zijn nog sprongen in de componenten van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking aanwezig. Uit hoofdstuk 6 volgt dat deze ontstaan doordat bij de berekening van de impuls in de vulstraal op een discontinue wijze overgegaan wordt tussen twee verschillende formuleringen.

Door het Laboratorium voor Hydraulica van Universiteit Gent zijn de formuleringen voor de berekening van het debiet en impuls in de vulstraal opnieuw afgeleid. Het resultaat van deze studieopdracht is beschreven in Schindfessel & De Mulder (2017). Hierbij werd ook de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* opgeleverd die de berekening van debiet en impuls in de vulstraal uitvoert. Deze subroutine is, mits enkele minieme aanpassingen, ingebouwd in vul_sluis release 01.54.00. De definitie van deze release is meer in detail beschreven in paragraaf 3.7 van dit rapport. Hierbij wordt opgemerkt dat van vul_sluis release 01.54.00 geen twee versies meer bestaan. Het programma berekent één enkele component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking en bijgevolg één enkele totale langskracht op het schip.

Met behulp van vul_sluis release 01.54.00 zijn de 16 cases uit hoofdstuk 2 opnieuw gesimuleerd. In paragraaf 8.2 wordt de invloed van de nieuwe formulering voor de berekening van impuls in de vulstraal op de berekende waarden van de hoogte van de vulstraal, de lengte van de neer, het debiet en impuls in de vulstraal nagegaan. Daarna wordt in paragraaf 8.3 voor al deze cases de invloed van de nieuwe release van vul_sluis op de berekende langskracht ten gevolge van impulsafname, op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en op de totale langskracht onderzocht. In dit hoofdstuk worden telkens de resultaten van vul_sluis release 01.54.00 vergeleken met deze berekend met release 01.53.01 uit het vorige hoofdstuk.

8.2 Hoogte vulstraal, lengte neer, debiet en impuls in de vulstraal

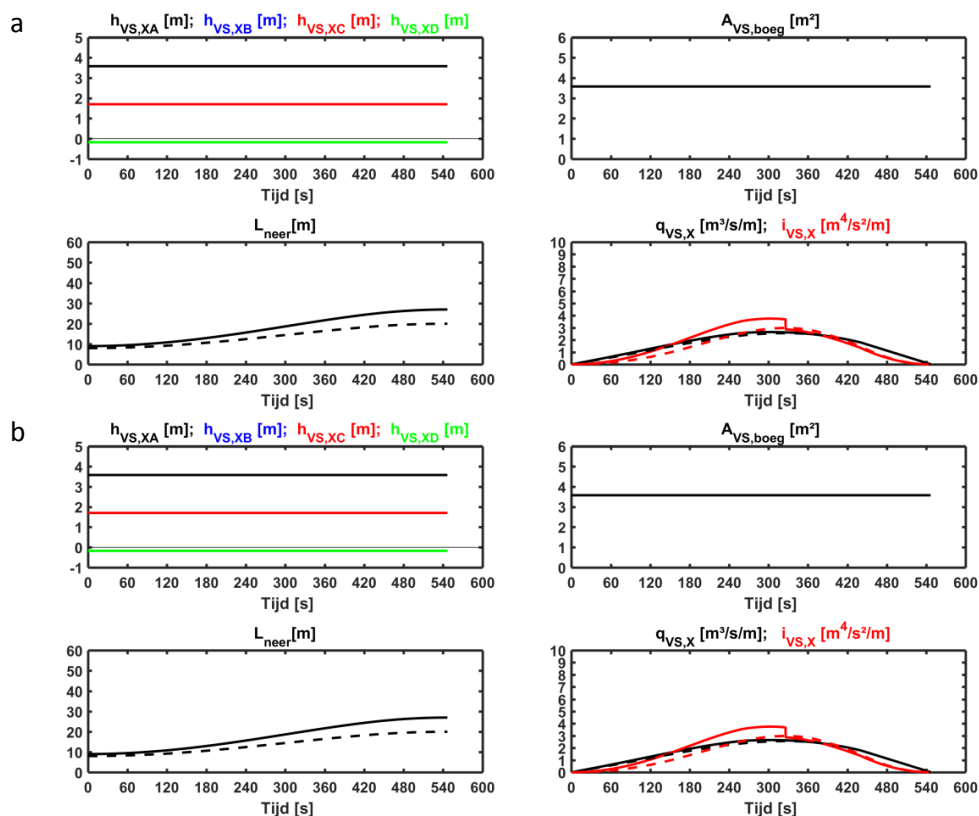
Uit paragraaf 3.7 volgt dat de grootste wijzigingen aan de formuleringen voor de berekening van debiet en impuls in de vulstraal de berekening van de lengte van de neer (en bijgevolg de berekening van het debiet in de vulstraal) en de berekening van de impuls in de vulstraal betreffen. Deze wijzigingen betreffen ook enkel de cases die betrekking hebben op vullen van een sluiskolk. De cases met betrekking tot ledigen van een sluiskolk (Case03, Case05, Case08 en Case14) worden om die reden in deze paragraaf niet beschouwd.

In Figuur 113 tot en met Figuur 116 wordt voor de cases met betrekking tot vullen van een sluis de variatie in de tijd van volgende parameters grafisch voorgesteld:

- De hoogte boven de bodem van de punten a, b, c en d van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg van het schip
- De oppervlakte van de vulstraal ter plaatse van de boeg van het schip
- De berekende lengte van de neer boven de vulstraal
- Het berekende debiet en impuls in de vulstraal.

In deze figuren worden de waarden voor deze parameters berekend met vul_sluis release 01.51.s.01 vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.54.00.

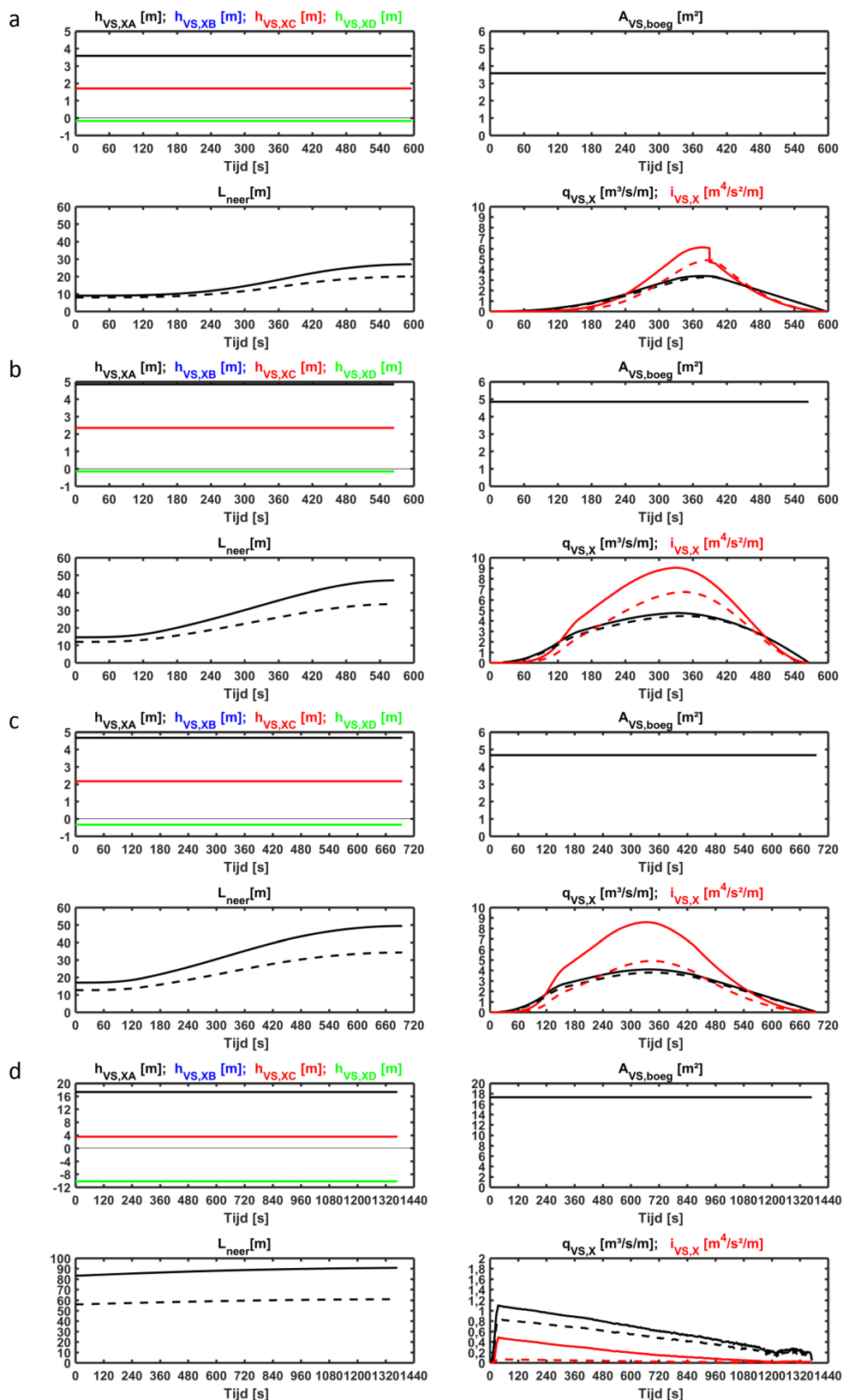
Figuur 113 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case01 en Case02 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00



a: Case01; b: Case02; Volle lijn: vul_sluis release 01.51.s.01 – streeplijn: vul_sluis release 01.54.00

Hoogtes $h_{VS,XA}$, $h_{VS,XB}$, $h_{VS,XC}$ en $h_{VS,XD}$ zijn bepaald ter plaatse van de boeg van het schip

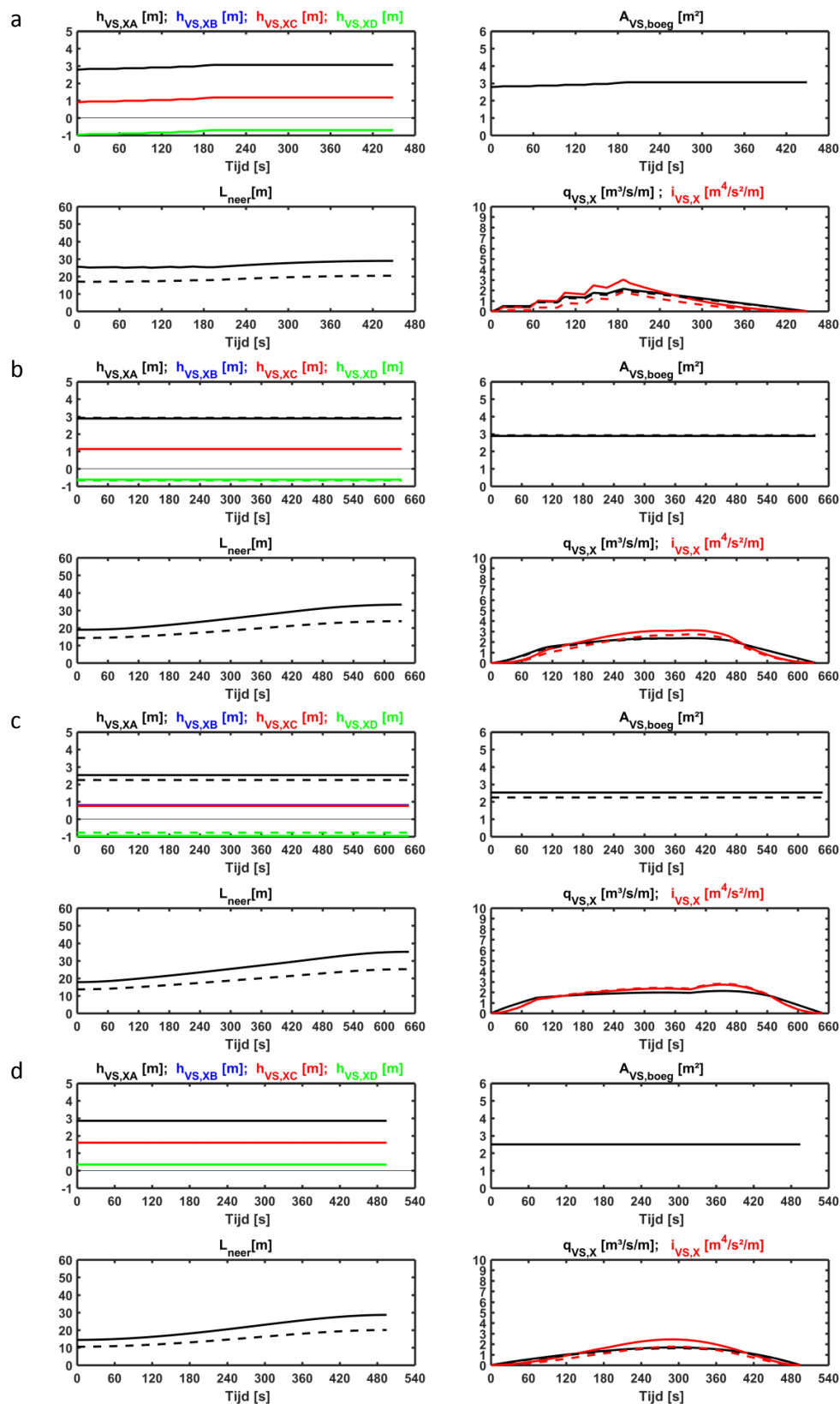
Figuur 114 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraat voor Case04, Case06, Case07 en Case09 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00



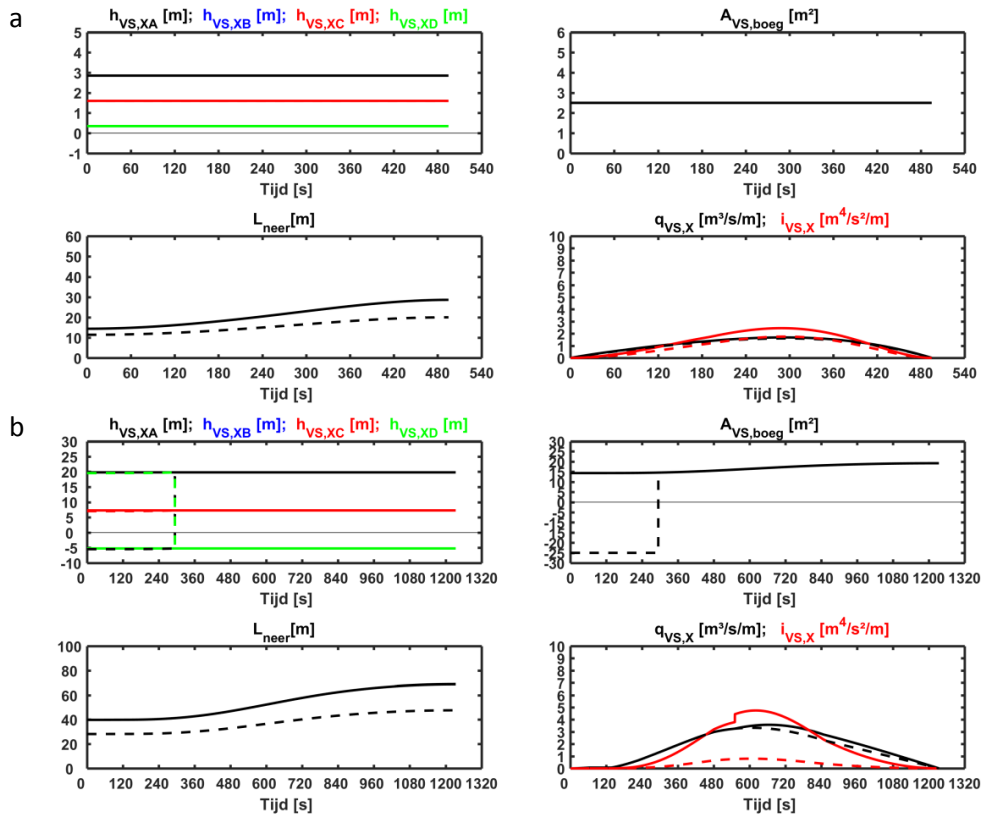
a: Case04; b: Case06; c: Case07; d: Case09; Volle lijn: vul_sluis release 01.51.s.01 – streeplijn: vul_sluis release 01.54.00

Hoogtes $h_{VS,XA}$, $h_{VS,XB}$, $h_{VS,XC}$ en $h_{VS,XD}$ zijn bepaald ter plaatse van de boeg van het schip

Figuur 115 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case10, Case11, Case12 en Case13 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00



Figuur 116 – Variatie in de tijd interne parameters met betrekking tot debiet en impuls in de vulstraal voor Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.51.s.01, en vul_sluis release 01.54.00



a: Case15; b: Case16; Volle lijn: vul_sluis release 01.51.s.01 – streeplijn: vul_sluis release 01.54.00
Hoogtes $h_{VS,XA}$, $h_{VS,XB}$, $h_{VS,XC}$ en $h_{VS,XD}$ zijn bepaald ter plaatse van de boeg van het schip

Met betrekking tot de hoogte boven de bodem van de punten A, B, C, en D van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg volgt uit Figuur 113 tot en met Figuur 116 dat, met uitzondering van Case11 en Case12, voor de overige cases dezelfde waarden berekend worden met vul_sluis release 01.51.s.01 en vul_sluis release 01.54.00. Uit paragraaf 6.5 volgt dat bij Case11 en Case12 de formuleringen uit zone 5 en zone 6 toegepast worden voor de berekening van de begrenzing van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg. Voor de overige cases is dit zone 2 en zone 3. Uit de code van vul_sluis volgt dat voor deze 2 zones de volgende formuleringen zijn geprogrammeerd (voor de definitie van de punten en de gebruikte symbolen wordt verwezen naar Verelst *et al.* (2014)):

1. Zone 5

$$\begin{cases}
 h_{VS,XA}^n = h_{VS,m}^n + h_{VS}^n + X \cdot \frac{1}{6} & \phi \geq 0 \\
 h_{VS,XA}^n = -\frac{(X - X_{VS,G}^n)}{(X_{VS,L}^n - X_{VS,G}^n)} \cdot (h_{VS,H}^n - h_{VS,Q}^n) + h_{VS,Q}^n & \phi < 0 \\
 h_{VS,XB}^n = h_{VS,m}^n + \frac{h_{VS}^n}{2} + X \cdot \tan(\phi) - X \cdot \frac{1}{12} + \frac{(X - X_{VS,G}^n)}{(X_{VS,B}^n - X_{VS,G}^n)} \cdot (h_{VS,W}^n - h_{VS,B}^n) \\
 h_{VS,XC}^n = h_{VS,m}^n - \frac{h_{VS}^n}{2} + X \cdot \tan(\phi) + X \cdot \frac{1}{12} + \frac{(X - X_{VS,G}^n)}{(X_{VS,B}^n - X_{VS,G}^n)} \cdot (h_{VS,W}^n - h_{VS,B}^n) \\
 h_{VS,XD}^n = h_{VS,m}^n - h_{VS}^n - X \cdot \frac{1}{6} & \phi \geq 0 \\
 h_{VS,XD}^n = -\frac{(X - X_{VS,R}^n)}{(X_{VS,L}^n - X_{VS,R}^n)} \cdot (X_{VS,L}^n - X_{VS,G}^n) \cdot \frac{1}{4} & \phi < 0
 \end{cases}$$

2. Zone 6

$$\begin{cases}
h_{VS,XA}^n = h_{VS,m}^n + X \cdot \frac{1}{4} & \phi \geq 0 \\
h_{VS,XA}^n = -\frac{(X - X_{VS,G}^n)}{(X_{VS,L}^n - X_{VS,G}^n)} \cdot (h_{VS,H}^n - X \cdot h_{VS,Q}^n) + h_{VS,Q}^n & \phi < 0 \\
h_{VS,XB}^n = h_{VS,m}^n + X \cdot \tan(\phi) + \frac{(X - X_{VS,G}^n)}{(X_{VS,B}^n - X_{VS,G}^n)} \cdot (h_{VS,W}^n - h_{VS,B}^n) \\
h_{VS,XC}^n = h_{VS,XB}^n \\
h_{VS,XD}^n = -(X - X_{VS,G}^n) \cdot \frac{1}{4} & \phi \geq 0 \\
h_{VS,XD}^n = -\frac{(X - X_{VS,R}^n)}{(X_{VS,L}^n - X_{VS,R}^n)} \cdot (X_{VS,L}^n - X_{VS,G}^n) \cdot \frac{1}{4} & \phi < 0
\end{cases}$$

Hierbij wordt het volgende vastgesteld:

- In Verelst *et al.* (2014) en in Vrijburcht *et al.* (1988) wordt voor zone 5 en zone 6 bij de berekening van $h_{VS,XA}^n$ en $h_{VS,XD}^n$ de onderverdeling in $\phi \geq 0$ en $\phi < 0$ niet gemaakt. In deze rapporten zijn enkel de formuleringen aanwezig die hierboven bij $\phi < 0$ vermeld zijn. In de code van vul_sluis is deze onderverdeling gemaakt, omdat voor $\phi \geq 0$ $X_{VS,L}^n$ gelijk is aan oneindig. In Matlab is de waarde voor $X_{VS,L}^n$ hierbij gelijkgesteld aan *Inf*, de in Matlab gebruikte parameter om oneindig voor te stellen. Echter, in Matlab hebben de bewerkingen *Inf - Inf* en *Inf / Inf* altijd NaN als uitkomst. Om te vermijden dat hierdoor de waarde voor $h_{VS,XA}^n$ en $h_{VS,XD}^n$ ook gelijk worden aan NaN, is voor deze parameters de onderverdeling in $\phi \geq 0$ en $\phi < 0$ geprogrammeerd. In *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* is deze onderverdeling ook niet geprogrammeerd, maar is $X_{VS,L}^n$ gelijk gesteld aan 100000000, om de problemen met het gebruik van *Inf* te vermijden.
- De formulering voor $h_{VS,XA}^n$ in zone 5 bij $\phi < 0$ in de code van vul_sluis is foutief. Deze moet gelijk zijn aan (zoals vermeld in Vrijburcht *et al.* (1988)):

$$h_{VS,XA}^n = \frac{(X - X_{VS,G}^n)}{(X_{VS,L}^n - X_{VS,G}^n)} \cdot (h_{VS,H}^n - h_{VS,Q}^n) + h_{VS,Q}^n$$

- De formuleringen voor $h_{VS,XA}^n$ en $h_{VS,XD}^n$ in zone 5 bij $\phi \geq 0$ in de code van vul_sluis zijn foutief. Deze moeten gelijk zijn aan

$$\begin{aligned}
h_{VS,XA}^n &= h_{VS,m}^n + \frac{h_{VS}^n}{2} + X \cdot \frac{1}{6} \\
h_{VS,XD}^n &= h_{VS,m}^n - \frac{h_{VS}^n}{2} - X \cdot \frac{1}{6}
\end{aligned}$$

Hierbij stelt zich dan ook de vraag of de formuleringen voor $h_{VS,XA}^n$ en $h_{VS,XD}^n$ in zone 6 bij $\phi \geq 0$ in de code van vul_sluis correct zijn. Indien bijvoorbeeld $\phi = 0$ ingevuld wordt in de formuleringen vermeld in Vrijburcht *et al.* (1988), i.e. dezelfde formuleringen als voor $\phi < 0$, dan zijn deze niet gelijk aan de in de code geprogrammeerde formuleringen, rekening houdend met het feit dat $X_{VS,L}^n = \infty$.

In *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* zijn voor zone 5 en zone 6 de formuleringen uit Vrijburcht *et al.* (1988) geprogrammeerd. Zoals hierboven reeds vermeld is hierbij $X_{VS,L}^n$ gelijk gesteld aan 100000000, om de problemen met het gebruik van *Inf* in Matlab te vermijden. Hieruit volgt dat voor zone 5 en zone 6 de waarden voor $h_{VS,XA}^n$ en $h_{VS,XD}^n$ berekend met *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* (uit vul_sluis release 01.54.00) juist zijn en dat deze berekend met de formuleringen in *vul_sluis_impuls_straal.m* (uit vul_sluis release 01.53.01) niet volledig correct zijn. Het verschil tussen de waarden berekend met de beide releases van vul_sluis is echter zeer klein (zie Figuur 115). Om die reden worden de formuleringen uit *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* behouden in volgende releases van vul_sluis.

Voor Case16 volgt uit Figuur 116 dat zich rond $t = 291$ s een omslag voordoet in de hoogteligging van de punten A en D van de begrenzing van het snelheidsprofiel. De hoogteligging van punt A wordt deze van punt D en omgekeerd. Als het midden van de opening in de sluisdeur dicht bij het wateroppervlak gelegen is dan bij de bodem, vindt in de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* een omkering van het snelheidsprofiel plaats. Deze omkering doet zich aan het begin van de nivellering voor. Hierbij wordt opgemerkt dat de hoogteligging van het midden van de vulopening iets hoger is dan het werkelijke midden, aangezien deze bij toepassen van breekbalken berekend wordt als:

$$h_{VS,m}^n = Z_{BB} - A_{VS,BBmax} / 2b_K.$$

In de inputfile is voor $A_{VS,BBmax}$ een waarde opgegeven gelijk aan de totale oppervlakte van de openingen. Door de deling door de sluisbreedte is het berekende midden van de openingen iets hoger gelegen dan het werkelijke midden van de openingen. Bijgevolg wordt ook een iets hogere ligging bekomen dan het midden van de waterdiepte, waardoor de omkering van het snelheidsprofiel plaatsvindt. Na $t = 291$ s is het waterpeil in de kolk zodanig gestegen dat het berekende midden van de openingen in de deur zich in de onderste helft van de waterkolom bevindt, waardoor de omkering van het snelheidsprofiel zich niet meer voordoet. Indien in de inputfile een waarde voor $A_{VS,BBmax}$ wordt opgegeven die juist kleiner is dan de totale oppervlakte van de openingen, wordt geen omkering van het snelheidsprofiel meer berekend en blijkt de berekende waarde voor debiet en impuls in de vulstraal dezelfde als berekend met omkering van het snelheidsprofiel.

Wat de lengte van de neer betreft, wordt voor alle cases met vul_sluis release 01.54.00 een kleinere waarde voor de lengte van de neer berekend dan met vul_sluis release 01.51.s.01. De verschillen tussen het met beide releases van vul_sluis berekende debiet in de vulstraal zijn, met uitzondering van Case09, echter verwaarloosbaar. Voor Case09 wordt een iets lager debiet in de vulstraal berekend met vul_sluis release 01.54.00. De met vul_sluis release 01.54.00 berekende impuls in de vulstraal vertoont voor alle cases een vloeiend verloop en is voor alle cases beduidend lager dan deze berekend met vul_sluis release 01.51.s.01.

8.3 Langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking en totale kracht op schip

Om tot vul_sluis release 01.54.00 te komen is in de code van vul_sluis enkel de subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m* vervangen door de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m*. Deze subroutine berekent het debiet en impuls in de vulstraal en beïnvloedt enkel de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Ook is deze wijziging enkel van toepassing bij het vullen van een sluisolk en niet bij ledigen. Om die reden is in Figuur 117 tot en met Figuur 120 enkel de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname, de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.54.00 vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.53.01. Tabel 18 vergelijkt voor deze beide releases en voor de beschouwde cases met betrekking tot vullen van een sluis de minimale en maximale waarden van de berekende totale langskracht op het schip. Daarnaast worden in deze tabel de minimale en maximale waarden van de langskracht berekend met vul_sluis release 01.54.00 ook vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.51.01, de release van vul_sluis die in het begin van dit rapport is toegepast voor alle wijzigingen aan de code zijn doorgevoerd.

Uit Figuur 117 tot en met Figuur 120 volgt dat de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking berekend met vul_sluis release 01.54.00 een vloeiende variatie in de tijd vertoont. Er worden geen sprongen meer waargenomen. Hierdoor worden voor de meeste cases ook geen sprongen meer waargenomen in de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.54.00. Enkel bij Case04, Case10, Case12 en Case16 worden kleine sprongen in de berekende totale langskracht waargenomen. Deze sprongen zijn echter het gevolg van de sprongen in de langskracht ten gevolge van translatiegolven.

Voor alle cases worden met vul_sluis release 01.54.00 grotere langskrachten ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking berekend dan met versie A en versie B van vul_sluis release 01.53.01. Hierbij is de langskracht ten gevolge van impulsafname negatief van teken en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking positief van teken. In de berekende totale langskracht op het schip is de relatieve bijdrage van de langskracht ten gevolge van impulsafname groter dan de relatieve bijdrage van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Hierdoor worden voor alle cases met vul_sluis release 01.54.00 iets kleinere positieve langskrachten op het schip berekend en iets grotere negatieve waarden van de langskracht dan met versie A en versie B van vul_sluis release 01.53.01.

Uit Tabel 18 volgt dat het negatieve extremum van de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.54.00, met uitzondering van Case09 en Case16, in absolute waarde tot 69 % groter kan zijn dan deze berekend met versie A van vul_sluis release 01.53.01 en voor alle cases in absolute waarde tot 53 % kleiner is dan het negatieve extremum van versie A van vul_sluis release 01.51.01. Voor Case09 en Case16 worden met vul_sluis release 01.54.00 respectievelijk 4 % en 11 % (in absolute waarde) kleinere negatieve extrema berekend dan met vul_sluis release 01.53.01. Het positieve extremum van de langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.54.00 verschilt tot 13 % met dit berekend met versie A van vul_sluis release 01.53.01. Voor sommige cases wordt een lager positief extremum berekend, voor andere cases een hoger. Met uitzondering van Case07 is het positieve extremum van de langskracht berekend met vul_sluis release 01.54.00 tot 30 % lager dan het positieve extremum van de langskracht berekend met versie A van vul_sluis release 01.51.00. Voor Case07 wordt met vul_sluis release 01.54.00 een 64 % lager positief extremum van de langskracht op het schip berekend dan met vul_sluis release 01.51.01.

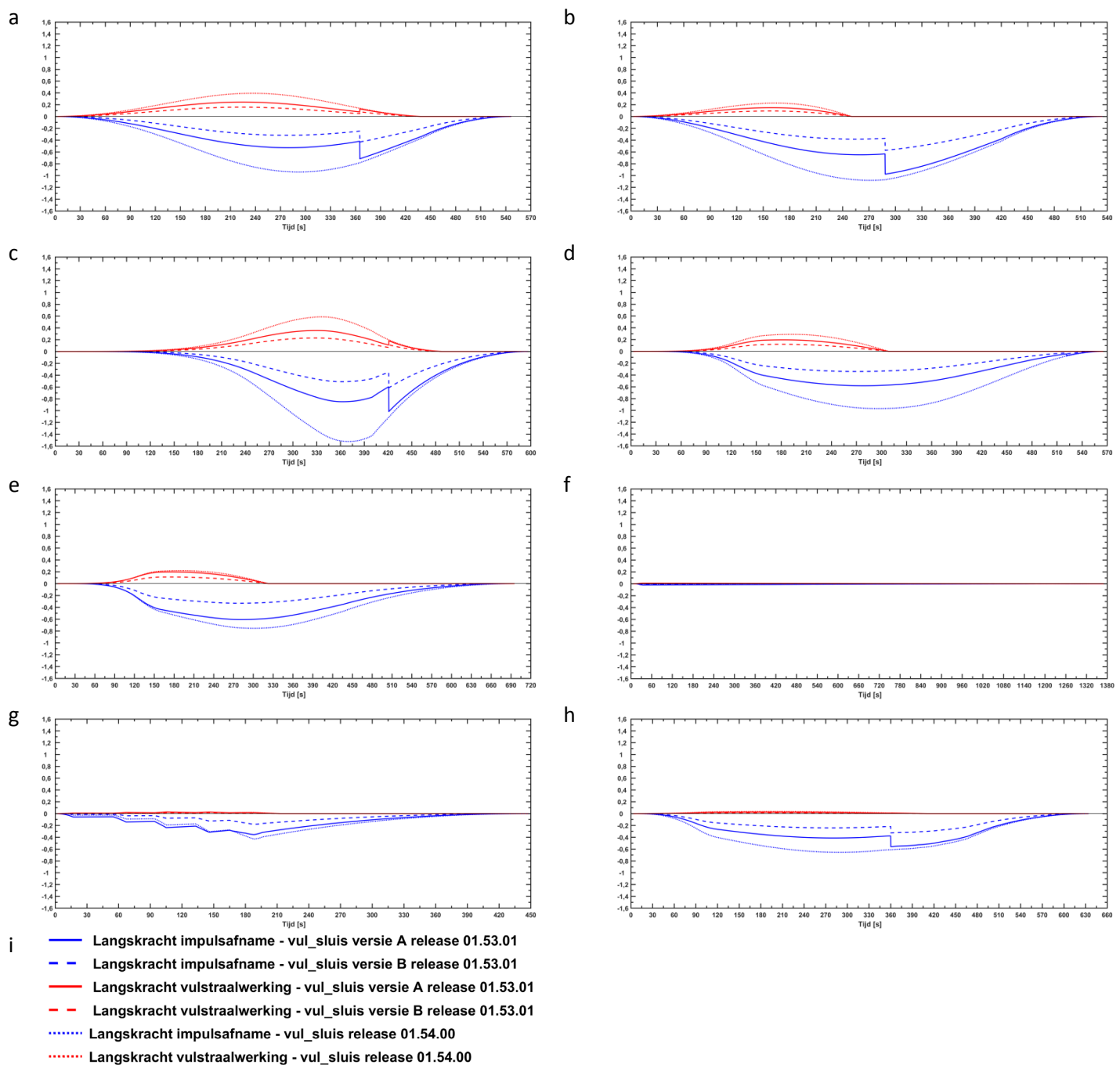
Aangezien de totale langskracht op het schip berekend met versie B van vul_sluis release 01.53.01 en van vul_sluis release 01.51.01 algemeen (in absolute waarde) kleiner is dan deze berekend met versie A, worden beduidend grotere verschillen berekend tussen de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.54.00 en deze berekend met versie B van vul_sluis release 01.53.01. De verschillen kunnen (in absolute waarde) oplopen tot 240 % voor het negatieve extremum en 20 % voor het positieve

extremum. Met uitzondering van Case09 en Case16 is het negatieve extremum berekend met vul_sluis release 01.54.00 (in absolute waarde) beduidend groter en het positieve extremum (in absolute waarde) iets kleiner dan dit berekend met versie B van vul_sluis release 01.53.01. Eenzelfde conclusie geldt voor de verschillen tussen de extrema van de langskracht berekend met vul_sluis release 01.54.00 en deze berekend met versie B van vul_sluis release 01.51.01. In absolute waarde worden met vul_sluis release 01.54.00 negatieve en positieve extrema van de langskracht berekend die tot 76 %, respectievelijk 17 % verschillen met deze berekend met versie B van vul_sluis release 01.51.01

Tabel 18 - Vergelijking minimale en maximale waarden van de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.53.01 met deze berekend met vul_sluis release 01.54.00.

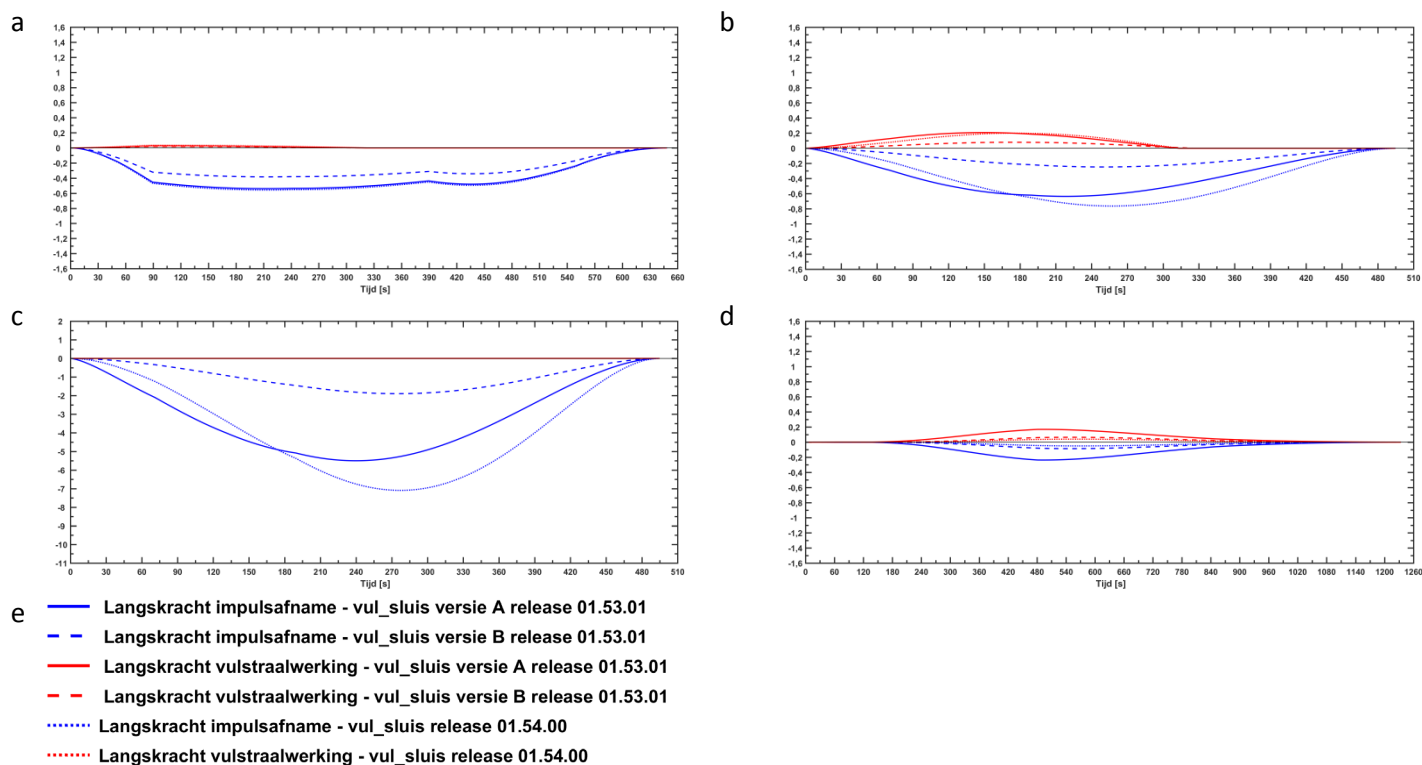
	vul_sluis release 01.51.01				vul_sluis release 01.53.01				vul_sluis release 01.54.00		Verschil release 01.51.01 – release 01.54.00				Verschil release 01.53.01 – release 01.54.00			
	versie A		versie B		versie A		versie B				versie A		versie B		versie A		versie B	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Case01	-1,11	0,62	-0,57	0,66	-0,69	0,67	-0,47	0,68	-0,74	0,66	33	-6	-30	0	-7	1	-57	3
Case02	-1,27	0,54	-0,64	0,56	-1,03	0,57	-0,63	0,58	-1,12	0,56	12	-4	-75	0	-9	2	-78	3
Case04	-1,71	0,27	-0,97	0,34	-1,04	0,39	-0,71	0,44	-1,24	0,35	27	-30	-28	-3	-19	10	-75	20
Case06	-1,30	0,41	-0,62	0,41	-0,58	0,45	-0,35	0,49	-0,98	0,43	25	-5	-58	-5	-69	4	-180	12
Case07	-1,34	0,25	-0,61	0,35	-0,63	0,41	-0,37	0,46	-0,79	0,41	41	-64	-30	-17	-25	0	-114	11
Case09	-0,29	0,32	-0,27	0,33	-0,27	0,33	-0,27	0,34	-0,26	0,34	10	-6	4	-3	4	-3	4	0
Case10	-1,30	0,38	-0,95	0,47	-0,99	0,43	-0,85	0,55	-1,06	0,46	18	-21	-12	2	-7	-7	-25	16
Case11	-0,77	0,57	-0,37	0,67	-0,60	0,66	-0,37	0,70	-0,65	0,62	16	-9	-76	7	-8	6	-76	11
Case12	-0,70	0,78	-0,57	0,82	-0,70	0,78	-0,57	0,82	-0,71	0,78	-1	0	-25	5	-1	0	-25	5
Case13	-1,05	0,43	-0,50	0,45	-0,54	0,41	-0,25	0,47	-0,72	0,45	31	-5	-44	0	-33	-10	-188	4
Case15	-9,96	0,45	-4,45	0,46	-5,71	0,42	-2,16	0,46	-7,35	0,46	26	-2	-65	0	-29	-10	-240	0
Case16	-0,17	0,15	-0,10	0,17	-0,09	0,15	-0,08	0,17	-0,08	0,17	53	-13	20	0	11	-13	0	0

Figuur 117 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking voor Case01, Case02, Case04, Case06, Case07, Case08, Case09, Case10 en Case11 berekend met vul_sluis release 01.53.01, en vul_sluis release 01.54.00



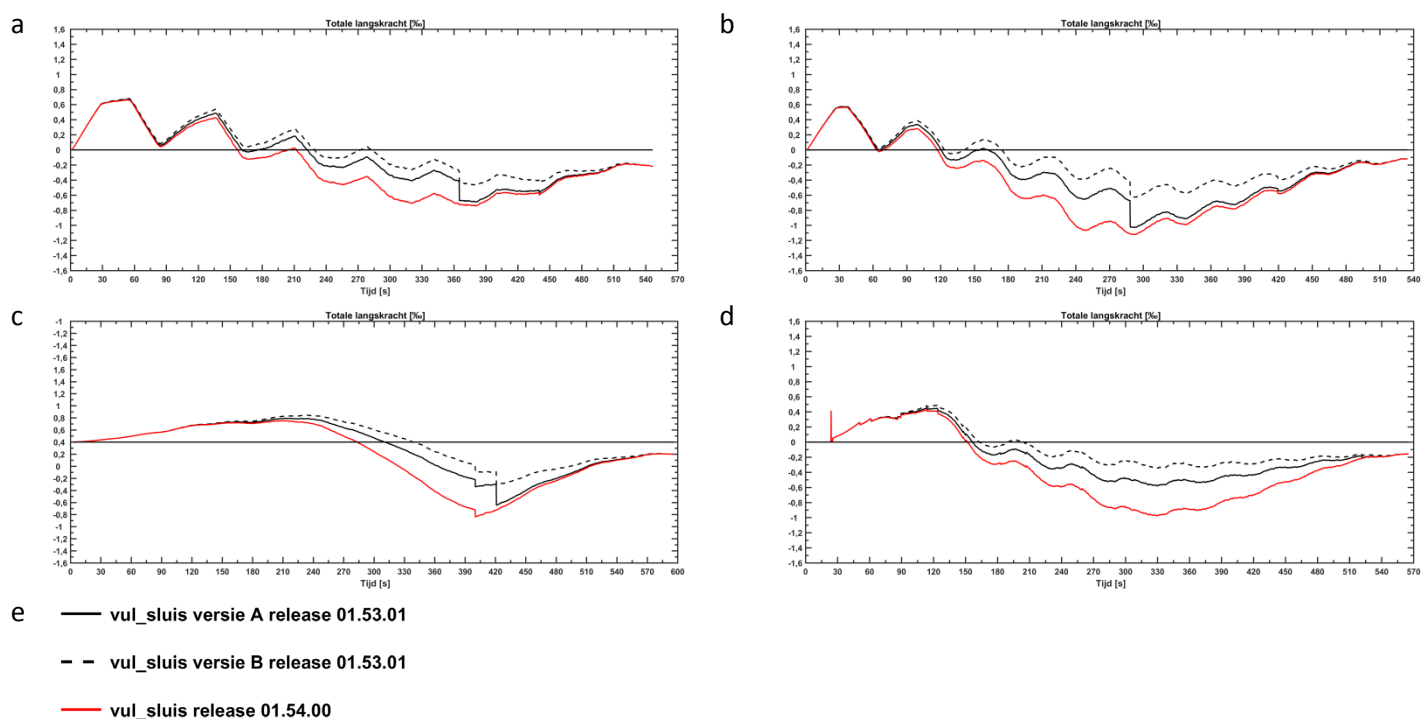
a:Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: Case07; f: Case09; g: Case10; h: Case11; i: legende figuren.

Figuur 118 – Variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking voor Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met vul_sluis release 01.53.01, en vul_sluis release 01.54.00



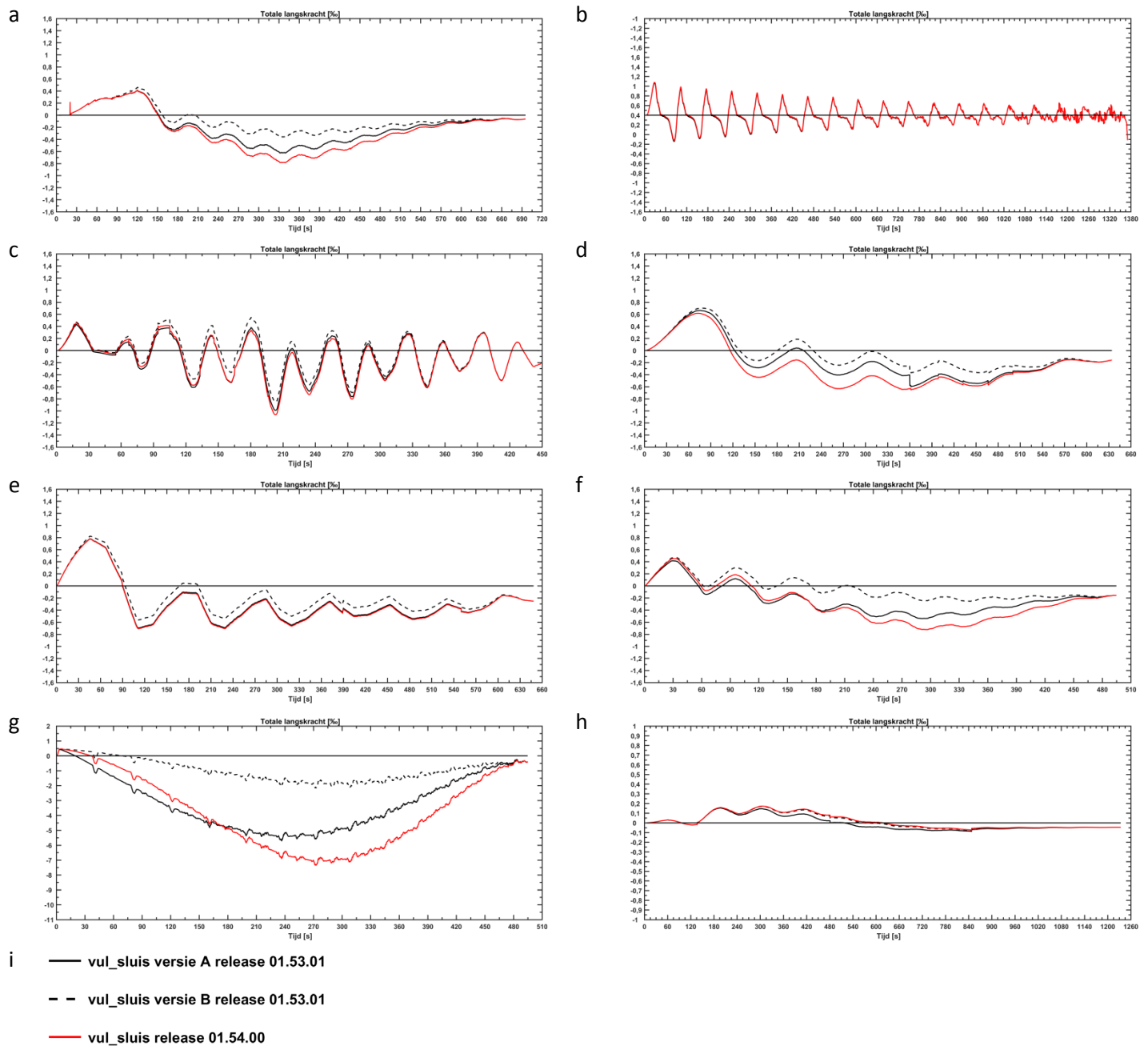
a:Case12; b: Case13; c: Case15; d: Case16; e: legende figuren.

Figuur 119 – Variatie in de tijd van totale langskracht op het schip voor Case01, Case02, Case04 en Case06 berekend met release 01.53.01 en vul_sluis release 01.54.00



a:Case01; b: Case02; c: Case04; d: Case06; e: legende figuren.

Figuur 120 – Variatie in de tijd van totale langskracht op het schip voor Case07, Case09, Case10, Case11, Case12, Case13, Case15 en Case16 berekend met release 01.53.01 en vul_sluis release 01.54.00



a:Case07; b: Case09; c: Case10; d: Case11; e: Case12; f: Case13; g: Case15; h: Case16; i: legende figuren.

9 Conclusie

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, 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 bij vullen 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 langskrachten 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 niet beschouwd bij de ontwikkeling van het programma vul_sluis.

De ontwikkeling van het programma vul_sluis is gestart in het WL-project 00_077. In project 00_077 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 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. Bij de rapportering van de ontwikkeling van het programma vul_sluis binnen project 00_077 en de externe revisie van de rapporten zijn een aantal opmerkingen, aanbevelingen of verbeterpunten naar boven gekomen.

Voorliggend rapport beschrijft in detail de resultaten van het onderzoek naar deze opmerkingen, aanbevelingen of verbeterpunten met betrekking tot het programma vul_sluis. Deze betreffen enerzijds een aantal aanbevelingen waarbij de wijziging van bepaalde invoerparameters of formuleringen op de simulatieresultaten wordt nagegaan. Anderzijds betreffen deze aanbevelingen onderzoek naar de variatie in de tijd van bepaalde variabelen, die intern in het programma gebruikt worden. Hiervoor zijn 16 karakteristieke cases geselecteerd uit de validatiesimulaties voor het programma vul_sluis en uit simulaties van projecten waarvoor WL recent het ontwerp van het nivelleersysteem heeft uitgevoerd.

Vooreerst zijn een aantal **aanpassingen aan de code** van het programma vul_sluis uitgevoerd. De belangrijkste aanpassing betreft het samenvoegen van beide versies van het programma vul_sluis. Vanaf vul_sluis release 01.50.00 wordt de berekening van het debiet door de nivelleeropeningen, de waterstand in de sluiskolk, de component van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en de component van de langskracht ten gevolge van wrijving slechts éénmaal uitgevoerd. De berekening van de impuls in de vulstraat, de component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en de component van de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking wordt tweemaal uitgevoerd, een eerste keer met de parameterwaarden en formuleringen voor versie A en een tweede keer met de parameterwaarden en formuleringen voor versie B. Dit wordt ook zo weggeschreven naar de uitvoerfile van het programma. Daarnaast zijn in vul_sluis release 01.51.s.01 en vul_sluis release 01.52.00 een aantal aanpassingen aan de code uitgevoerd, die speciaal zijn geprogrammeerd voor de in dit rapport uitgevoerde analyses.

Een eerste analyse betreft een **gevoeligheidsanalyse**, waarbij de invloed onderzocht is van de variatie van een aantal **algemene invoerparameters** op de langskrachten op het schip berekend met vul_sluis voor de 16 geselecteerde cases. Concreet werden in deze gevoeligheidsanalyse de coëfficiënt ψ_1 voor drukverlaging ten gevolge van afstromend water, de coëfficiënt ψ_3 die aangeeft of de grenslaag achter de boeg volledig ontwikkeld is of niet, de ruwheidslengtes k_{kolk} van de kolkwanden en k_{schip} van de romp van het schip en de coëfficiënten CE_1 en CE_2 voor de damping van translatiegolven beschouwd.

De coëfficiënt ψ_1 heeft enkel invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraatwerking, de coëfficiënten ψ_3 , k_{kolk} en k_{schip} hebben enkel invloed op de langskracht ten gevolge van wrijving. Een afname, respectievelijk toename van de waarde van de coëfficiënt ψ_1 resulteert in een evenredige afname,

respectievelijk toename van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking. Een wijziging van de coëfficiënten ψ_3 , $k_{\text{kol}}k$ en k_{schip} heeft een grote invloed op de component van de langskracht ten gevolge van wrijving. Echter, de bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale langskracht op het schip is meestal beperkt. Hierdoor is de invloed van een toename of afname van de waarde van de coëfficiënt ψ_1 , ψ_3 , $k_{\text{kol}}k$ en k_{schip} op de totale langskracht ook eerder beperkt.

De coëfficiënten CE_1 en CE_2 hebben enkel invloed op de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Een verlaging, respectievelijk verhoging van de waarde van coëfficiënt CE_1 heeft een beperkte invloed (kleinere, respectievelijk grotere demping) op de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven en zorgt bij bijna alle cases voor een stijging, respectievelijk daling van de totale kracht. Een toename van de waarde van coëfficiënt CE_2 geeft aanleiding tot een toename van de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven. Wat de invloed op de totale kracht betreft, resulteert het verlagen, respectievelijk verhogen van CE_2 , voor bijna alle cases in een toename, respectievelijk afname van de totale langskracht.

Daarna werd de invloed onderzocht op de resultaten van **15 (beperkte) wijzigingen aan de code van het programma vul_sluis**. Deze wijzigingen betreffen enerzijds een aantal fouten in de code die in Verelst *et al.* (2014), Verelst *et al.* (2016a) en Verelst *et al.* (2016c) tijdens de rapportering zijn opgemerkt. Anderzijds betreffen deze wijzigingen een aantal gewijzigde formuleringen, waarvan de invloed op de langskrachten op het schip wordt nagegaan. Hiervoor werden eerst simulaties uitgevoerd voor de 16 geselecteerde cases met vul_sluis release 01.51.01. Deze simulaties worden gebruikt als basissimulatie voor de vergelijking met de resultaten van simulaties met de gewijzigde formuleringen. Daarna is telkens één gewijzigde formulering actief gemaakt in de code van vul_sluis release 01.52.00 en zijn de simulaties voor de 16 cases opnieuw uitgevoerd met deze gewijzigde formulering.

Uit deze simulaties werd het volgende besloten:

- De verdubbeling van de helling bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal zorgt ervoor dat de tijdsduur dat de vulstraal tegen de boeg botst toeneemt. Hierbij wijzigt de grootte van de component van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking ook beduidend. Echter de invloed op de berekende totale langskrachten is voor de meeste cases beperkt. Voor een aantal cases wordt een wijziging van de absolute waarde van de totale langskracht met 25 % waargenomen.
- Bij een aantal cases geeft de wijziging van de stapgrootte bij de berekening van het omslagpunt aanleiding tot een wijziging in het tijdstip waarop de sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking of de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend met vul_sluis versie A zich voordoet. Bij een kleinere stapgrootte van 0,10 m of 0,01 m, doet deze sprong in de langskracht zich eerder voor in de tijd. Bij vul_sluis versie B zorgt deze wijziging ervoor dat de (al kleine) sprongen nog kleiner worden, waardoor (visueel) een vloeiende variatie in de tijd van de berekende langskracht bekomen wordt. De berekening van de locatie van omslagpunt volgens Rajaratnam & Subramanya (1986) zorgt ervoor dat de sprongen in de langskracht berekend met vul_sluis versie A niet meer aanwezig zijn en geeft aanleiding tot een vloeiende variatie in de tijd van de langskracht.
- De wijziging van $2 \ln(1/0,605)$ in het correcte $2 \ln(2)$ bij de berekening van σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg heeft een beperkte invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolg van impulsafname. Het (correcte) toevoegen van het gemiddelde bij de berekening van de standaarddeviatie heeft voor alle cases een beduidende invloed op de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname.
- De aanpassing van de integratiegrenzen bij de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg is enkel doorgevoerd in vul_sluis versie B en beïnvloedt bijgevolg enkel de langskracht berekend met vul_sluis versie B. Voor een aantal cases wordt door het aanpassen van de integratiegrenzen een sprong geïntroduceerd in de langskracht ten gevolge van impulsafname. Het tijdstip waarop deze sprong zich voordoet is hetzelfde als het tijdstip van de sprong in de

langskracht berekend met vul_sluis versie A. Voor de overige cases worden iets hogere waarden van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname berekend. Daarnaast wordt voor bijna alle cases een toename van de totale langskracht berekend.

- Het weglaten van de factor $(I_K - X_{\text{boeg}})/I_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname heeft een eerder beperkte invloed op de berekende langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname. Op de totale langskracht heeft het weglaten van de factor $(I_K - X_{\text{boeg}})/I_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking een verwaarloosbare invloed. Bij het weglaten van deze factor in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname worden beperkt lagere positieve extrema van de totale langskracht op het schip en beperkt hogere negatieve extrema berekend.
- Het wijzigingen van de constante $C_1 = 3,5$ naar een waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 in vul_sluis versie A geeft bij een aantal cases aanleiding tot het ontstaan van een bijkomende sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en een bijkomende sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname. Omgekeerd worden voor dezelfde cases met vul_sluis versie B geen bijkomende sprongen meer berekend in de langskrachten bij wijziging van C_1 geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 naar een constante waarde $C_1 = 3,5$. Hierdoor worden met vul_sluis versie A lagere waarden voor de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend en daalt, respectievelijk stijgt het negatieve, respectievelijk positieve extremum van de totale langskracht.
- Het toepassen van een tweede orde of een derde orde achterwaartse differentie voor de berekening van de helling van de debietscurve in plaats van een eerste orde achterwaartse differentie heeft voor alle cases geen invloed op de berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven.

De laatste analyse betreft de **analyse van de variatie in de tijd van een aantal parameters, die intern in de code van het programma vul_sluis gebruikt worden**. Hiervoor werden in vul_sluis release 01.51.s.00 de waarden van deze interne parameters weggeschreven naar de .mat-file als output van het programma. Meer bepaald is de analyse uitgevoerd van een aantal interne variabelen met betrekking tot de demping van de langskracht ten gevolge van translatiegolven, de langskracht ten gevolge van wrijving, de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de berekening van debiet en impuls in de vulstraal. Bij deze analyse is voornamelijk getracht om het ontstaan van plotse sprongen in de tijdsvariatie van bepaalde variabelen te verklaren.

Op basis van deze analyse wordt het volgende besloten of aanbevolen:

- De variatie in de tijd van de variabele FP^n , de gemiddelde kracht ten gevolge van translatiegolven ten behoeve van demping na n tijdstappen, vertoont voor een aantal cases enkele (kleinere of grotere) abrupte sprongen. Deze worden veroorzaakt door een sprongsgewijze variatie in de tijd van de helling van de debietscurve.
- De hydraulische straal en de Chézy-coëfficiënt van het gedeelte van de natte sectie, waarin de stroming beïnvloed wordt door de wrijving met de kolkwanden, vertonen een variatie in de tijd die gelijkaardig is aan de variatie in de tijd van de waterdiepte in de sluiskolk. Voor één case wordt een Chézy-coëfficiënt berekend die zich buiten het gebied bevindt waarin de benadering van de Chézy-coëfficiënt aan de hand van de formulering volgens Strickler weinig afwijkt van de waarde van de formule van White-Colebrook. Dit betekent dat het toepassen van de benadering van de Chézy-coëfficiënt aan de hand van de formulering volgens Strickler op de ene plaats en de formule van White-Colebrook op een andere plaats bij de afleiding van de formulering van de langskracht ten gevolge van wrijving in dit geval eigenlijk niet toegestaan is. Het toepassen van één formule voor de berekening van de Chézy-coëfficiënt in de afleiding van de langskracht ten gevolge van wrijving omvat echter het opnieuw afleiden van de impulsbalans op boeg, hek en romp van het schip. De bijdrage van de component van de langskracht ten gevolge van wrijving in de totale langskracht op

het schip is echter over het algemeen zeer beperkt, waardoor het opnieuw afleiden van de impulsbalans weinig invloed heeft op de berekende totale langskracht op het schip. Om die reden wordt dit niet aangepast in toekomstige releases van vul_sluis.

- De analyse van de variatie in de tijd van het omslagpunt verklaart het ontstaan en verdwijnen van de sprongen in de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en de langskracht ten gevolge van impulsafname bij aanpassing van de constante C_1 en bij aanpassing van de integratiegrenzen bij integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg. Uit de analyse van de variatie in de tijd van het debiet en de impuls in de vulstraal volgt ook dat voor $X < 12 h_{VS}^n/2$ (in de potential core van de jet) de formuleringen voor de berekening van debiet en impuls in de vulstraal dienen aangepast te worden, wel rekening houdend met de fysica van de vulstraal.
- Indien in de inputfile van vul_sluis de optie 'BREEKB=J' (breekbalken zijn aanwezig) wordt toegepast en indien de oppervlakte van de vulstraal na beekbalken gelijk is aan de totale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur, worden door afrondingsfouten foutieve formuleringen toegepast.
- Bij toepassen van de optie 'BREEKB=N' (geen breekbalken aanwezig) in de inputfile wordt enkel het peil van de onderzijde van de opening ingelezen. Dit heeft tot gevolg dat geen waarden voor $Z_{VS,boegmax1}^n$ en $Z_{VS,boegmax2}^n$ berekend worden, aangezien deze gebruik maken van het peil van de bovenzijde van de straal juist na breekbalken.

Op basis van de resultaten van bovenstaande analyses werd daarna **vul_sluis release 01.53.00** en (na aanpassing van een programmeerfout) **vul_sluis release 01.53.01** gedefinieerd. In deze release zijn vooreerst volgende wijzigingen uit vul_sluis release 01.52.00 toegepast:

1. Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal.
2. De correcte formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg (formulering gebruik makend van $2\ln(2)$).
3. De aanpassing van de integratiegrenzen bij de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg.
4. De theoretisch correcte aanwezigheid van de factor $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in de formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking.

Met het oog op het vervolg van het onderzoek binnen dit project (onder andere de validatie van vul_sluis) zijn ook nog volgende aanpassingen doorgevoerd:

1. Het integreren van de code van de speciale versies van vul_sluis in de code en en het toelaten van van optionele invoer in de inputfile.
2. Een nauwkeurigere berekening van de ligging van het omslagpunt.
3. Aanpassing van de formulering voor de berekening van de waterstand in de bijkomende uitvoerpunten.
4. Aanpassing van de berekening van de parameter Z_{BB} bij afwezigheid van breekbalken.
5. Aanpassing van de berekening van de hoogte van de vulstraal.

Met vul_sluis release 01.53.00 en vul_sluis release 01.53.01 zijn de 16 geselecteerde cases opnieuw gesimuleerd en zijn de resultaten daarna vergeleken met deze berekend met vul_sluis release 01.51.01. Uit deze vergelijking kan het volgende besloten worden:

- Het wijzigen van de formulering voor de berekening van de waterstand in de uitvoerpunten zorgt ervoor dat de definitie van de extra uitvoerpunten geen invloed meer heeft op de berekende langskracht ten gevolge van translatiegolven op het schip in de kolk. Met de aangepaste (juistere) formulering voor de berekening van de waterstand in de uitvoerpunten in vul_sluis release 01.53.00 worden tot 4 % hogere waterspiegelhellingen berekend in vergelijking met deze berekend met vul_sluis release 01.51.01. Ook de periode van de berekende waterspiegelhellingen wordt beperkt beïnvloed.
- De nauwkeurigere berekening van het omslagpunt zorgt er algemeen voor dat de variatie in de tijd van de locatie van het omslagpunt geen sprongen meer vertoont. De waarde van de locatie van het omslagpunt is ook groter dan deze berekend met vul_sluis release 01.51.01, wat er algemeen voor

zorgt dat het tijdstip waarvoor X_{boeg} overgaat van $X_{\text{boeg}} < X_{\text{vs, omslagpunt}}$ naar $X_{\text{boeg}} > X_{\text{vs, omslagpunt}}$ zich eerder voordoet in de tijd.

- De wijziging van de berekening van de hoogte van de vulstraal en het peil van het midden van de vulstraal heeft enkel invloed op cases waarbij in de inputfile 'BREEKB=J' is opgegeven, waarbij de waarde voor $A_{\text{vs, BBmax}}$ gelijk is aan de totale oppervlakte van de openingen en waarbij door afrondingsfouten de formulering voor $A_{\text{vs, BBmax}} > A_{\text{vo, max}}$ wordt toegepast. Voor deze cases wordt in vul_sluis versie A een in de tijd variërende waarde berekend voor de hoogte van de vulstraal, de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal, de hoogte boven de bodem van de begrenzingen van de vulstraal en de potential core en de parameters δ , μ en σ . Dit in tegenstelling tot de constante waarde berekend met vul_sluis release 01.51.s.01.
- Voor cases met betrekking tot ledigen van een sluis en cases waar de langskracht ten gevolge van translatiegolven de dominante component van de langskracht is, wordt een zeer beperkte invloed (maximaal 5 %) op de totale langskracht waargenomen van de aanpassingen aan vul_sluis om te komen tot release 01.53.00.
- Bij cases, waarbij zich bij de simulatie met versie A van vul_sluis release 01.51.01 reeds een sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname voordeed, doet deze sprong zich op een vroeger tijdstip voor bij vul_sluis release 01.53.00 en op een later tijdstip bij vul_sluis release 01.53.01. Daarnaast wordt ook een (tegenovergestelde) sprong in de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking berekend, die de grotere sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname deels compenseert. Met versie B van vul_sluis release 01.53.00 ontstaat een sprong in de langskracht ten gevolge van impulsafname en de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking, die niet aanwezig was in de overeenkomstige componenten van de langskracht berekend met vul_sluis release 01.51.01. Bijgevolg wordt met vul_sluis release 01.53.00 en ook met vul_sluis release 01.53.01 zowel een sprong in de langskracht van vul_sluis versie A als een sprong in de langskracht van vul_sluis versie B berekend. Hierbij wordt met vul_sluis release 01.53.00 een afname tot 51 % berekend van het negatieve extremum van de langskracht en een toename met 58 % en een afname met 8 % van het positieve extremum in vergelijking met vul_sluis release 01.51.01.

Algemeen kan besloten worden dat met vul_sluis release 01.53.01 een kleiner verschil in totale langskracht op het schip tussen versie A en versie B wordt berekend dan met vul_sluis release 01.51.01. Het negatieve extremum van de totale kracht op het schip berekend met versie A van vul_sluis release 01.53.01 wordt (in absolute waarde) beduidend kleiner.

Daarna is een studieopdracht uitgeschreven aan het Laboratorium voor Hydraulica van Universiteit Gent. In deze studieopdracht zijn de formuleringen voor de berekening van het debiet en impuls in de vulstraal opnieuw afgeleid en werd ook de subroutine vul_sluis_impuls_straal_LvH.m opgeleverd die de berekening van debiet en impuls in de vulstraal uitvoert. Deze subroutine is, mits enkele minieme aanpassingen, ingebouwd in **vul_sluis release 01.54.00**. Deze nieuwe release berekent slechts één enkele component van de langskracht ten gevolge van impulsafname en van de langskracht ten gevolge van vulstraalwerking en bijgevolg ook één enkele totale langskracht op het schip. Met deze nieuwe release zijn de 16 cases opnieuw gesimuleerd. Op basis van deze simulaties wordt het volgende besloten:

- Voor alle cases vertoont de variatie in de tijd van de impuls in de vulstraal een vloeiend verloop, zonder sprongen. De met vul_sluis release 01.54.00 berekende impuls in de vulstraal is voor alle cases beduidend lager dan deze berekend met vul_sluis release 01.51.s.01. Dit heeft ook tot gevolg dat geen sprongen meer aanwezig zijn in de variatie in de tijd van de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking, berekend met vul_sluis release 01.54.00. Ook de variatie in de tijd van totale langskracht op het schip vertoont geen sprongen meer, met uitzondering van de sprongen die hun oorsprong vinden in de sprongen in de langskracht ten gevolge van translatiegolven.
- Voor de cases waarbij de formuleringen uit zone 5 en zone 6 toegepast worden voor de berekening van de begrenzing van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg, wordt een verschil in de hoogteligging van deze begrenzingen berekend. Uit een vergelijking van de code voor deze zones

met de formuleringen uit Vrijburcht *et al.* (1988) volgt dat in de code van de subroutine *vul_sluis_impuls_straal.m* een aantal foutieve formuleringen geprogrammeerd zijn. De formuleringen in de code van de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* zijn de juiste formuleringen.

- In de subroutine *vul_sluis_impuls_straal_LvH.m* wordt een omkering van het snelheidsprofiel toegepast indien de openingen dichtbij het wateroppervlak gelegen zijn. Voor cases waarbij de openingen in de sluisdeur relatief hoog gelegen zijn, kan het zijn dat zich in de loop van de nivellering een omslag voordoet van de hoogteligging van de uiterste grenzen van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg. Dit heeft echter geen invloed op de berekende waarden van debiet en impuls in de vulstraal.
- Voor alle cases wordt een kleinere waarde voor de lengte van de neer berekend dan met de vorige release van vul_sluis. De verschillen in het berekende debiet in de vulstraal zijn, met uitzondering van Case09 waarbij een iets lager debiet berekend wordt, echter verwaarloosbaar.

In vergelijking met de vorige release van vul_sluis (01.53.01) worden met uitzondering van twee cases met vul_sluis release 01.54.00 negatieve extrema van de totale langskracht op het schip berekend die in absolute waarde tot 68 % groter kunnen zijn dan deze berekend met versie A van vul_sluis release 01.53.01. Voor twee cases worden 4 % en 11 % (in absolute waarde) kleinere negatieve extrema berekend met vul_sluis release 01.54.00. De positieve extrema van de totale langskracht berekend met vul_sluis release 01.54.00 verschillen tot 13 % (zowel lager als hoger) met deze berekend met versie A van vul_sluis release 01.53.01.

Wordt vergeleken vul_sluis release 01.51.01, die bij het begin van dit rapport is gedefinieerd, dan volgt hieruit dat met vul_sluis release 01.54.00 voor alle cases tot 53 % (in absolute waarde) kleinere negatieve extrema berekend worden dan met versie A van vul_sluis release 01.51.01. Het positieve extremum van de langskracht berekend met vul_sluis release 01.54.00 is tot 30 % lager (met één uitzondering van 64 %) dan dit met versie A van vul_sluis release 01.51.00.

Aangezien de totale langskracht op het schip berekend met versie B van vul_sluis release 01.53.01 en deze berekend met versie B van vul_sluis release 01.51.00 (in absolute waarde) algemeen lager is dan deze berekend met versie A, zijn de verschillen tussen de totale langskracht op het schip berekend met vul_sluis release 01.54.00 en deze berekend met versie B van vul_sluis release 01.53.01, respectievelijk versie B van vul_sluis release 01.51.01 beduidend groter.

In dit rapport is de invloed onderzocht van wijzigingen aan de code van vul_sluis tussen vul_sluis release 01.51.01 en vul_sluis release 01.54.00. In het vervolg van dit project wordt deze laatste release van vul_sluis ook vergeleken met meetgegevens en (waar mogelijk) ook met resultaten van simulaties met LOCKFILL. In vul_sluis release 01.54.00 wordt één waarde berekend voor de totale langskracht op het schip en zijn geen twee versies meer aanwezig. In de code en in de uitvoer zijn echter nog twee versies aanwezig (waarbij de langskrachten berekend met versie B gelijk zijn aan NaN). Het verdient de **aanbeveling** om bij toekomstige aanpassingen van de code, deze verwijzingen naar twee versies uit de code te verwijderen. Bij toekomstige aanpassingen van de code is het ook aanbevolen om een logfile te definiëren, waarin de invoer van de simulatie, het verloop van de simulatie en eventuele waarschuwingen met betrekking tot de uitvoering van de simulatie (bijvoorbeeld: welke waarde voor de oppervlakte van de openingen wordt toegepast voor de berekening van de hoogte van de vulstraal) worden weggeschreven.

Daarnaast volgt uit de analyses in dit rapport dat cases zonder breekbalken bij voorkeur gesimuleerd worden met de optie 'BREEKB=N' in de inputfile, om een correcte berekening van het midden van de vulstraal te bekomen. Hierbij wordt dan wel opgemerkt dat de oppervlakte van de vulstraal na breekbalken niet meer constant is in de tijd, zoals in vroegere ontwerpprojecten het geval was bij toepassen van 'BREEKB=J'. Verder verdient het de aanbeveling om de invloed van het al dan niet spiegelen van het snelheidsprofiel na te gaan bij de berekening van het debiet en impuls in de vulstraal en de berekening van de langskracht op het schip.

10 Referenties

- Berlamont, J.** (1980). Theorie van de verhanglijnen: de permanente, turbulente stroming in open kanalen met vaste bodem [CURSUS], 2de uitgav. Katholieke Universiteit Leuven. Afdeling Bouwkunde: Leuven. 224 pp.
- 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
- Miller, D.S. (Ed.).** (1994). Discharge characteristics. *Hydraulic Structures Design Manual: Hydraulic Design Considerations*, 8. Balkema: Rotterdam. ISBN 90-5410-180-6. 249 pp.
- Rajaratnam, N.** (1976). Turbulent jets. *Developments in Water Science*, 5. Elsevier Scientific: Amsterdam. ISBN 0-444-41372-3
- Rajaratnam, N.; Subramanya, K.** (1986). Plane turbulent reattached wall jets. *Proc. A.S.C.E. J. Hydraul. Div. 94 HY1*: 95–111
- 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
- Schwanenberg, D.; Jongeling, T.H.G.** (2003). Vul- en ledigingssysteem Royerssluis: deelopdracht I. Eerste ontwerp. Q2887. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- 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.; 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.** (2014). Ondersteuning ontwerp klasse Vb sluis te Sint-Baafs-Vijve: Deelrapport 3 – Ontwerp nivelleersysteem. Versie 7.0. *WL Rapporten*, 12_142. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België. IV, 30 + 8 bijlagen pp.
- Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Klasse Vb sluis te Sint-Baafs-Vijve: advies nivelleeropeningen en openingswet hefschuiven. *WL Adviezen*, 16_042. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Verelst, K.; De Mulder, T.; Schindfessel, L.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2014). Numerieke modellering van sluisvulling via openingen in deuren: Deelrapport 1 - Opmaak en eerste validatie van het programma vul_sluis. *WL Rapporten*, 00_077. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Verelst, K.; De Mulder, T.; Schindfessel, L.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016a). Numerieke modellering van sluisvulling via openingen in deuren: Deelrapport 2 - Verder testen en ontwikkelen programma vul_sluis. *WL Rapporten*, 00_077. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Verelst, K.; De Mulder, T.; Schindfessel, L.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016b). Numerieke modellering van sluisvulling via openingen in deuren: Deelrapport 3 - Uitbreiding programma vul_sluis. *WL Rapporten*, 00_077: Antwerpen
- Verelst, K.; Vercruysse, J.B.; Boey, I.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016c). Denderbelle – Vernieuwing stuwsuis Denderbelle: Deelrapport 4 – Simulaties ontwerp nivelleersysteem sluis. Versie 1.0. *WL Rapporten*, 15_062. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vrijburcht, A.** (1988). Het vulproces van een schutsluis met een langsvulsysteem: invloed translatiegolven,

vulstraaleffekten en dichtheidsverschillen op de langskrachten. Verslag berekeningen. *Q176 deel II augustus 1988*. Waterloopkundig Laboratorium = Delft Hydraulics Laboratory: Delft

Vrijburcht, A.; Zhong-ging, J.; Gilding, B.H.; Bolt, E.; Van Kleef, E.A. (1988). Langskracht op een schip door de vulstraat in een sluis: stand van zaken van de berekeningen. Verslag onderzoek. *Q255 deel I januari 1998*. Waterloopkundig Laboratorium = Delft Hydraulics Laboratory: Delft

Waterloopkundig Laboratorium. (1994a). Handleiding LOCKFILL. *Q1537*. Rijkswaterstaat. Bouwdienst: [S.I.]

Waterloopkundig Laboratorium. (1994b). LOCKFILL: deel B. Uitbreiding van het rekenprogramma.. *Q1537 november 1994*. Rijkswaterstaat. Bouwdienst: [S.I.]

Bijlage A: Overzicht releases programma vul_sluis

Tabel 19 – Overzicht releases programma vul_sluis

vul_sluis release 01.00.00	Eerste versie programma
vul_sluis release 01.10.00	Aanpassing interne structuur programma
vul_sluis release 01.20.00	Volgende nieuwe aanpassingen: • Inlezen data via invoerfile • Waterstand voorhaven via komberging • Variabele breedte rechthoekige openingen en variabele snelheid openen hefschuif
vul_sluis release 01.20.02	Toevoeging van : • Ledigen van een sluis via de deuren • Cirkelvormige gaten met hefschuiven • Cirkelvormige gaten met vlinderkleppen (nog niet volledig geteste versie)
vul_sluis release 01.20.03	Enkele kleine aanpassingen op basis van testen van het programma en op basis van het aanpassen van de rapportering.
vul_sluis release 01.30.00	Toevoegen commentaarlijnen aan de code.
vul_sluis release 01.30.s.00	Speciale versie van programma vul_sluis met volgende aanpassingen: • Toevoeging van de optie “geen loslating aan boeg en hek van het schip” • Toevoeging van de optie geen vulstraaleffect bij berekening langskracht ten gevolge van impulsafname
vul_sluis release 01.30.01	Toevoegen van: • Wegschrijven output naar tekstbestand, naast wegschrijven output naar .mat-file
vul_sluis release 01.30.02	Toevoegen van volgende aanpassingen: • Gebruik van factor 3.5 voor integratie van het snelheidsprofiel • Aanpassing integratie snelheidsprofiel en aanpassing integratiegrenzen • Aanpassing formulering langskracht ten gevolge van vulstraalwerking • Aanpassing berekening hoogte van de vulstraal h_{VS}^n juist na de openingen in de deur

vul_sluis release 01.30.03	Toevoegen van volgende aanpassingen • Gebruik van factor 2.0 in plaats van factor 3.5 voor integratie van het snelheidsprofiel • Aanpassing integratie snelheidsprofiel en aanpassing integratiegrenzen • Aanpassing formulering langskracht ten gevolge van vulstraalwerking • Aanpassing berekening hoogte van de vulstraal h_{VS}^n juist na de openingen in de deur
vul_sluis release 01.31.vA.00 vul_sluis release 01.31.vB.00	Aanpassing naamgeving programma
vul_sluis release 01.31.vA.01 vul_sluis release 01.31.vB.01	Toevoegen van uitvoeren van meerdere simulaties na elkaar via een batch file
vul_sluis release 01.40.vA.00 vul_sluis release 01.40.vB.00	Toevoegen extra te nivelleren oppervlakte opwaarts en afwaarts en toevoegen van extra uitvoerpunten voor de berekening van de waterstand in de sluiscolk.
vul_sluis release 01.41.vA.00 vul_sluis release 01.41.vB.00	Toevoegen optie geen breekbalken voor rechthoekige openingen afgesloten met hefschuiven
vul_sluis release 01.42.vA.00 vul_sluis release 01.42.vB.00	Toevoeging optie afzonderlijk openen van verschillende reeksen hefschuiven / vlinderkleppen
vul_sluis release 01.42.vA.01 vul_sluis release 01.42.vB.01	Toevoeging damping van translatiegolven in berekening waterspieghelling tussen extra uitvoerpunten.
vul_sluis release 01.42.vA.02 vul_sluis release 01.42.vB.02	Aanpassing kleine programmeerfoutjes
vul_sluis release 01.42.vA.03 vul_sluis release 01.42.vB.03	Aanpassing kleine programmeerfoutjes
vul_sluis release 01.42.vA.04 vul_sluis release 01.42.vB.04	Aanpassing kleine programmeerfoutjes
vul_sluis release 01.42.vA.05 vul_sluis release 01.42.vB.05	Aanpassing formulering voor de integratie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg van het schip
vul_sluis release 01.42.vA.06 vul_sluis release 01.42.vB.06	Aanpassing formulering voor damping van translatiegolven aan het einde van de nivellering
vul_sluis release 01.42.vA.07 vul_sluis release 01.42.vB.07	Volgende aanpassingen zijn doorgevoerd: • Het constant houden van de waarde voor de hoek van de vlinderklep indien de hoek van de vlinderklep lager is dan de minimale klephoek. • Het niet beschouwen van de blok-coëfficiënt bij de berekening van de factor FP voor de damping van translatiegolven voor de extra toegevoegde uitvoerpunten • Aanpassing van de berekening van de hoogte van de vulstraal in vul_sluis release 01.42.vA.07 bij aanwezigheid van breekbalken • De aanpassing van een programmeerfoutje in de subroutine vul_sluis_bereken_debiet.m • Aanpassing van de berekening van de maximale oppervlakte van de openingen in de sluisdeur voor rechthoekige openingen

vul_sluis release 01.42.vA.07 vul_sluis release 01.42.vB.07 (vervolg)	• Aanpassing van de formulering voor de berekening van de hoogte boven de bodem van het midden van de vulstraal juist afwaarts van de opwaartse sluisdeur voor rechthoekige openingen bij de optie geen breekbalken • Aanpassing berekening lengte neer
vul_sluis release 01.42.vA.08 vul_sluis release 01.42.vB.08	Aanpassing factor $\frac{l_k - X_{boeg}}{l_k}$ in formulering voor de langskracht ten gevolge van impulsafname. Dit is enkel aangepast in vul_sluis release 01.42.vB.08. Aanpassing van enkele programmeerfoutjes en aanpassing van de output die naar het scherm wordt weggeschreven met het oog om vul_sluis en LOCKFILL in één DOS batch-file aan te roepen. Dit is aangepast in beide versies van het programma.
Vul_sluis release 01.50.00	Samenvoegen van vul_sluis release 01.42.vA.08 en vul_sluis release 01.42.vB.08 met volgende aanpassing: • één programma 'vul_sluis' voor beide versies met één versienummer (01.50.00) • verschillen tussen vA en vB zijn in de betreffende subroutines verwerkt • zowel vA als vB worden (intern) altijd beiden uitgevoerd • Outputfiles (.mat en .txt) bevatten zowel krachten berekend met vA als krachten berekend met vB • Inputfile is zelfde als voor vorige releases
Vul_sluis release 01.51.00	• toevoeging van CE1 en CE2, parameters om damping translatiegolven te beschrijven. De parameter CE in de damping van translatiegolven wordt nu berekend gebruik makend van deze parameters. • Het blok "0.0 NAAM" in de inputfile is verwijderd. De outputfile krijgt standaard dezelfde naam als de inputfile, tenzij via 'label' een naam wordt toegevoegd. • De parameters VO.X en Kanaal.Zafw zijn verwijderd in de inputfile aangezien deze niet gebruikt werden. • [Z_kolk_ini] in inputfile is vervangen door [Z_KOLK_INI] • De parameter Zbb had 2 betekenissen, nl. bij 'breekbalken' bovenzijde breekbalken en bij 'geen breekbalken' onderzijde breekbalken. Bij 'geen breekbalken' is nu de parameter Zov (onderzijde vulopening) ingevoerd in plaats van Zbb • aanpassing van de commentaarblokken bij de globale parameters in alle routerines met bovenstaande wijzigingen
Vul_sluis release 01.51.s.00	In deze versie worden de waarden van een aantal interne variabelen bijgehouden naar de Matlab structural array <i>spec_output</i>. Deze variabele wordt enkel weggeschreven naar de .mat-outputfile van vul_sluis.
Vul_sluis release 01.51.01	na oplossing van enkele programmeerfoutjes

Vul_sluis release 01.52.00	Aanpassingen ten behoeve van analyse in hoofdstuk 5 van dit rapport. Volgende aanpassingen aan de code zijn gedefinieerd: • modA: Aanpassing hoeken 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal • modB: Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,1 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt. • modC: Wijziging stapgrootte van 1,0 m naar 0,01 m bij de berekening van de locatie van het omslagpunt • modD: Wijziging 1 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg • modE: Wijziging 2 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg • modF: Aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg • modG: Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie A van vul_sluis • modH: Foutief verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie B van vul_sluis • modI: Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie A van vul_sluis • modJ: Foutief verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie B van vul_sluis • modK: Wijziging constante C_1 naar waarde geïnterpoleerd tussen 3,5 en 2,0 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie A • modL: Wijziging constante C_1 naar waarde 3,5 bij berekening maximale stroomsnelheid in vul_sluis versie B • modM: Toepassing tweede-orde differenties bij berekening van $\delta q / \delta t$. • modN: Toepassing derde-orde differenties bij berekening van $\delta q / \delta t$. • modO: Wijziging berekening locatie van het omslagpunt naar de formulering volgens Rajaratnam & Subramanya (1986).
Vul_sluis release 01.53.00	Volgende aanpassingen aan de code zijn gedefinieerd: • Toepassen van aanpassing modA uit vul_sluis release 01.52.00: Aanpassing hellingen 1/6 en 1/4 bij de berekening van de begrenzing van de vulstraal. • Toepassen van aanpassing modE uit vul_sluis release 01.52.00: Wijziging 2 in de formulering voor σ bij de definitie van het snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg. • Toepassen van aanpassing modF uit vul_sluis release 01.52.00: Aanpassing integratiegrenzen bij integratie snelheidsprofiel ter plaatse van de boeg.

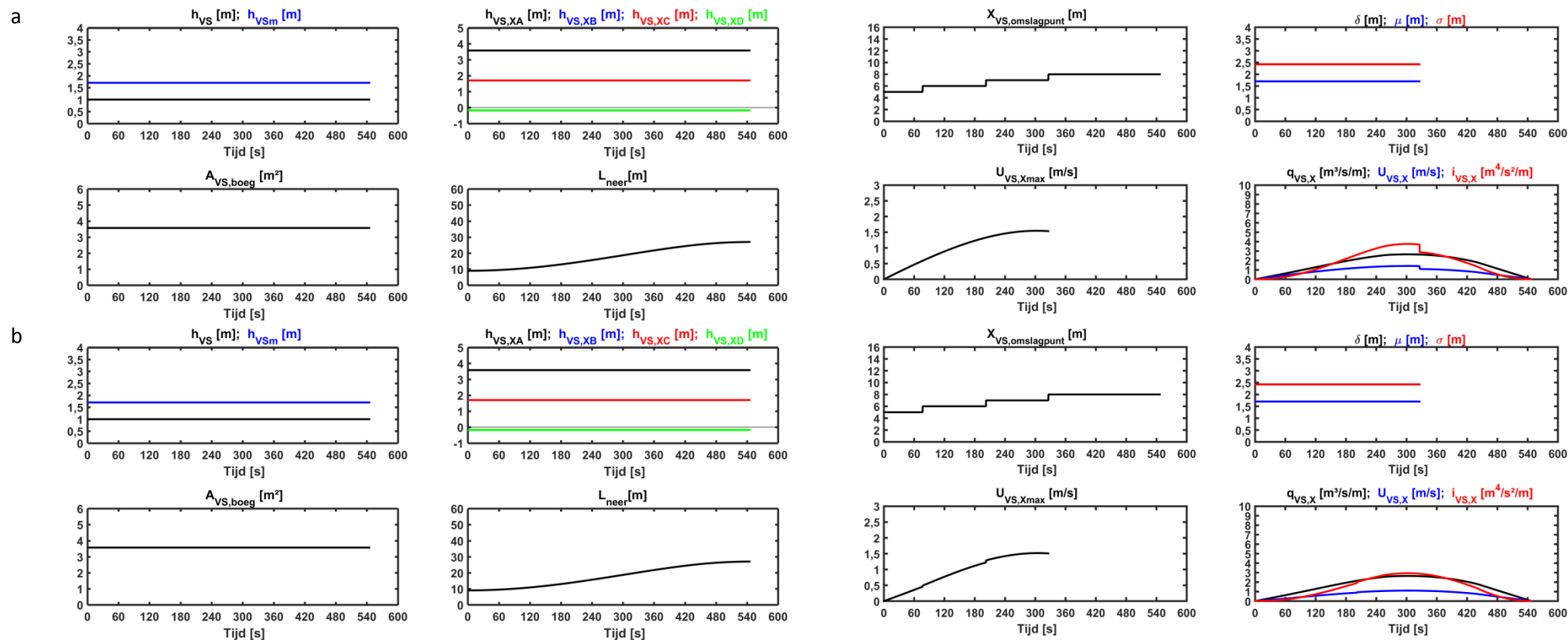
Vul_sluis release 01.53.00 (vervolg)	• Toepassen van aanpassing modG uit vul_sluis release 01.52.00: Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van vulstraalwerking in versie A van vul_sluis. • Toepassen van aanpassing modI uit vul_sluis release 01.52.00: Verwijderen $(l_K - X_{boeg})/l_K$ in formulering voor langskracht ten gevolge van impulsafname in versie A van vul_sluis. • Integreren van code van speciale versies van vul_sluis in de code en toelaten van optionele invoer in de inputfile. • Een nauwkeurigere berekening van het omslagpunt is toegevoegd. • Aanpassing van de formuleringen voor de berekening van de waterstand in de extra uitvoerpunten. • Aanpassing van de berekening van de parameter Z_{BB} bij afwezigheid van breekbalken. • Aanpassing van de berekening van de hoogte van de vulstraal.
Vul_sluis release 01.54.00	Inbouwen van vul_sluis_impuls_straal_LvH.m in de code. Deze routine is geprogrammeerd door het Laboratorium van Hydraulica van Universiteit Gent binnen de studieopdracht naar de berekening van debiet en impuls in de vulstraal. In deze release van vul_sluis wordt maar één versie van de langskracht ten gevolge van impulsafname en vulstraalwerking meer berekend en bijgevolg ook maar één versie van de totale langskracht op het schip.

Figuur 121 – Schematische voorstelling releases programma vul_sluis



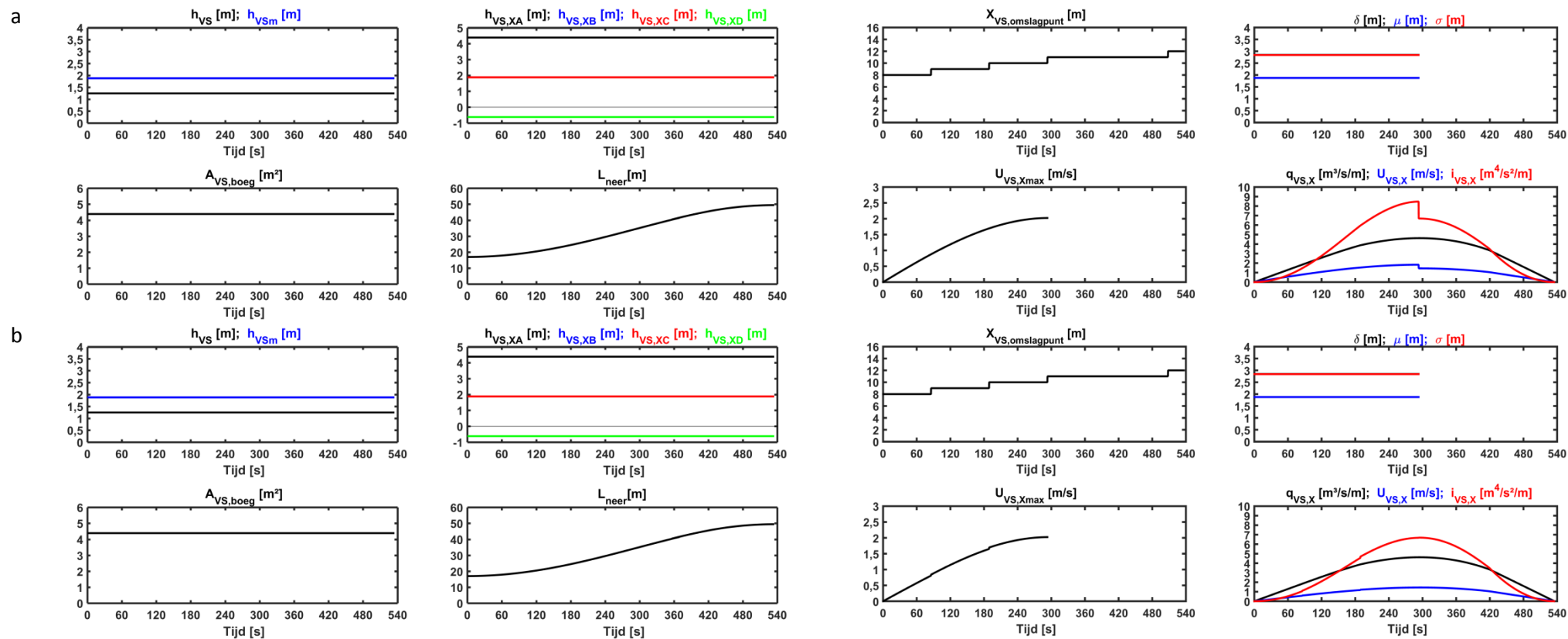
Bijlage B: Figuren interne parameters m.b.t. debiet en impuls in vulstraal vul_sluis release 01.51.s.00

Figuur 122 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case01



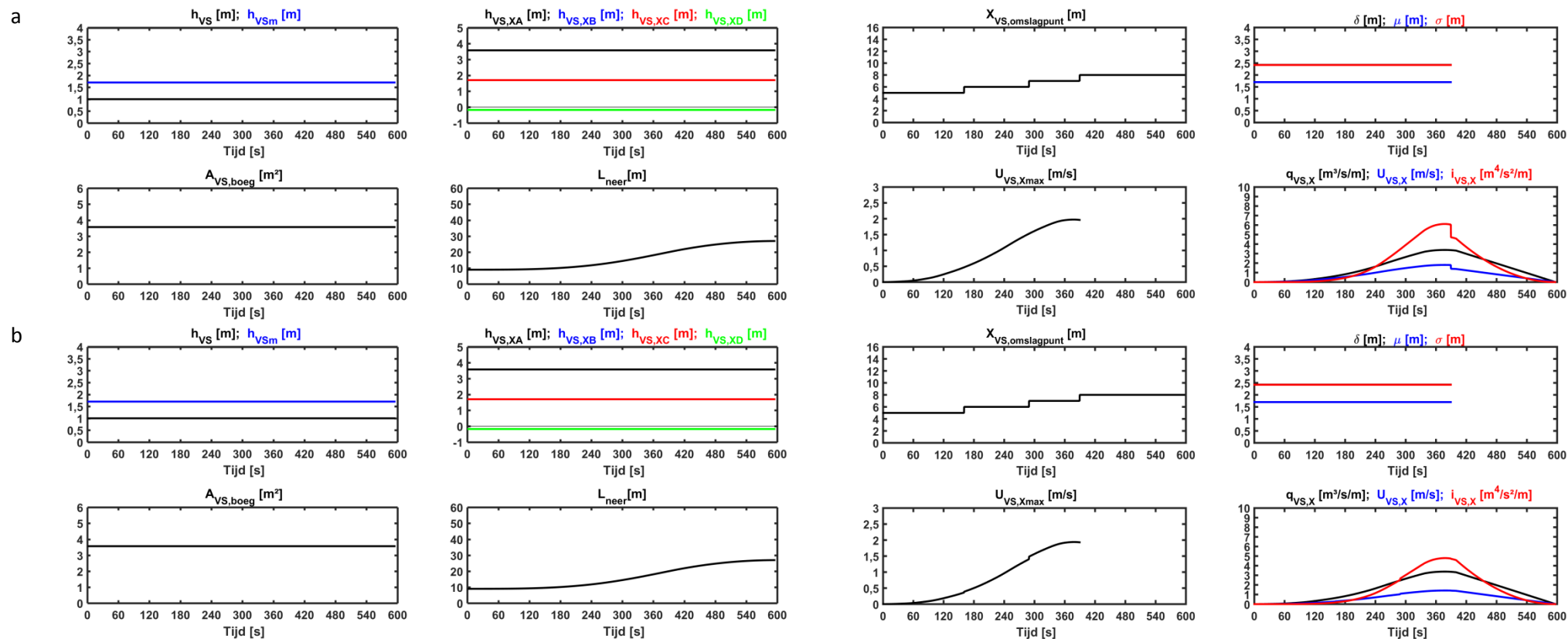
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 123 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case02



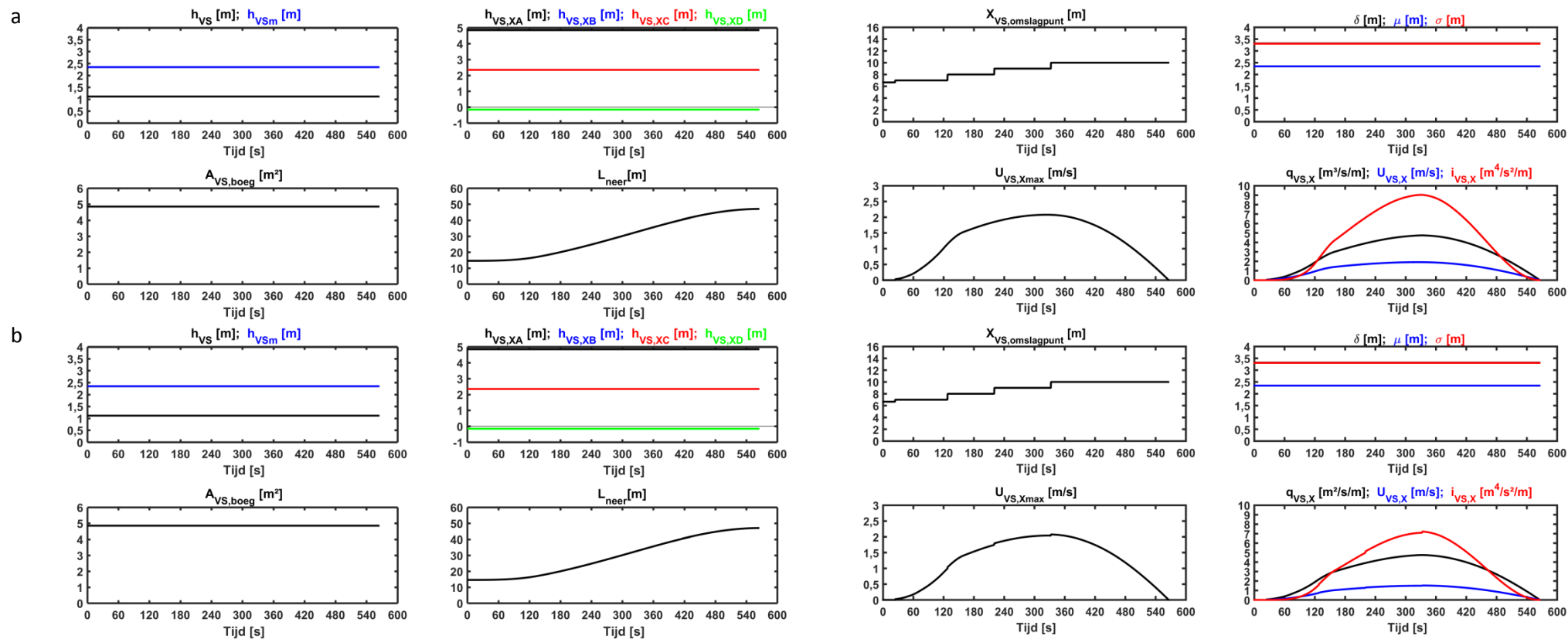
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 124 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case04



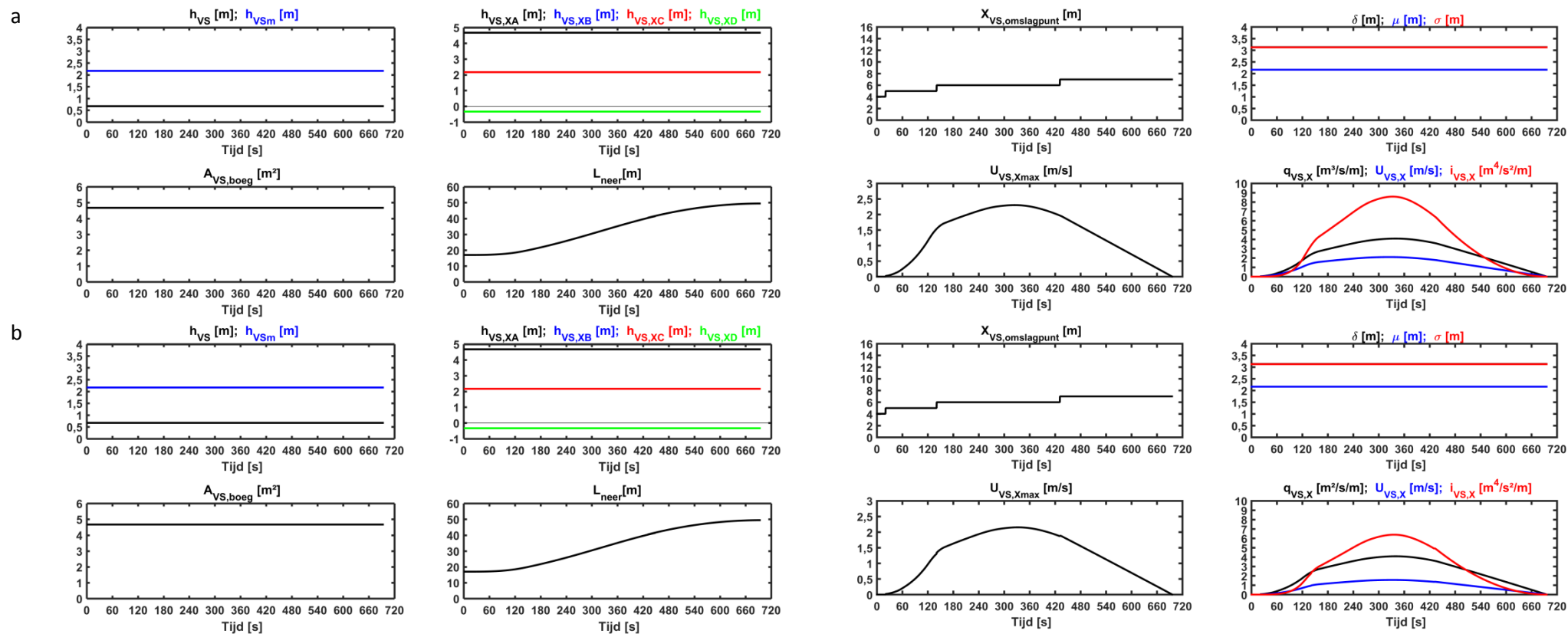
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 125 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case06



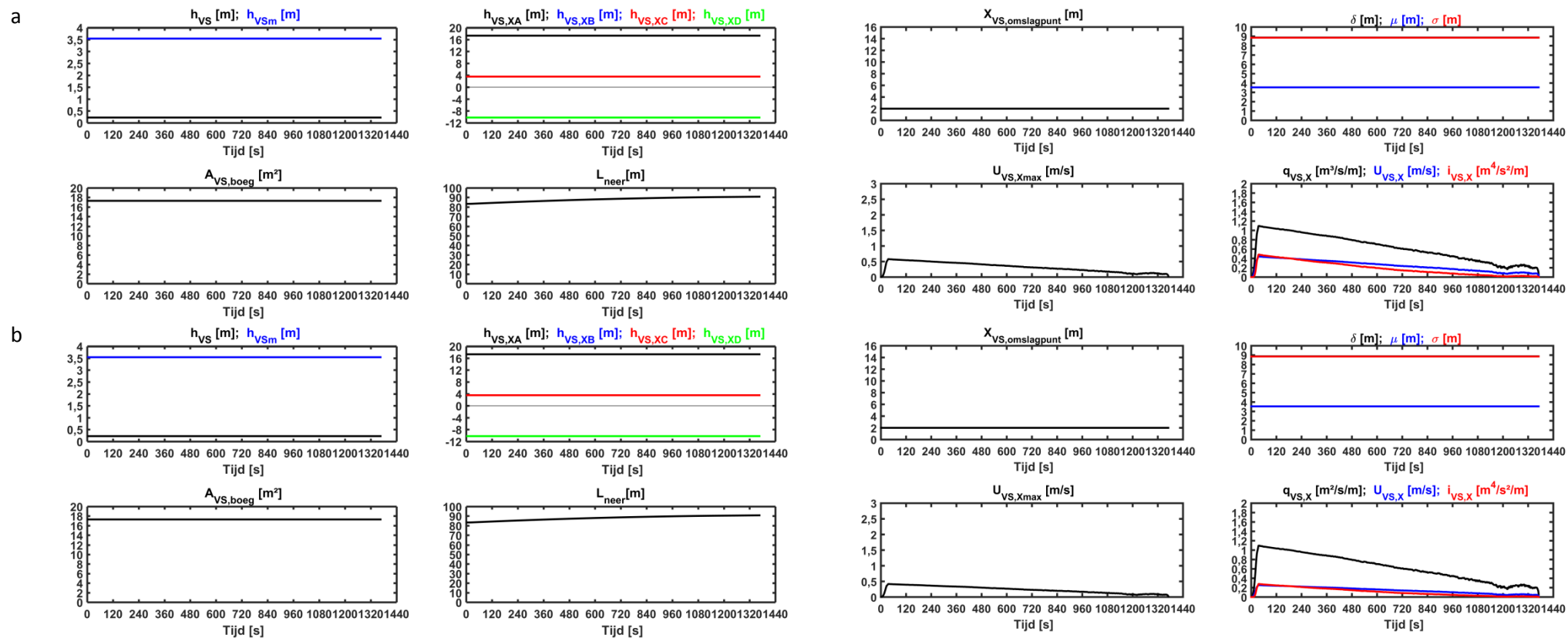
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 126 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case07



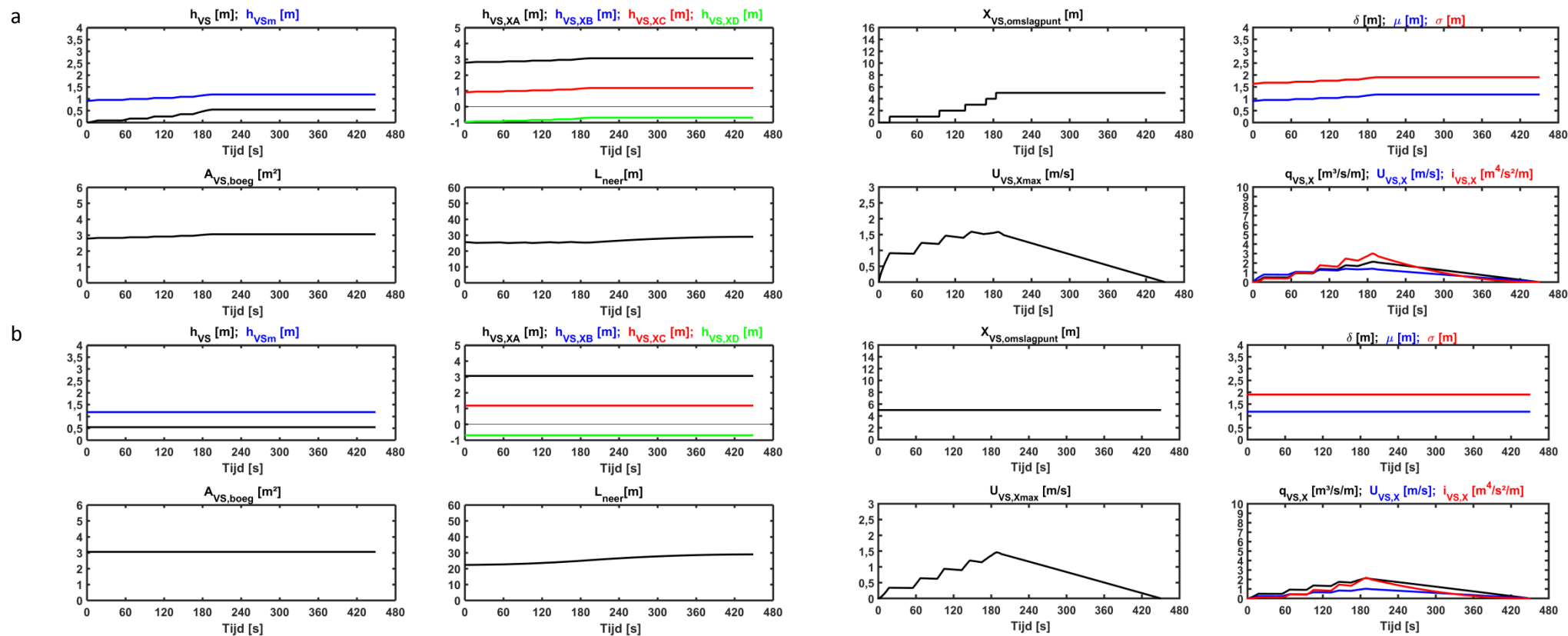
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 127 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case09



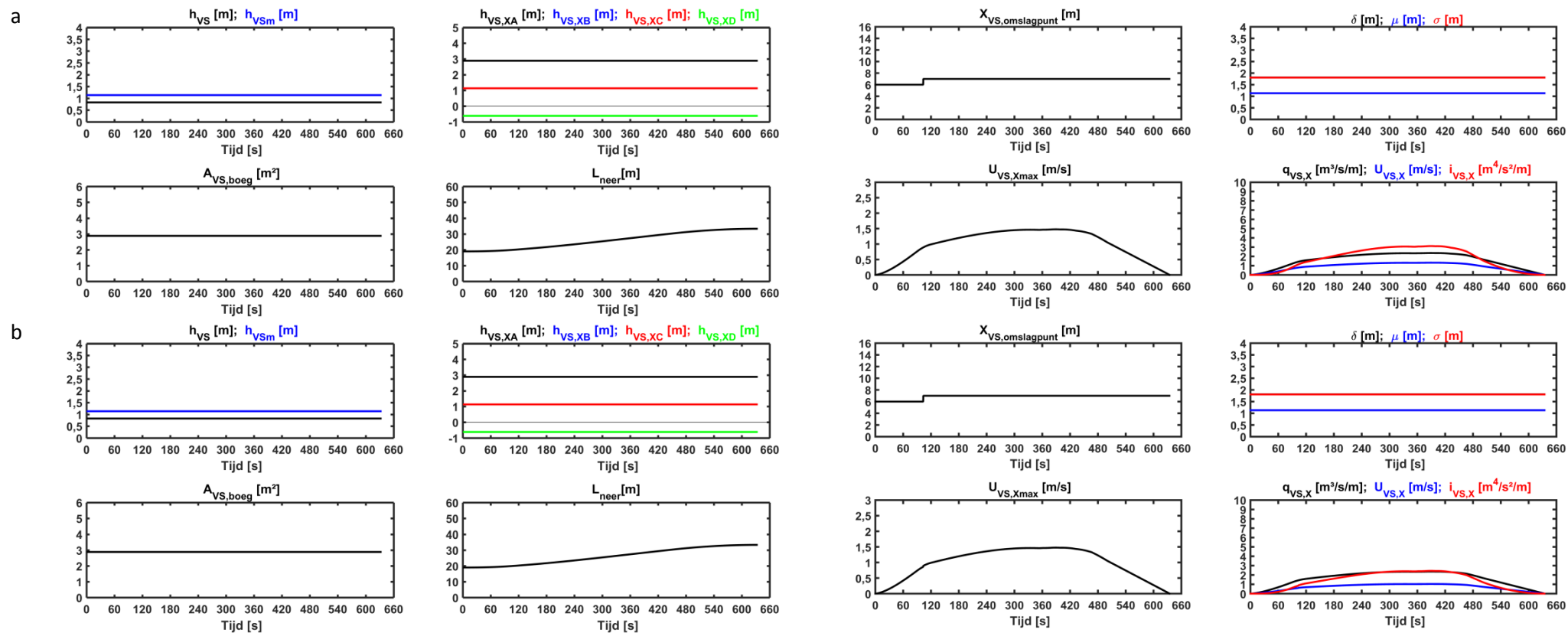
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 128 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case10



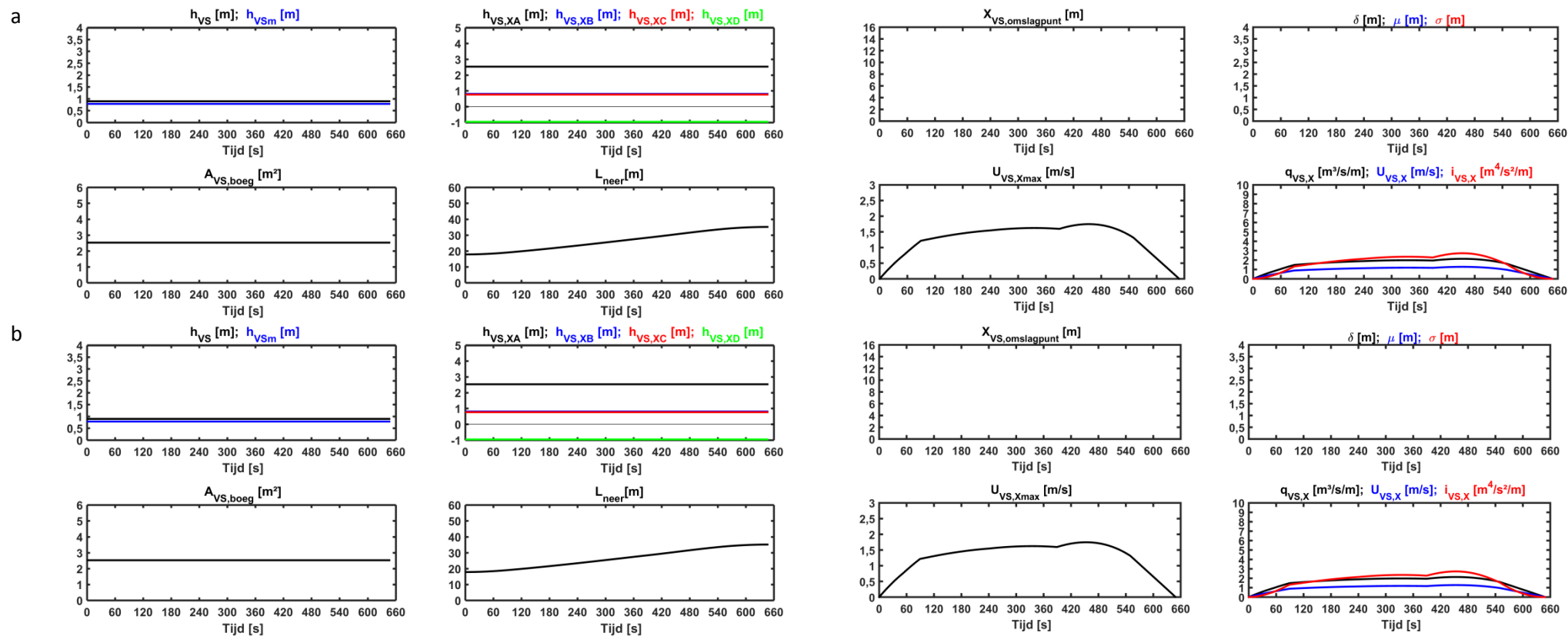
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 129 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case11



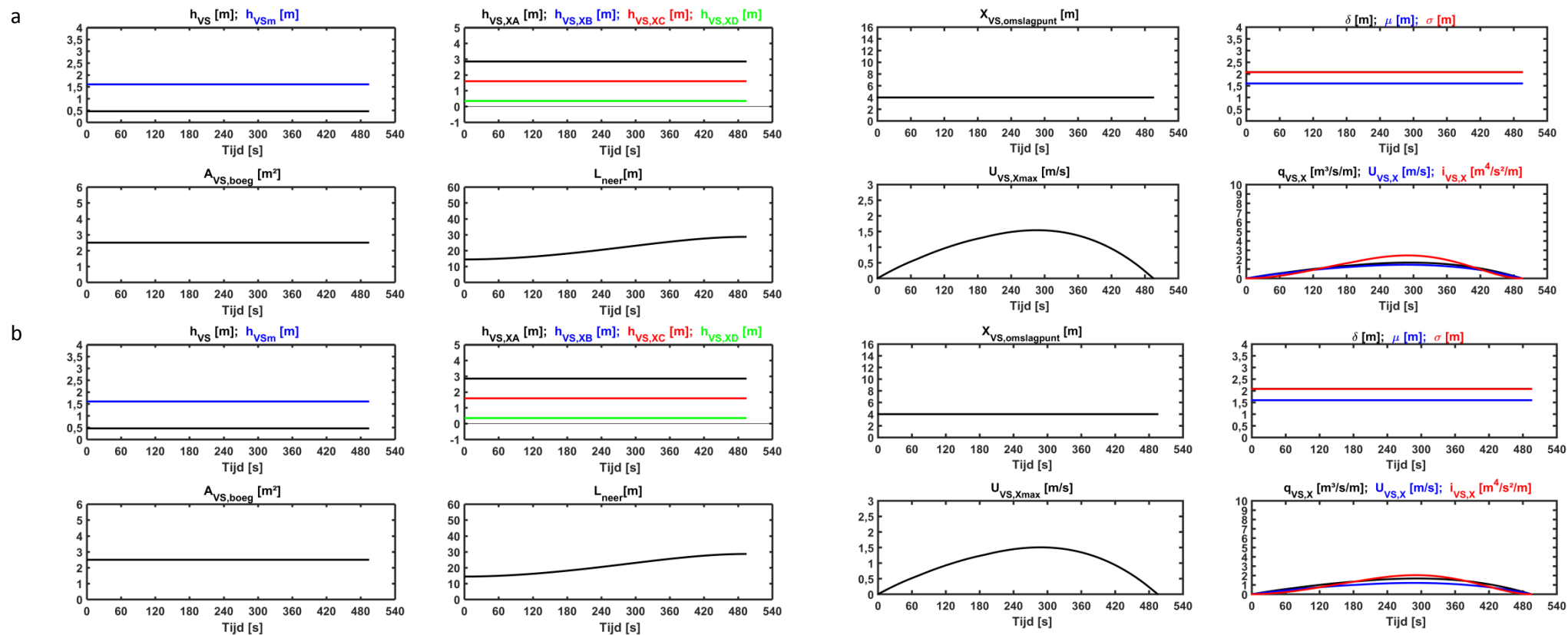
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 130 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case12



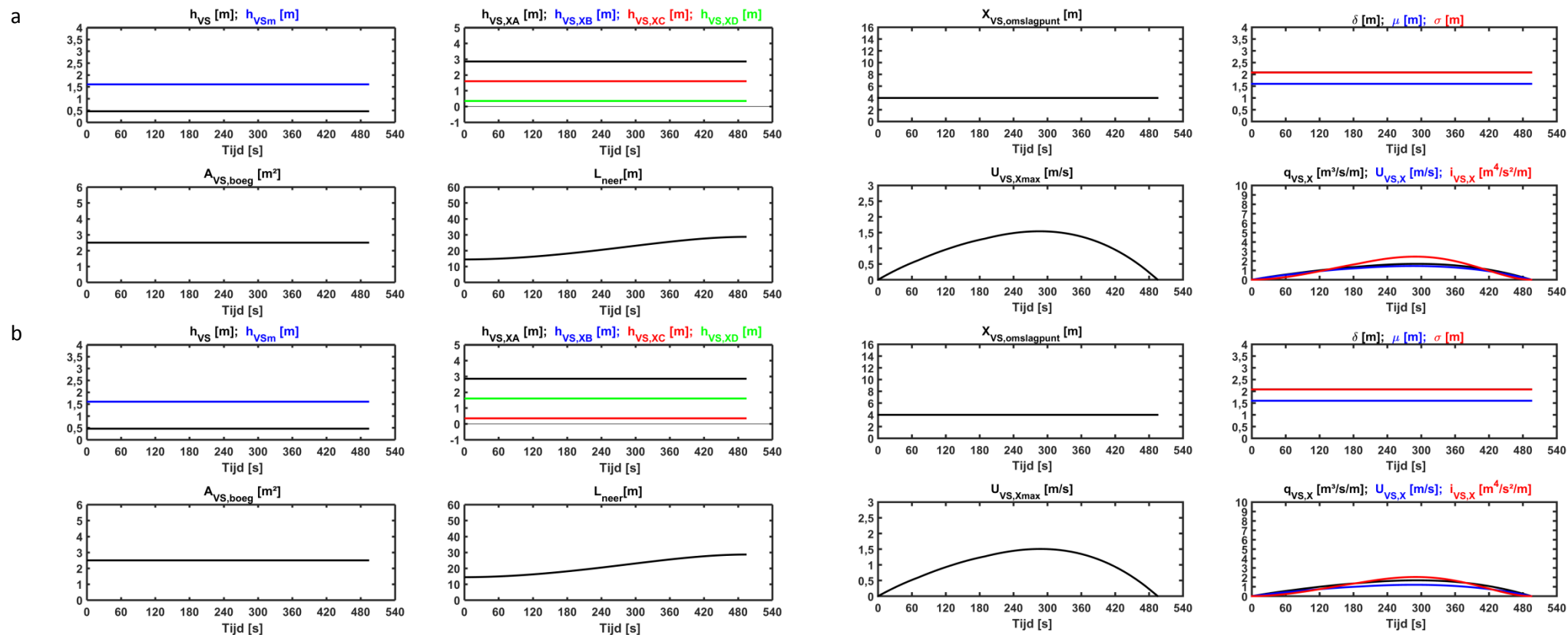
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 131 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case13



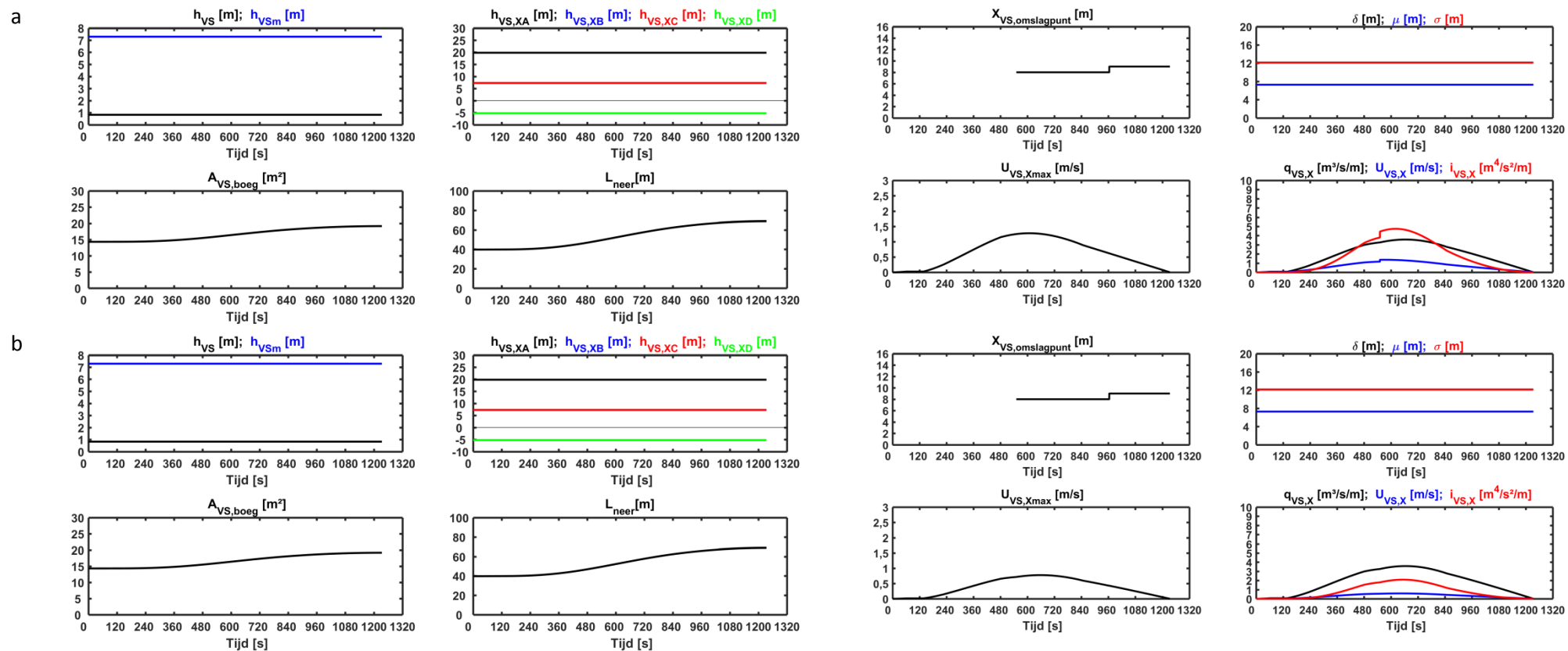
a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 132 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case15



a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

Figuur 133 – Variatie interne parameters m.b.t. debiet en impuls in de vulstraal voor Case16



a: vul_sluis versie A; b: vul_sluis versie B

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